



**UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS INTENSIDADES  
MÁXIMAS ANUALES DE PRECIPITACIÓN ASOCIADAS A  
DURACIONES DE 1 HORA Y 30 MINUTOS EN LAS REGIONES  
METROPOLITANA, DEL MAULE Y DEL BIOBÍO**

**PABLO NICOLÁS HEINRICH ROJAS**

Memoria para optar al título de:  
INGENIERO FORESTAL

**PROFESOR GUÍA: DR. ING. ROBERTO PIZARRO TAPIA**

**TALCA – CHILE  
2012**



**UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

El Sr. Pablo Nicolás Heinrich Rojas, ha realizado la Memoria “**Comportamiento temporal de las intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a duraciones de 1 hora y 30 minutos en las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío**” como uno de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal. El profesor guía es el Sr. Roberto Pizarro Tapia.

La comisión de calificación constituida por los profesores Sr. Roberto Pizarro Tapia y Sra. Ursula Doll, han evaluado con nota 6,9 (seis, nueve).

**YOHANA MORALES HERNÁNDEZ  
DIRECTORA  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

Talca, Diciembre de 2012

*A mi familia con amor.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al término de esta importante etapa, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que aportaron de forma desinteresada a la culminación de esta memoria.

En primer lugar a mis padres, Alejandra y Pablo, por su enorme amor, esfuerzo, apoyo y motivación constante que me han permitido alcanzar cada uno de los logros de mi vida.

A Camila, mi gran amiga y compañera, por su apoyo incondicional y compañía en los buenos y malos momentos, sus constantes palabras de aliento y, por sobre todo, su amor.

A mis amigos María Inés, Ricardo, Luis, Juan, con quienes compartí muy gratos momentos. Espero que nuestra amistad perdure en el tiempo.

A mi profesor guía, el Dr. Ing. Roberto Pizarro, por su apoyo en el desarrollo de esta memoria y los constantes y necesarios consejos para mejorar académica y personalmente.

## **FINANCIAMIENTO**

Memoria financiada por FONDEF en el marco del Proyecto D08I1054: Sistema de Estimación de Eventos Extremos de Lluvia, para la Prevención y Mitigación de los Riesgos de Avenidas y Caudales Circulantes, en un Contexto de Variabilidad y Cambio Climático.

## RESUMEN

En el presente estudio, se evaluó el comportamiento temporal que manifestaron las intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a duraciones de 1 hora y 30 minutos, en las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío, Chile, para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1970 y 2009. Para tales efectos, la información fue dividida en periodos decadales (1970–1979, 1980–1989, 1990–1999 y 2000–2009) y bi-decadales (1970–1989 y 1990–2009).

La información fue tratada de tres maneras distintas: la primera, consistió en la aplicación del test de Mann–Kendall para determinar la tendencia general de toda la serie de datos; la segunda, en la comparación de las medianas de los periodos establecidos mediante la prueba de Kruskal–Wallis; finalmente, se ajustó la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel a cada periodo considerado, lo que permitió obtener las intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a periodos de retorno (T) de 10, 30 y 50 años.

Los resultados obtenidos indicaron que en términos numéricos, mediante el cálculo de la variación entre periodos decadales y bi-decadales, para ambas duraciones de tormenta, la Región Metropolitana presentó una tendencia no significativa a la disminución de las intensidades máximas anuales de precipitación. Por otra parte, las regiones del Maule y del BioBío manifestaron tendencias al aumento en los montos de sus intensidades máximas anuales promedio y asociadas a  $T = 30$  años, aunque éstas no pudieron ser ratificadas en términos estadísticamente significativos con el test de Mann–Kendall y la prueba de Kruskal–Wallis.

## SUMMARY

In this study, temporal behavior was evaluated for the maximum annual precipitation intensities associated with durations of 1 hour and 30 minutes, in the Metropolitana, Maule and BioBío regions, Chile, for the period of time between 1970 and 2009. For these purposes, the information was divided into decadal (1970–1979, 1980–1989, 1990–1999 and 2000–2009) and bi-decadal periods (1970–1989 and 1990–2009).

The data was examined in three ways: the first was the application of the Mann–Kendall test to determine the general trend of the entire data set; the second was the comparison of the medians of the periods established by Kruskal–Wallis test; finally, the Gumbel Probability Distribution Function was adjusted for each considered period, there by obtaining the annual maximum precipitation intensities associated with return periods (T) for 10, 30 and 50 years.

The results showed that in numerical terms, by calculating the variation between decadal and bi-decadal periods for both storm durations, the Región Metropolitana showed a non significant trend to decrease from the annual maximum precipitation intensities. Furthermore, the Maule and Biobío regions showed increasing trends in the amount of their average annual maximum intensities and those associated with  $T = 30$  years, although they could not be confirmed in statistically significant terms with the Mann–Kendall test and Kruskal–Wallis test.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2.- OBJETIVOS</b> .....	3
2.1.- Objetivo general .....	3
2.2.- Objetivos específicos .....	3
<b>3.- ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	4
3.1.- Antecedentes Generales del Área de Estudio.....	4
3.1.1.- Región Metropolitana .....	4
3.1.2.- Región del Maule.....	6
3.1.3.- Región del BioBío .....	10
<b>4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
4.1.- Cambio Climático.....	13
4.2.- Precipitaciones.....	14
4.3.- Intensidad de Precipitación. ....	15
4.4.- Registro y Medición de Intensidades de Precipitación.....	16
4.4.1.- Pluviómetro.....	16
4.4.2.- Pluviógrafo .....	17
4.5.- Clasificación de Intensidades de Precipitación .....	19
4.6.- Curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) .....	20
4.7.- Importancia de las Intensidades de Precipitación.....	22
4.8.- Estudios Relacionados .....	23

<b>5.- METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
5.1.- Fases Metodológicas.....	26
5.1.1.- Revisión Bibliográfica. ....	26
5.1.2.- Obtención de Información Requerida .....	26
5.1.2.1.- Recopilación de Información Pluviográfica .....	28
5.1.2.2.- Determinación de Intensidades Máximas Anuales de Precipitación .....	30
5.1.2.3.- Definición de Periodos. ....	30
5.1.3.- Procesamiento de la Información .....	33
5.1.3.1.- Test de Mann–Kendall. ....	33
5.1.3.2.- Prueba de Kruskal–Wallis.....	37
5.1.3.3.- Ajuste a la Función de Distribución de Probabilidad (FDP) de Gumbel. ....	40
5.1.3.4.- Pruebas de Bondad de Ajuste .....	42
a.- Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) .....	42
b.- Test de Kolmogorov–Smirnov (KS).....	43
5.1.4.- Presentación de Resultados .....	44
5.1.5.- Análisis y Discusión de Resultados.....	44
5.1.6.- Conclusiones y Recomendaciones.....	45
5.2.- Materiales y Equipos .....	45
<b>6.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
6.1.- Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora.....	46
6.1.1.- Test de Mann–Kendall para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora .....	53
6.1.2.- Prueba de Kruskal–Wallis para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora .....	55

6.1.3.- Ajuste de Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel a Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora.....	56
6.2.- Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos.....	62
6.2.1.- Test de Mann–Kendall para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos .....	69
6.2.2.- Prueba de Kruskal–Wallis para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos .....	71
6.2.3.- Ajuste de Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel a Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos.....	72
<b>7.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
7.1.- Análisis de la Variación Temporal en Promedios de Intensidades Máximas Anuales de Precipitación .....	77
7.1.1.- Análisis de la Variación Temporal en Promedios de Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora.....	77
7.1.2.- Análisis de la Variación Temporal en Promedios de Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos.....	81
7.2.- Análisis del Test de Mann–Kendall para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación.....	83
7.2.1.- Análisis del Test de Mann–Kendall para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora.....	83
7.2.2.- Análisis del Test de Mann–Kendall para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos .....	84

7.3.- Análisis de la Prueba de Kruskal–Wallis para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación.....	85
7.3.1.- Análisis de la Prueba de Kruskal–Wallis para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora.....	85
7.3.2.- Análisis de la Prueba de Kruskal–Wallis para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos.....	86
7.4.- Análisis de Ajustes de FDP de Gumbel a Intensidades Máximas Anuales de Precipitación.....	86
7.4.1.- Análisis de Ajustes de FDP de Gumbel a Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora.....	86
7.4.2.- Análisis de Ajustes de FDP de Gumbel a Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos .....	87
7.5.- Análisis de la Variación Temporal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación Asociadas a $T = 30$ Años, Obtenidas de la FDP de Gumbel.....	88
7.5.1.- Análisis de la Variación Temporal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora Asociadas a $T = 30$ Años, Obtenidas de la FDP de Gumbel.....	88
7.5.2.- Análisis de la Variación Temporal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos Asociadas a $T = 30$ Años, Obtenidas de la FDP de Gumbel.....	91
7.6.- Análisis Espacial de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación .....	93
7.6.1.- Análisis Altitudinal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación.....	93
7.6.2.- Análisis Latitudinal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación .....	95

7.6.3.- Análisis Longitudinal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación .....	96
<b>8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	99
8.1.- Conclusiones .....	99
8.2.- Recomendaciones.....	101
<b>9.- BIBLIOGRAFÍA</b> .....	102

## APÉNDICES

**Apéndice I:** Datos de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora y 30 minutos por estación pluviográfica.

**Apéndice II:** Funciones de Distribución de Probabilidad (FDP) de Gumbel ajustadas a intensidades máximas anuales de precipitación, coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y test de Kolmogorov–Smirnov (KS).

**Apéndice III:** Diferencias entre medianas obtenidas mediante la prueba de Kruskal–Wallis.

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro N°1:</b> Clasificación de lluvias o chubascos de acuerdo a su intensidad.....	19
<b>Cuadro N°2:</b> Clasificación de intensidad de precipitación .....	20
<b>Cuadro N°3:</b> Estaciones pluviográficas utilizadas para el estudio.....	28
<b>Cuadro N°4:</b> Definición de periodos para intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora.....	31
<b>Cuadro N°5:</b> Definición de periodos para intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos .....	32
<b>Cuadro N°6:</b> Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora por estación.....	46
<b>Cuadro N°7:</b> Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 1 hora por estación y periodo considerado en la Región Metropolitana .....	48
<b>Cuadro N°8:</b> Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 1 hora por estación y periodo considerado en la Región del Maule.....	49
<b>Cuadro N°9:</b> Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 1 hora por estación y periodo considerado en la Región del BioBio .....	51
<b>Cuadro N°10:</b> Test de Mann–Kendall para intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora.....	54
<b>Cuadro N°11:</b> Prueba de Kruskal–Wallis para intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora.....	55

<b>Cuadro N°12:</b> Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región Metropolitana, obtenidas de la FDP de Gumbel.....	57
<b>Cuadro N°13:</b> Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región del Maule, obtenidas de la FDP de Gumbel .....	58
<b>Cuadro N°14:</b> Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región del BioBío, obtenidas de la FDP de Gumbel.....	60
<b>Cuadro N°15:</b> Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos por estación .....	62
<b>Cuadro N°16:</b> Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 30 minutos por estación y periodo considerado en la Región Metropolitana .....	64
<b>Cuadro N°17:</b> Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 30 minutos por estación y periodo considerado en la Región del Maule.....	65
<b>Cuadro N°18:</b> Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 30 minutos por estación y periodo considerado en la Región del BioBío .....	67
<b>Cuadro N°19:</b> Test de Mann–Kendall para intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos .....	70
<b>Cuadro N°20:</b> Prueba de Kruskal–Wallis para intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos .....	71

<b>Cuadro N°21:</b> Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región Metropolitana, obtenidas de la FDP de Gumbel.....	73
<b>Cuadro N°22:</b> Intensidades máximas anuales para duración de 30 minutos (mm/h) asociadas a distintos periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región del Maule, obtenidas de la FDP de Gumbel.....	73
<b>Cuadro N°23:</b> Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región del BioBío, obtenidas de la FDP de Gumbel.....	75
<b>Cuadro N°24:</b> Variación de promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) por Región, estación y periodo considerado .....	78
<b>Cuadro N°25:</b> Agrupación de estaciones de acuerdo al periodo donde registraron su máximo valor de intensidad máxima anual para una duración de 1 hora, por Región.....	80
<b>Cuadro N°26:</b> Variación de promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) por Región, estación y periodo considerado.....	81
<b>Cuadro N°27:</b> Agrupación de estaciones de acuerdo al periodo donde registraron su máximo valor de intensidad máxima anual para una duración de 30 minutos, por Región .....	82
<b>Cuadro N°28:</b> Resumen de tendencias del test de Mann–Kendall para intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora por Región.....	83
<b>Cuadro N°29:</b> Resumen de tendencias del test de Mann–Kendall para intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos por Región .....	84
<b>Cuadro N°30:</b> Variación de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) asociadas a T = 30 años por Región, estación y periodo considerado .....	89

<b>Cuadro N°31:</b> Variación de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) asociadas a T = 30 años por Región, estación y periodo considerado .....	91
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N°1:</b> Región Metropolitana .....	5
<b>Figura N°2:</b> Región del Maule.....	8
<b>Figura N°3:</b> Región del BioBío .....	11
<b>Figura N°4:</b> Pluviómetro.....	17
<b>Figura N°5:</b> Pluviógrafo .....	18
<b>Figura N°6:</b> Representación gráfica de las curvas intensidad–duración–frecuencia .....	21
<b>Figura N°7:</b> Ubicación de estaciones pluviográficas en las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío.....	29

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico N°1:</b> Promedio de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora por Región y periodo (grupo A) .....	52
<b>Gráfico N°2:</b> Promedio de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora por Región y periodo (grupo B) .....	53
<b>Gráfico N°3:</b> Promedio de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos por Región y periodo (grupo A) .....	68

<b>Gráfico N°4:</b> Promedio de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos por Región y periodo (grupo B) .....	69
<b>Gráfico N°5:</b> Variación altitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora en estaciones de la Región Metropolitana .....	93
<b>Gráfico N°6:</b> Variación altitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora y 30 minutos en estaciones de la Región del Maule .....	94
<b>Gráfico N°7:</b> Variación altitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora y 30 minutos en estaciones de la Región del BioBío.....	94
<b>Gráfico N°8:</b> Variación latitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora y 30 minutos en estaciones de las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío .....	95
<b>Gráfico N°9:</b> Variación longitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora en estaciones de la Región Metropolitana .....	97
<b>Gráfico N°10:</b> Variación longitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora y 30 minutos en estaciones de la Región del Maule.....	97
<b>Gráfico N°11:</b> Variación longitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora y 30 minutos en estaciones de la Región del BioBío .....	98

## **1.- INTRODUCCIÓN**

El agua corresponde al recurso más abundante en la tierra y es imprescindible para la existencia de los seres vivos. Para el hombre, el agua se constituye como un elemento fundamental en su progreso, pues desde sus albores permitió a la humanidad alcanzar su pleno desarrollo. Actualmente, el agua se encuentra presente en casi todas las actividades cotidianas, así como en la mayoría de los sectores y procesos productivos: industrial, energético, minero, agrícola, forestal, etc. Las poblaciones humanas intervienen de una u otra manera en el proceso de movimiento y transformación del agua, ya sea construyendo embalses, captando acuíferos, regularizando ríos, entre otros (Llamas, 1993). En este contexto, resulta importante conocer el comportamiento del ciclo hidrológico de manera que su aprovechamiento sea óptimo, especialmente donde el agua es escasa.

El recurso agua se encuentra distribuido de diversas maneras en el planeta. El 97,46% se concentra en océanos y mares, el 1,75% en glaciares y casquetes polares, mientras que el 0,79% restante lo constituyen las aguas subterráneas, lagos, ríos, humedad en el suelo y atmósfera, y el agua presente en la composición de los seres vivos (UCM, s.f.).

El evento más importante dentro del ciclo hidrológico lo constituyen las precipitaciones, pues gracias a este suceso, el agua es introducida a los continentes para regresar por uno u otro medio a los océanos. Si bien el agua aportada por las precipitaciones es indispensable para todo tipo de actividad humana, los fenómenos naturales producidos por las mismas, tales como crecidas de afluentes e inundaciones, generan un alto grado de preocupación por

su riesgo asociado y un interés por conocer su comportamiento temporal y espacial.

La manera más utilizada para caracterizar las precipitaciones, corresponde a la intensidad de precipitación, la cual mide la cantidad de agua caída en un periodo de tiempo determinado y se expresa principalmente en milímetros por hora. Los eventos extremos, que se caracterizan especialmente por poseer intensidades de lluvia muy altas, son los que provocan colapsos de los sistemas de drenaje de las ciudades, generan desbordes de ríos y eventualmente contribuyen en los deslizamientos de laderas (Pizarro *et al.*, 2007).

Si bien en Chile no parecen existir estudios hidrológicos que evalúan el comportamiento temporal de intensidades máximas anuales de precipitación, a nivel mundial existen referencias que hablan sobre un aumento en el monto de las mismas. El cambio climático observado en los últimos decenios ha mostrado una fuerte asociación con las variaciones de ciertos componentes del ciclo hidrológico, entre los cuales destacan la intensidad y valores extremos de precipitación. Es muy probable que los eventos con intensidades de lluvia altas muestren un aumento en el tiempo, especialmente en latitudes medias y altas (IPCC, 2007; IPCC, 2008).

De la información que se entrega en los párrafos anteriores, se desprende la importancia de contar con un estudio en Chile en el cual se analice el comportamiento temporal de las intensidades máximas anuales de precipitación, de manera que pueda constituirse como una contribución en torno a los efectos que ha generado el cambio climático en el país.

## **2.- OBJETIVOS**

### **2.1.- Objetivo General**

Contribuir a un mayor conocimiento sobre los eventos extremos de lluvia, aportando con información precisa y confiable respecto al comportamiento temporal de intensidades máximas anuales de precipitación en las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío.

### **2.2.- Objetivos Específicos**

- Evaluar y caracterizar el comportamiento temporal de las intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a distintas duraciones.
- Determinar a través de tendencias si existe un aumento en las intensidades máximas anuales de precipitación para el periodo en estudio.

### **3.- ANTECEDENTES GENERALES**

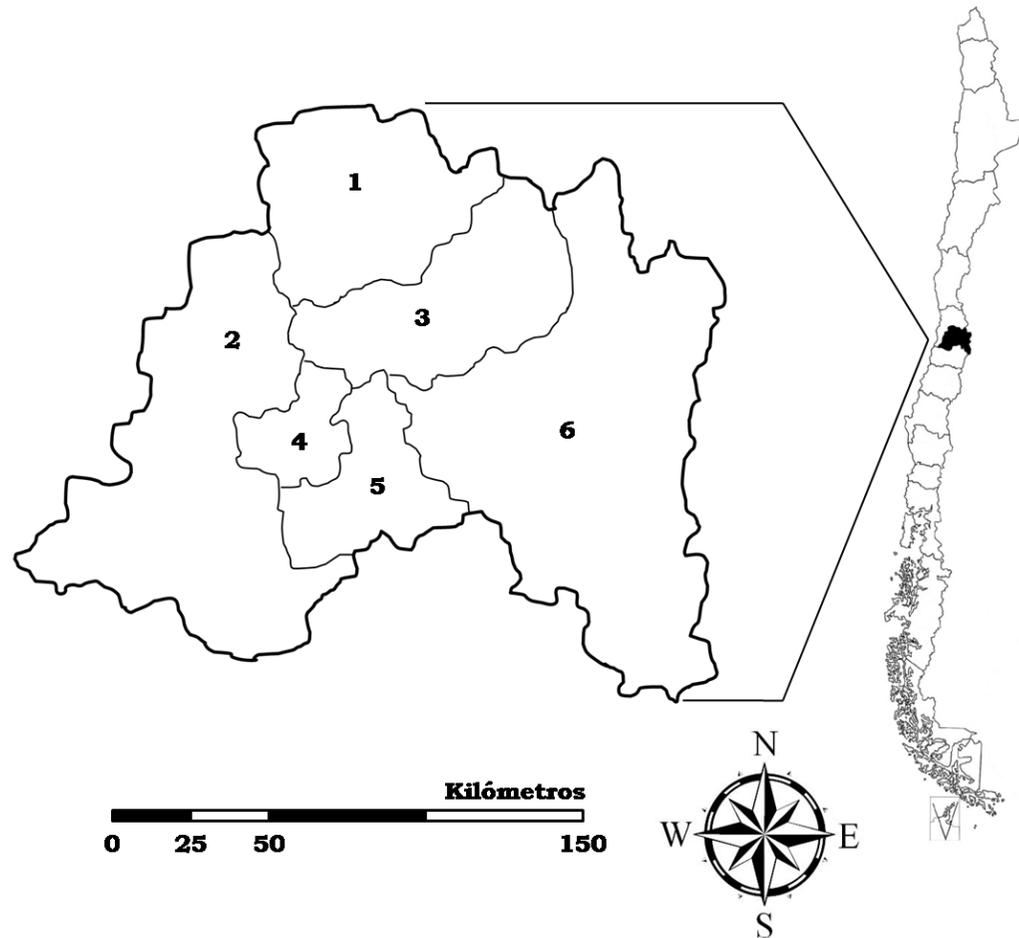
#### **3.1.- Antecedentes Generales del Área de Estudio**

El área de estudio se encuentra comprendida por tres regiones de Chile ubicadas en las zonas centro y centro-sur del país. Éstas corresponden a la Región Metropolitana, Región del Maule y Región del BioBío.

##### **3.1.1.- Región Metropolitana**

La Región Metropolitana, ubicada en la zona centro de Chile, cuenta con una superficie de 15.554,5 km<sup>2</sup> que en comparación a las 14 regiones restantes, representa la menor superficie del país (2,05% de la superficie nacional continental). Se extiende entre los 32°55` y 34°19` latitud sur, y entre los 69°47` y 71°43` longitud oeste. Deslinda por el norte y oeste con la V Región de Valparaíso, por el sur con la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, mientras que el límite este lo constituye la frontera con la República Argentina (BCN, s.f.). Su población, según el censo realizado el año 2002, corresponde a 6.061.185 habitantes (INE, s.f.). En la figura N°1 se presenta un mapa de la Región con su división provincial y las comunas correspondientes a cada una de ellas.

N°	Provincia	Comunas
1	Chacabuco	Colina, Lampa, Tiltil
2	Melipilla	Melipilla, Alhué, Curacaví, María Pinto, San Pedro
3	Santiago	Santiago, Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Pedro Aguirre Cerda, Peñalolén, Providencia, Pudahuel, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Joaquín, San Miguel, San Ramón, Vitacura
4	Talagante	Talagante, El Monte, Isla de Maipo, Padre Hurtado, Peñaflor
5	Maipo	San Bernardo, Buin, Calera de Tango, Paine
6	Cordillera	Puente Alto, Pirque, San José de Maipú



**Figura N°1:** Región Metropolitana.

En cuanto al relieve que presenta la Región Metropolitana, éste se caracteriza por presentar las tres unidades geográficas predominantes y claramente definidas: Cordillera de los Andes; depresión intermedia (Cuenca de Santiago) y Cordillera de la Costa, desde Este a Oeste (BCN, s.f.).

A nivel climático, las principales características corresponden a la predominancia de un clima de tipo templado cálido, con estación seca de 4 a 5 meses (DMC, s.f.a). La precipitación promedio que alcanza la Región es de 369,5 mm anuales, la cual se concentra principalmente entre los meses de mayo y agosto. La temperatura media anual es de 13,9°C, aunque pueden existir diferencias climáticas locales producidas por el efecto del relieve, pues hacia la Cordillera de los Andes se presenta un descenso en las temperaturas y un aumento en las precipitaciones, mientras que hacia la Cordillera de la Costa, se presentan zonas más secas y con características semiáridas (BCN, s.f.).

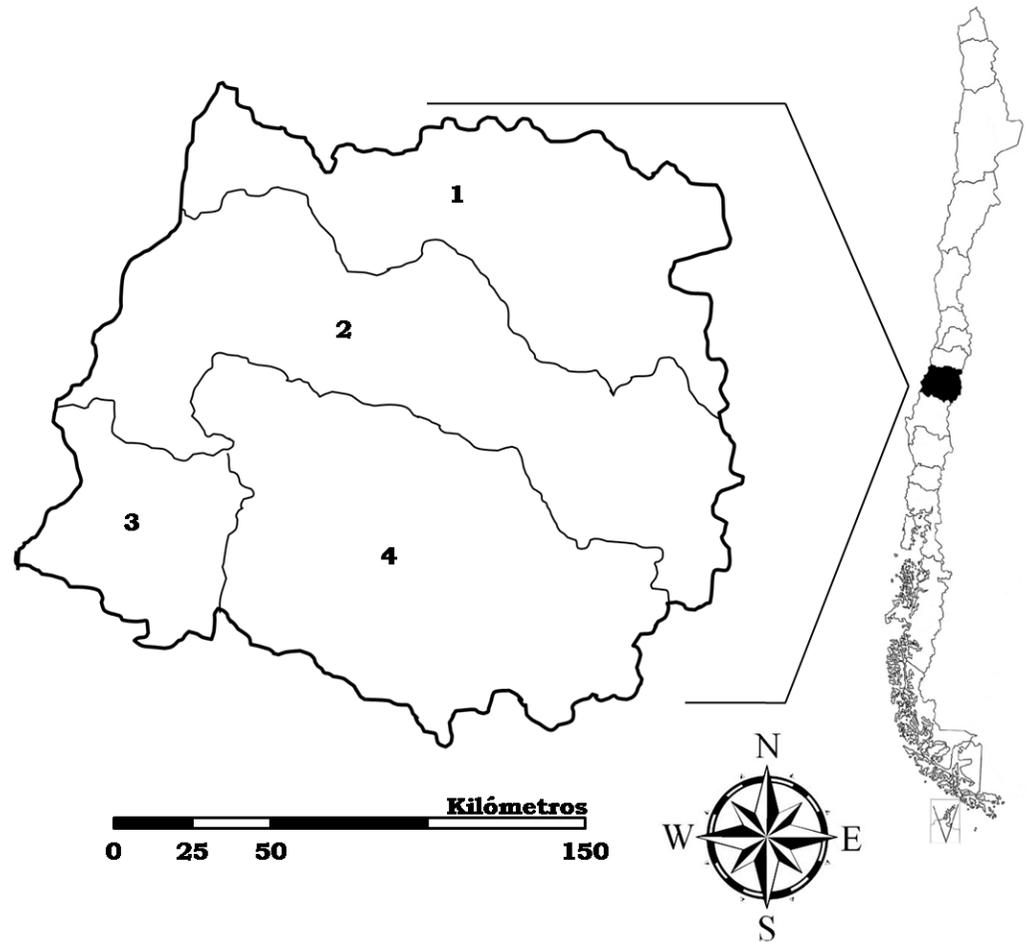
La hidrografía de la zona, destaca por la presencia del Río Maipo, el cual es alimentado en la zona de la Cordillera de los Andes por los ríos Colorado, Yeso y Volcán. Ya en la cuenca de Santiago, recibe por el norte al Río Mapocho como principal afluente. En la parte inferior del curso, el Estero Pangué aporta agua en el periodo de lluvias (BCN, s.f.).

### **3.1.2.- Región del Maule**

La Región del Maule, ubicada en la zona centro-sur de Chile, cuenta con una superficie de 30.469,1 km<sup>2</sup>, lo que representa el 4,0% de la superficie del territorio nacional continental. Se extiende entre

los 34°41` y 36°33` latitud sur. Deslinda por el norte con la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, por el sur con la VIII Región del BioBío, por el oeste con el Océano Pacífico y por el este con el límite internacional de la República Argentina (BCN, s.f.). Corresponde a la VII Región administrativa de Chile y su población según el censo realizado el año 2002, corresponde a 908.097 habitantes (INE, s.f.). En la figura N°2 se presenta un mapa de la Región con su división provincial y las comunas correspondientes a cada una de ellas.

Nº	Provincia	Comunas
1	Curicó	Curicó, Hualañé, Licantén, Molina, Rauco, Romeral, Sagrada Familia, Teno, Vichuquén
2	Talca	Talca, Constitución, Curepto, Empedrado, Maule, Pelarco, Pencahue, Río Claro, San Clemente, San Rafael
3	Cauquenes	Cauquenes, Chanco, Pelluhue
4	Linares	Linares, Colbún, Longaví, Parral, Retiro, San Javier, Villa Alegre, Yerbas Buenas



**Figura N°2:** Región del Maule.

En cuanto al relieve que presenta la Región del Maule, éste se caracteriza por presentar cinco unidades geográficas claramente definidas: Cordillera de los Andes, caracterizada por la actividad volcánica que genera una altura promedio no superior a los 4.000 m.s.n.m.; precordillera andina; depresión intermedia, caracterizada por presentar forma de cono que se amplía hacia el sur; Cordillera de la Costa; y planicies litorales (BCN, s.f.).

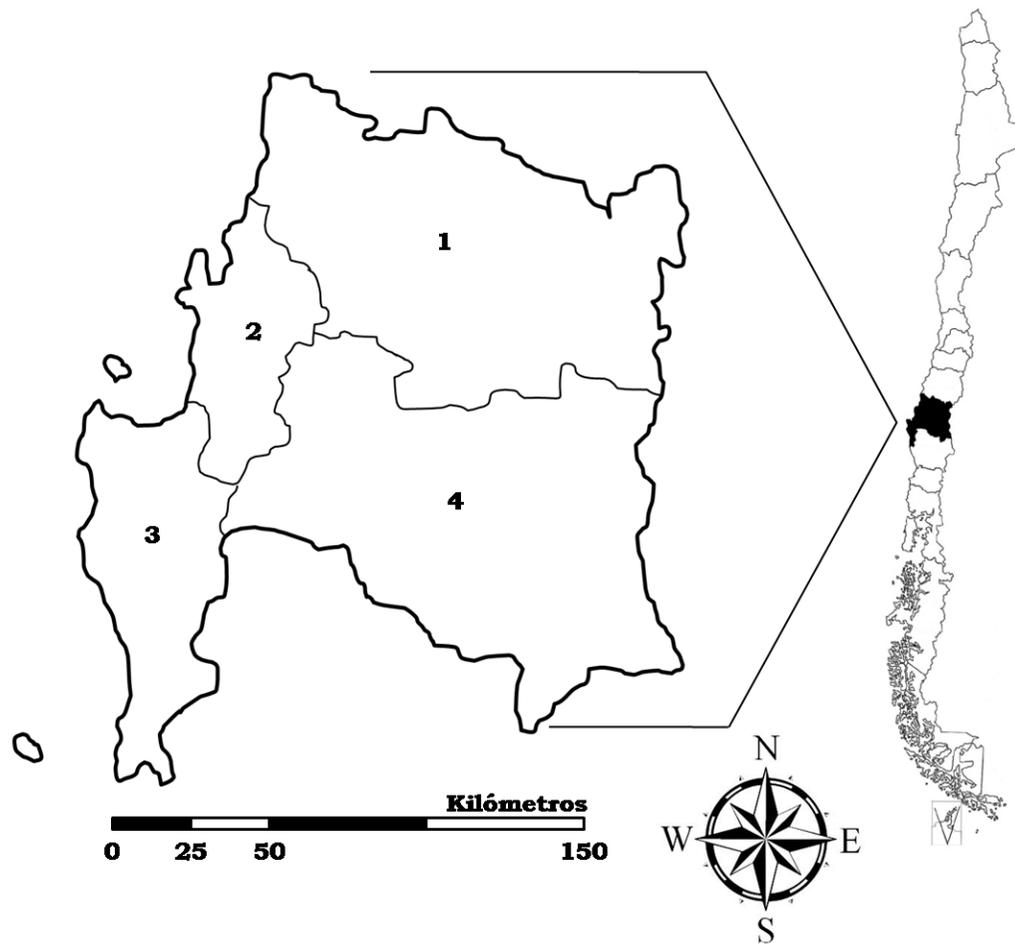
A nivel climático, las principales características corresponden a la predominancia de un clima de tipo mediterráneo cálido, con estación seca prolongada e invierno con lluvias. La precipitación promedio que alcanza la Región es de 700 mm anuales y la temperatura media anual oscila entre los 13°C y 15°C. Pueden existir diferencias climáticas producidas por el efecto del relieve, pues hacia la Cordillera de los Andes se verifica un descenso en las temperaturas y un aumento en las precipitaciones, mientras que hacia la costa, se presenta un clima mediterráneo costero, el cual produce temperaturas moderadas casi en la totalidad del año (BCN, s.f.).

La hidrografía de la zona, destaca por la presencia de dos sistemas hidrográficos representados por los ríos Mataquito en el norte y Maule en el centro. Para el caso del Río Mataquito, éste es de régimen mixto y tiene como afluentes a los ríos Teno y Lontué. El Río Maule, por otro lado, corresponde a uno de los ríos más importantes de Chile. Sus principales tributarios en la zona superior corresponden a los ríos Puelche, Los Cipreses, Claro y Melado, mientras que en la zona de valle longitudinal es alimentado por el Río Loncomilla (BCN, s.f.).

### **3.1.3.- Región del BioBío**

La Región del BioBío, ubicada en la zona centro-sur de Chile, cuenta con una superficie de 37.046,9 km<sup>2</sup> que representan el 4,2% de la superficie del territorio nacional continental. Se extiende entre los 36°00` y 38°30` latitud sur. Deslinda por el norte con la VII Región del Maule, por el sur con la IX Región de la Araucanía, por el oeste con el Océano Pacífico y por el este con el límite internacional de la República Argentina (BCN, s.f.). Su población según el censo realizado el año 2002, corresponde a 1.861.562 habitantes (INE, s.f.). En la figura N°3 se presenta un mapa de la Región con su división provincial y las comunas correspondientes a cada una de ellas.

N°	Provincia	Comunas
1	Ñuble	Chillán, Bulnes, Cobquecura, Coelemu, Coihueco, Chillán Viejo, El Carmen, Ninhue, Ñiquén, Pemuco, Pinto, Portezuelo, Quillón, Quirihue, Ránquil, San Carlos, San Fabián, San Ignacio, San Nicolás, Treguaco, Yungay
2	Concepción	Concepción, Coronel, Chiguayante, Florida, Hualqui, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Santa Juana, Talcahuano, Tomé, Hualpén
3	Arauco	Lebu, Arauco, Cañete, Contulmo, Curanilahue, Los Álamos, Tirúa
4	Bío Bío	Los Ángeles, Antuco, Cabrero, Laja, Mulchén, Nacimiento, Negrete, Quilaco, Quilleco, San Rosendo, Santa Bárbara, Tucapel, Yumbel, Alto BioBío



**Figura N°3:** Región del BioBío.

En cuanto al relieve que presenta la Región del BioBío, éste se caracteriza por presentar cuatro unidades geográficas claramente definidas: Cordillera de los Andes que se presenta con menores alturas en contraste a las regiones antes descritas, con alturas que promedian los 2.000 m.s.n.m.; depresión intermedia; Cordillera de la Costa que por el norte se presenta en general baja, con alturas no mayores a los 400 m.s.n.m., mientras que hacia el sur alcanza más de 1.500 m.s.n.m.; y planicies litorales (BCN, s.f.).

A nivel climático, esta Región presenta la transición entre el clima templado cálido presente en la zona central del país y el templado lluvioso que continúa hacia el sur. La precipitación promedio anual alcanza los 1.100 mm, aunque puede variar considerablemente tanto hacia la Cordillera de la Costa como hacia la Cordillera de los Andes (BCN, s.f.; DMC, s.f.a).

La hidrografía de la zona, destaca por la presencia de dos sistemas hidrográficos representados por los ríos Itata en el norte y BioBío en el sur. Para el caso del Río Itata, éste es de régimen mixto y tiene como afluentes a los ríos Itata y Ñuble. En la parte inferior, su principal afluente es el Río Lonquén. El Río BioBío por otro lado, que también presenta un régimen mixto, en su curso medio recibe el aporte del Río Duqueco y Bureo, mientras que en la costa recibe el aporte del Río Laja, el cual se constituye como su principal afluente (BCN, s.f.).

## **4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1.- Cambio Climático**

De acuerdo al IPCC (2007), el cambio climático se refiere a un cambio en el estado del clima que se puede identificar por medio de cambios en el promedio y variabilidad de sus propiedades, y que además persiste por un periodo prolongado de tiempo. Por otro lado, indica que dicho cambio puede ser producto tanto de la variabilidad natural (erupciones volcánicas o variaciones de la actividad solar) como del resultado de las actividades humanas (quema de combustibles fósiles para la producción de energía o cambios en el uso de la tierra).

Por su parte, el artículo 1 de la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas, define el cambio climático como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (Neuenschwander, 2010).

El aumento de los gases de efecto invernadero, cuyo origen se debe a las actividades antropogénicas, es el que ha influido de manera más evidente en el cambio climático y el calentamiento global, ya sea en el aumento paulatino y constante de las temperaturas, la modificación de los patrones de precipitación, el aumento del nivel del mar y el cambio en la intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos (CEPAL, 2010).

## **4.2.- Precipitaciones**

La precipitación, según Llamas (1993), corresponde al término general utilizado para denominar al fenómeno físico por el cual el agua cae sobre la superficie terrestre en cualquiera de sus formas: lluvia, nieve, granizo y sus modificaciones. Fernández (1995), a su vez, señala que la precipitación es la cantidad de agua procedente de las nubes que llega al suelo en estado líquido o sólido.

Las precipitaciones se producen cuando masas de agua en forma de vapor se elevan de tal manera que éstas se enfrían y parte de su humedad se condensa y precipita (Chow *et al.*, 1994). Este fenómeno, junto a las temperaturas, se constituye como el elemento climático que influye de manera directa en la configuración del medio natural, pues condiciona ciclos agrícolas y distribución de especies animales y vegetales (Fernández, 1996).

De acuerdo al origen, se pueden diferenciar tres tipos de precipitaciones: ciclónicas, convectivas y orográficas. La precipitación ciclónica es la resultante del levantamiento de aire que converge en un área de baja presión, y puede dividirse en precipitaciones frontales y no frontales. La primera sucede tras el levantamiento de aire cálido al lado de una superficie frontal sobre aire más denso y frío, mientras que la segunda no tiene relación con los frentes. La precipitación convectiva es ocasionada por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío que lo rodea (Linsley *et al.*, 1977). Por último, la precipitación orográfica es aquella que ocurre tras el ascenso forzado de una masa de aire debido a la presencia de un relieve pronunciado (Fernández, 1996).

### 4.3.- Intensidad de Precipitación

Según Chow *et al.* (1994) la intensidad de lluvia se define como la tasa temporal de precipitación, es decir, como la profundidad por unidad de tiempo y ésta es expresada como:

$$I = \frac{P}{T_d}$$

Donde P corresponde a la profundidad de lluvia expresada en milímetros o pulgadas y  $T_d$  es la duración, expresada comúnmente en horas.

Remenieras (1971), afirma que la observación simple muestra que la intensidad de precipitación es mayor a medida que su duración es más corta. Visto de otra manera, para Chow *et al.* (1994) la intensidad promedio sostenida por la tormenta disminuye a medida que el intervalo de tiempo aumenta. Bajo este marco, el valor de  $T_d$  seleccionado resulta importante en cuanto a la información de intensidad que proporcionará, pues uno muy grande entregaría poca información, mientras que uno muy pequeño la daría excesiva y difícil de manejar (Aparicio, 1997).

Chow *et al.* (1994) señala que la intensidad máxima en un intervalo de tiempo se establece calculando las intensidades de lluvia corrientes, pertenecientes a una serie de datos para un intervalo de tiempo determinado, para luego seleccionar el valor máximo de aquel conjunto de datos. Además, este valor permite generar una idea de qué tan agresiva puede ser una tormenta, comparada con otras registradas en el mismo sector.

#### **4.4.- Registro y Medición de Intensidades de Precipitación**

Si bien no hay equipos que registran directamente las intensidades de lluvia, éstas se pueden obtener a través de instrumentos que miden la precipitación.

##### **4.4.1.- Pluviómetro**

El pluviómetro corresponde a un instrumento que permite registrar información de precipitación en terreno en estaciones denominadas pluviométricas. La cantidad de agua capturada se mide en altura de precipitación, equivaliendo cada milímetro de agua caída a  $1 \text{ l/m}^2$ .

Un pluviómetro consta básicamente de un recipiente con una entrada en la parte superior llamada boca y que posee un área de  $200 \text{ cm}^2$ , por donde hace ingreso al instrumento el agua precipitada (figura N°4). Esta última, a través de un embudo, es dirigida a la zona baja del instrumento donde se encuentra un colector. Desde aquí, se puede realizar la medición a través de una probeta o una regla, cuando el colector no está graduado (DMC, s.f.b). Desde el nivel de suelo, la boca del instrumento debe encontrarse a 1,5 m. Estas medidas no son estándares, pues en distintos países tanto la altura de la boca como el área de la misma pueden variar (Cuadrat y Pita, 2000).



**Figura N°4:** Pluviómetro.

**Fuente:** <http://www.tiempo.com>; <http://www.mi-meteorologia.com>.

#### **4.4.2.- Pluviógrafo**

El pluviógrafo corresponde a un instrumento que permite registrar información de precipitación en terreno, en estaciones denominadas pluviográficas. De acuerdo a sus características se pueden diferenciar pluviógrafos digitales y de sifón, aunque existen otros tipos que son menos utilizados.

En el pluviógrafo digital, a través de un embudo ubicado en la boca del instrumento, el agua capturada es conducida a una cubeta triangular doble con una bisagra en la parte media, con forma de balanza, en un sistema cuyo equilibrio varía en función de la cantidad de agua en cada cubeta. Cada 0,2 mm la cubeta se vacía mientras comienza a llenarse la otra. Al producirse esto, se genera un impulso eléctrico que registra el tiempo en el que se produjo sobre una banda de papel. De esta manera, el tiempo se transforma en la variable dependiente (Torres, 2004).

El pluviógrafo de sifón, también posee un embudo en la boca del instrumento que lleva el agua capturada hacia un depósito llamado cámara de sifonaje, que consiste en un tambor rotatorio que arrastra una tira de papel graduado (banda pluviográfica o pluviograma), en el cual la abscisa indica el tiempo y la ordenada la altura de precipitación (figura N°5). Dentro de la cámara existe un flotador con una pluma que constantemente marca en la banda pluviográfica la altura de lluvia. Cuando no existe precipitación, la pluma marca una línea recta horizontal. Cada 10 mm, el tambor se vacía, de manera que en la banda pluviográfica se observará una línea vertical (DMC, s.f.b).



**Figura N°5:** Pluviógrafo de sifón y banda pluviográfica.

**Fuente:** <http://foro.tiempo.com>; <http://www.tiempo.com>.

A partir de los tres instrumentos es posible obtener las intensidades de precipitación. Para el caso del pluviómetro los registros se realizan normalmente cada 24 horas, de manera que la intensidad calculada sólo corresponderá a una intensidad promedio para el mismo intervalo de tiempo y ésta es insuficiente para obtener una buena descripción de los eventos (Torres, 2004). El pluviógrafo digital, en cambio, entrega medidas discretas de intensidad, variando el tiempo de duración. Finalmente, el pluviógrafo de sifón registra de

forma continua la precipitación en función del tiempo, permitiendo determinar la intensidad para cualquier duración. Es por esta razón que en estudios donde se requiere de intensidades máximas anuales de precipitación para distintos intervalos de tiempo o duraciones, el mejor instrumento en cuanto a la información que registra corresponde al pluviógrafo de sifón.

#### 4.5.- Clasificación de Intensidades de Precipitación

Es posible encontrar diversas clasificaciones de precipitación de acuerdo a la magnitud media de su intensidad. En el cuadro N°1, se puede observar un criterio de categorización de lluvias de acuerdo a su intensidad.

**Cuadro N°1:** Clasificación de lluvias o chubascos de acuerdo a su intensidad.

<b>Tipo de Lluvia o chubasco</b>	<b>Descripción de la intensidad</b>
Débil	Menor o igual a 2 mm/h
Moderada	Cuando la intensidad es entre 2,1 y 15 mm/h
Fuerte	Cuando la intensidad es entre 15,1 y 30 mm/h
Muy fuerte	Cuando la intensidad es entre 30,1 y 60 mm/h
Torrencial	Cuando la intensidad es mayor a 60 mm/h

**Fuente:** Adaptado de Cuadrat y Pita (2000).

Por otro lado, la intensidad de precipitación puede ser clasificada según se expresa en el cuadro N°2.

**Cuadro N°2:** Clasificación de las intensidades de precipitación.

<b>Intensidad</b>	<b>Magnitud (mm/h)</b>	<b>Descripción</b>
Ligera	2,5 o menos	Las gotas son fácilmente identificables, unas de otras, las superficies expuestas secas tardan más de dos minutos en mojarse completamente.
Moderada	2,5 – 7,5	No se pueden identificar gotas individuales, los charcos se forman rápidamente. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo o de otras superficies planas.
Fuerte	7,5 o más	La visibilidad es bastante restringida y las salpicaduras que se producen sobre la superficie se levantan varias pulgadas.

**Fuente:** <http://200.4.8.21/glosario/glos-i.html>.

#### **4.6.- Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)**

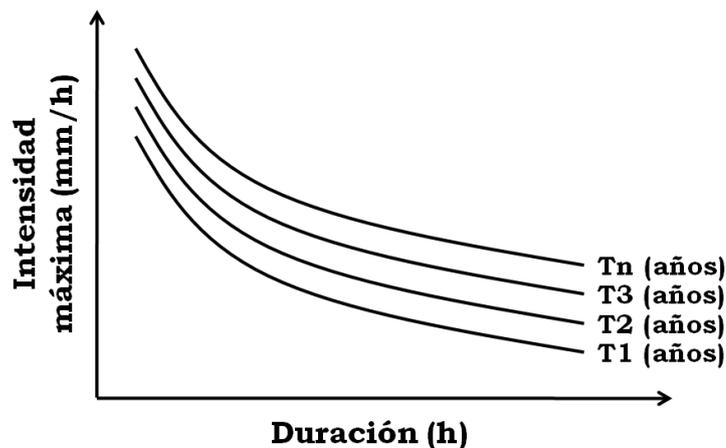
Las curvas IDF según Témez (1978), resultan de la unión de puntos representativos de la intensidad media en intervalos de distinta duración, para un mismo periodo de retorno o frecuencia.

Para De Fraja (1993) citado por Román (2003), estas curvas corresponden a una metodología que permite estimar el valor de las precipitaciones en distintos intervalos y periodos de retorno, a partir de la información de precipitación diaria registrada en las estaciones pluviométricas.

Así mismo, para Bedient y Huber (1992), citados por Macaya (2004), las curvas IDF corresponden a representaciones gráficas que muestran la probabilidad de que una determinada intensidad media de precipitación pueda acontecer, dada una cierta duración.

Por su parte, Mintegui y López (1990) indican que las curvas IDF representan en la abscisa las duraciones y en la ordenada la intensidad de precipitación, de manera que las curvas graficadas representan la intensidad media en intervalos de distinta duración, donde cada punto de una misma curva pertenece a un mismo periodo de retorno.

En la figura N°6, se presenta gráficamente la relación existente entre intensidad, duración y frecuencia, representada esta última como T o periodo de retorno. Se puede observar el comportamiento descrito por Remenieras (1971) y Chow *et al.* (1994), pues existe una clara disminución de la intensidad a medida que aumenta la duración. También se muestra una disminución de estos valores mientras más bajo es el periodo de retorno.



**Figura N°6:** Representación gráfica de las curvas intensidad – duración – frecuencia.

A través de las curvas IDF, es posible obtener intensidades de diseño fundamentales para el dimensionamiento de numerosos proyectos de control y evacuación de crecidas, proyectos de alcantarillado y colectores de aguas lluvias, o sistemas de drenaje de caminos y aeropuertos (Pizarro *et al.*, 2007).

Las curvas IDF también son importantes para la construcción de obras que permiten controlar y recuperar suelos degradados, tales como zanjas de infiltración, canales de desviación de aguas lluvia, diques de postes o gaviones, entre otras. Con el fin de establecer sus dimensiones, resulta necesario conocer el monto de las intensidades máximas de precipitación que se pueden alcanzar (Román, 2003).

Abarza (2001), indica que otra de las aplicaciones de las curvas IDF es en estudios de crecidas, en los cuales resulta necesario conocer la intensidad de precipitación, para luego y a partir de la ecuación racional, estimar caudales de cuencas específicas.

#### **4.7.- Importancia de las Intensidades de Precipitación**

Desde el punto de vista de la conservación de suelos, la intensidad de precipitación corresponde a uno de los antecedentes más importantes a considerar, pues mientras mayor es la cantidad de agua precipitada en un periodo de tiempo mínimo, el daño producido en el suelo será más significativo. Según Suárez (1980), citado por Pizarro *et al.* (2005), la precipitación a través de su intensidad, cantidad y distribución, es el factor climático más influyente en la erosión de suelos, pues de ella depende el volumen de agua que se desliza en capa uniforme sobre la tierra, llevando en suspensión las sustancias minerales. Esto se debe principalmente a que la energía cinética de la lluvia, resultante de la suma de la energía cinética de las gotas individuales, está estrecha y positivamente relacionada con la intensidad de precipitación (Hudson, 1997; García, 2004). A medida que aumenta la energía cinética de las gotas de lluvia, producto del aumento de la intensidad, también aumenta el impacto con las que éstas chocan en el suelo,

generando con ello un mayor grado de desagregación de sus partículas y facilitando su posterior arrastre (García, 2004; Seoáñez, 2004).

Por otro lado, para un suelo cualquiera, a medida que es mayor la intensidad de lluvia, menos demora éste en alcanzar el umbral crítico de escorrentía, debido principalmente a que sus poros se saturan más rápidamente. Es por esta razón que el factor más influyente en la variación del coeficiente de escorrentía corresponde a la intensidad de precipitación (Pizarro *et al.*, 2004; Mintegui y López, 1999 citados por Pizarro *et al.*, 2005), pues un incremento en el monto de estas últimas resulta en un aumento en el volumen escurrido, y por consiguiente, en un mayor caudal (Pizarro *et al.*, 2007).

Finalmente, para llevar a cabo obras de conservación de aguas y suelos resulta indispensable contar con buena información de las intensidades máximas anuales de lluvia, principal obstáculo a la hora de definir dimensiones en estructuras de pequeña y mediana envergadura. En este sentido, es recomendable utilizar intensidades máximas de diseño menores o iguales a una hora, con la finalidad de aumentar la seguridad en su diseño y debido a que los mayores registros ocurren en lapsos muy cortos, especialmente en zonas áridas y semiáridas (Pizarro *et al.*, 2004; Pizarro *et al.*, 2005).

#### **4.8.- Estudios Relacionados**

Es importante mencionar que a nivel nacional es escaso el número de estudios que evalúen el comportamiento temporal de las intensidades máximas anuales de precipitación. Más bien la mayoría

de las investigaciones realizadas en torno a esta variable, se constituyen como la construcción y/o evaluación de curvas IDF. En este último caso, cabe destacar el número importante de memorias de título de la Escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad de Talca, en torno a este tema.

En este sentido, Pizarro *et al.* (2007) construyeron 40 curvas IDF a partir de las estaciones pluviográficas ubicadas en las regiones de Coquimbo, de Valparaíso, Metropolitana, del Libertador General Bernardo O'Higgins, del Maule, del BioBío y de la Araucanía. Dentro de los principales resultados, se encontró que el ajuste de las intensidades máximas anuales a la distribución de probabilidad de Gumbel presentó un excelente nivel de acuerdo al test de Kolmogorov-Smirnov y al  $R^2$  que éstos presentaron. Por otro lado, se observó que los mayores volúmenes de lluvia no necesariamente generan las mayores intensidades. Además, encontraron una leve tendencia al aumento en el monto de las intensidades máximas de precipitación en el sentido norte-sur del país. Finalmente, se presenció que en casi todas las regiones, las estaciones cercanas a cuerpos de agua denotaron mayores probabilidades de exceder 25 mm/h.

A nivel internacional, existen algunas referencias que indagan sobre la variabilidad de eventos extremos de lluvia a nivel temporal. El IPCC (2008) señala que debido al aumento de la temperatura de la superficie de los océanos, producto del cambio climático y calentamiento global, se producirá un aumento en la frecuencia de episodios con lluvias extremas, lo que será más pronunciado en áreas de latitudes medias y altas que ya han experimentado un aumento en el monto anual de sus precipitaciones. Con esto, aumentará considerablemente el riesgo de deslizamientos, escorrentías, crecidas

e inundaciones. En consecuencia, también se producirán periodos secos más largos.

García y Cruz (2009) por otro lado, detectaron incrementos en las medias y medianas de las intensidades de lluvia diarias para la década comprendida entre los años 1994 y 2004 en la Región Pacífico Norte de México. En el mismo estudio, se concluye que el monto anual de precipitación no ha cambiado en el transcurso del tiempo, pero el número de días con lluvia ha sufrido una disminución significativa con el consiguiente efecto del aumento de sus intensidades.

La UNL – FICH (2007), analizó la evolución temporal de la frecuencia e intensidades extremas de las lluvias en la Región Geográfica de Mesopotamia, en Argentina, encontrando como resultado que existe un aumento de 0,3 días/año a 0,7 días/año con lluvias sobre los 100 mm para los periodos 1934 – 1972 y 1972 – 2005 respectivamente, lo cual implica un aumento de 137%.

Rajeevan *et al.* (2008) evaluaron la variabilidad y tendencia a largo plazo de los eventos extremos de precipitación sobre la India, utilizando para ello un registro de días con lluvia de 104 años (1901 – 2004). El principal resultado, muestra un aumento en la frecuencia de días con lluvias extremas (mayor o igual a 150 mm/día), variación que significa un aumento de 6% por década. Con los resultados obtenidos, los autores apoyan la hipótesis de que el aumento de las precipitaciones extremas en la India, principalmente en las cinco últimas décadas, se asocia a la tendencia del aumento de la temperatura de la superficie del mar y, en este caso en particular, en el Océano Índico.

Nandargi y Dhar (2011) estudiaron la tendencia de días de lluvia extrema para un periodo de 137 años (1871–2007) en la cordillera del Himalaya. En sus resultados, encontraron un aumento considerable en la frecuencia de días con lluvias extremas durante las décadas de 1951 – 1960 a 1991 – 2000, mientras que se apreció una repentina disminución en las frecuencias presentes en el periodo comprendido entre los años 2001 – 2007.

## **5.- METODOLOGÍA**

### **5.1.- Fases Metodológicas**

#### **5.1.1.- Revisión Bibliográfica**

Dados los objetivos planteados en este estudio, la etapa de revisión bibliográfica consistió en la recopilación de la mayor cantidad de información disponible relacionada con cambio climático, precipitaciones, intensidades de precipitación y su importancia como indicador, así como estudios relacionados con la misma. Para ello, se recurrió a textos de hidrología e hidráulica, climatología, tesis de pregrado de la escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad de Talca y textos e información disponible en internet.

#### **5.1.2.- Obtención de Información Requerida**

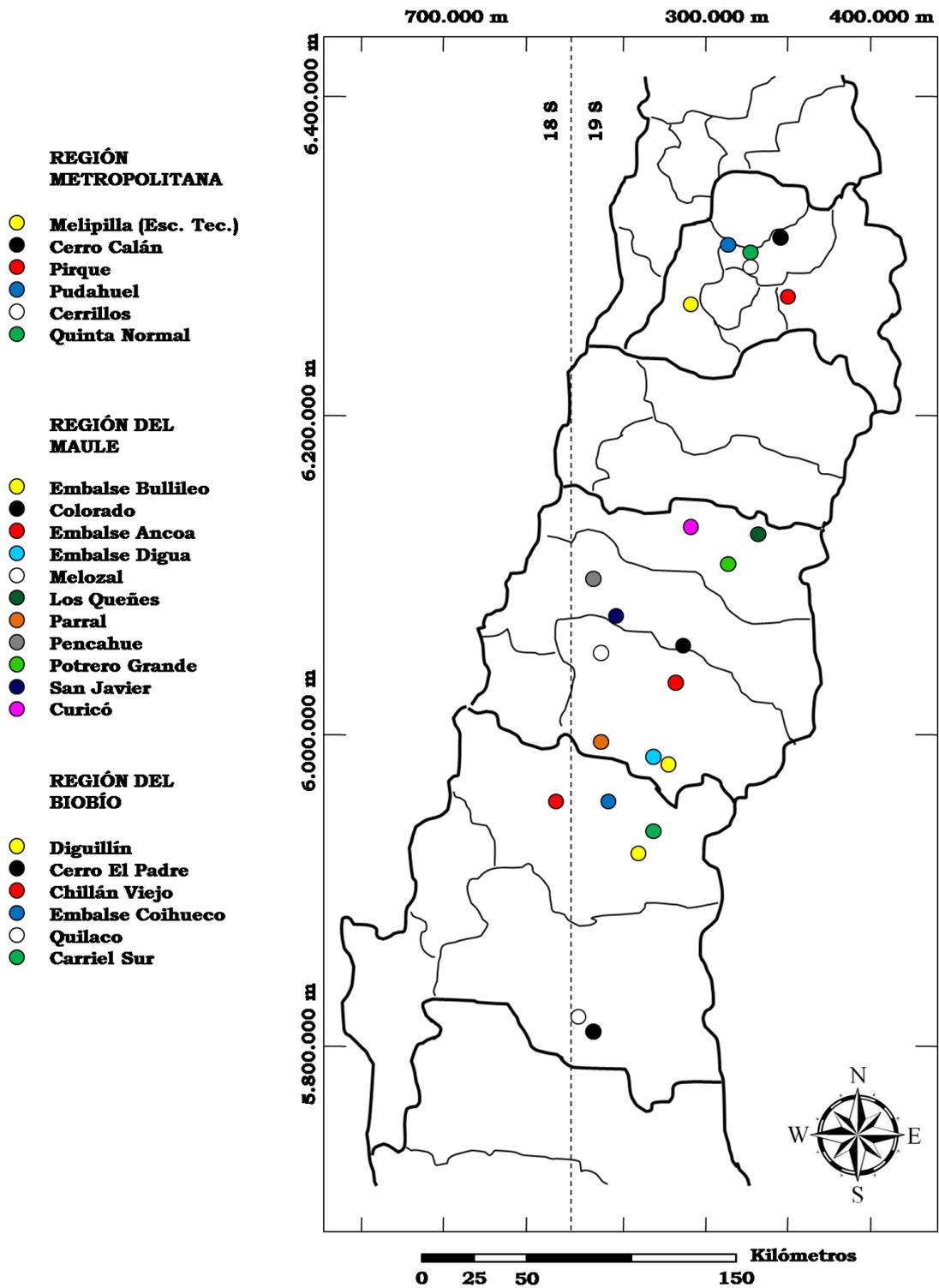
En el marco del proyecto FONDEF D08I1054 “*Sistema de Estimación de Eventos Extremos de Lluvia, para la Prevención y Mitigación de los Riesgos de Avenidas y Caudales Circulantes, en un Contexto de Variabilidad y Cambio Climático*”, del cual es parte este estudio, la información que se utilizó corresponde a datos de intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a duraciones de 1 hora y 30 minutos para las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío.

### 5.1.2.1.- Recopilación de Información Pluviográfica

En esta etapa del proyecto antes mencionado, se recopilaron las bandas pluviográficas de las estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas, como red principal del país. Además, se añadieron al estudio las bandas pluviográficas pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). En el cuadro N°3 se presentan las estaciones pluviográficas que se utilizaron para este estudio, mientras que en la figura N°7 se presenta la ubicación de las mismas.

**Cuadro N°3:** Estaciones pluviográficas utilizadas para el estudio.

Región	Estación	Origen	Altitud (m.s.n.m.)	Coordenadas UTM (m)	
				Norte	Este
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	DGA	170	6.270.745	295.875
	Cerro Calán	DGA	848	6.303.490	356.880
	Pirque	DGA	659	6.272.526	352.676
	Pudahuel	DMC	480	6.303.827	333.113
	Cerrillos	DMC	554	6.292.542	341.711
	Quinta Normal	DMC	527	6.298.140	343.586
Región del Maule	Embalse Bullileo	DGA	600	5.981.362	282.975
	Colorado	DGA	420	6.053.566	295.409
	Embalse Ancoa	DGA	430	6.023.539	293.064
	Embalse Digua	DGA	390	5.985.373	271.197
	Melozal	DGA	110	6.037.495	248.358
	Los Queñes	DGA	668	6.125.462	334.570
	Parral	DGA	175	5.990.920	245.623
	Pencahue	DGA	55	6.081.649	242.462
	Potrero Grande	DGA	460	6.104.610	308.992
	San Javier	DGA	135	6.057.345	259.056
	Curicó	DMC	220	6.128.453	296.813
Región del BioBío	Diguillín	DGA	670	5.916.068	264.244
	Cerro El Padre	DGA	400	5.814.336	247.868
	Chillán Viejo	DGA	106	5.941.028	220.217
	Embalse Coihueco	DGA	314	5.940.945	249.537
	Quilaco	DGA	225	5.825.399	235.537
	Carriel Sur	DMC	1.110	5.927.873	272.911



**Figura N°7:** Ubicación de estaciones pluviográficas en las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío.

### **5.1.2.2.- Determinación de Intensidades Máximas Anuales de Precipitación**

Una vez recopiladas las bandas pluviográficas por el proyecto, fueron obtenidas las intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 30 minutos y 1 hora. Para las intensidades de 30 minutos, el trabajo consistió en la digitalización de bandas pluviográficas para luego, a través de un software generado bajo el marco del mismo proyecto, obtener el máximo anual para dicha duración de tormenta. Para la duración de 1 hora, las bandas fueron analizadas inicialmente de forma manual. Para ello y por medio de una cuña, se seleccionaron los valores extremos de precipitación, razón por la cual fue necesario realizar diversos muestreos. Una vez obtenidos los valores, éstos fueron validados por medio del mismo software.

### **5.1.2.3.- Definición de periodos**

Dada la información que presentó cada una de las estaciones pluviográficas, se definieron dos grupos de periodos con el fin de evaluar el comportamiento temporal de las intensidades. El Grupo A consistió en la división de los datos en cuatro periodos decadales (1970–1979, 1980–1989, 1990–1999 y 2000–2009) con un mínimo de 6 y un máximo de 10 datos por periodo. El Grupo B consistió en la división de los datos en dos periodos bi-decadales (1970–1989 y 1990–2009) con un mínimo de 12 y un máximo de 20 datos por periodo. De este modo los periodos definidos por estación y Región, para duraciones de 1 hora y 30 minutos, quedan definidos en los cuadros N°4 y N°5 respectivamente.

**Cuadro N°4:** Definición de periodos para intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora.

Estación	Grupo A				Grupo B	
	1970 1979	1980 1989	1990 1999	2000 2009	1970 1989	1990 2009
Melipilla (Esc. Tec.)	(5)	(10)	(10)	(9)	(15)	(19)
Cerro Calán	(5)	(10)	(10)	(10)	(15)	(20)
Pirque	(8)	(10)	(10)	(10)	(18)	(20)
Pudahuel	(6)	(10)	(10)	(10)	(16)	(20)
Cerrillos	(10)	(9)	(10)	(6)	(19)	(16)
Quinta Normal	(9)	(9)	(10)	(10)	(18)	(20)
Embalse Bullileo	(9)	(10)	(10)	(10)	(19)	(20)
Colorado	(9)	(10)	(10)	(10)	(19)	(20)
Embalse Ancoa	(8)	(10)	(10)	(10)	(18)	(20)
Embalse Digua	(9)	(10)	(10)	(10)	(19)	(20)
Melozal	(6)	(9)	(10)	(10)	(15)	(20)
Los Queñes	(9)	(10)	(10)	(10)	(19)	(20)
Parral	(6)	(10)	(10)	(10)	(16)	(20)
Pencahue	(6)	(10)	(10)	(10)	(16)	(20)
Potrero Grande	(8)	(10)	(10)	(10)	(18)	(20)
San Javier	(6)	(10)	(10)	(10)	(16)	(20)
Curicó	(9)	(9)	(9)	(10)	(18)	(19)
Diguillín	(10)	(10)	(10)	(10)	(20)	(20)
Cerro El Padre	(10)	(10)	(10)	(10)	(20)	(20)
Chillán Viejo	(6)	(10)	(10)	(10)	(16)	(20)
Embalse Coihueco	(8)	(10)	(10)	(10)	(18)	(20)
Quilaco	(10)	(10)	(10)	(10)	(20)	(20)
Carriel Sur	(10)	(10)	(10)	(10)	(20)	(20)
	Periodo completo					
	Periodo incompleto, considerado					
	Periodo incompleto, no considerado					
( )	Número de datos					

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Cuadro N°5:** Definición de periodos para intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos.

Estación	Grupo A				Grupo B	
	1970 1979	1980 1989	1990 1999	2000 2009	1970 1989	1990 2009
Melipilla (Esc. Tec.)	(5)	(10)	(10)	(9)	(15)	(19)
* Cerro Calán	(0)	(0)	(8)	(10)	(0)	(18)
Pirque	(8)	(10)	(10)	(10)	(18)	(20)
* Pudahuel	(0)	(5)	(9)	(9)	(5)	(18)
* Cerrillos	(4)	(4)	(8)	(6)	(8)	(14)
* Quinta Normal	(6)	(4)	(8)	(9)	(10)	(17)
Embalse Bullileo	(9)	(10)	(10)	(10)	(19)	(20)
Colorado	(9)	(10)	(10)	(10)	(19)	(20)
Embalse Ancoa	(8)	(10)	(10)	(10)	(18)	(20)
Embalse Digua	(9)	(10)	(10)	(10)	(19)	(20)
Melozal	(6)	(9)	(10)	(10)	(15)	(20)
Los Queñes	(9)	(10)	(10)	(10)	(19)	(20)
Parral	(6)	(10)	(10)	(10)	(16)	(20)
Pencahue	(6)	(10)	(10)	(10)	(16)	(20)
Potrero Grande	(8)	(10)	(10)	(10)	(18)	(10)
San Javier	(6)	(10)	(10)	(10)	(16)	(20)
* Curicó	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
Diguillín	(10)	(7)	(10)	(10)	(17)	(20)
Cerro El Padre	(10)	(10)	(10)	(10)	(20)	(20)
** Chillán Viejo	(0)	(8)	(10)	(10)	(8)	(20)
Embalse Coihueco	(8)	(10)	(10)	(10)	(18)	(20)
Quilaco	(10)	(10)	(9)	(9)	(20)	(18)
* Carriel Sur	(5)	(4)	(9)	(10)	(9)	(19)
	Periodo completo					
	Periodo incompleto, considerado					
	Periodo incompleto, no considerado					
( )	Número de datos					
*	Estación no considerada en el análisis					
**	Estación que considera solo el análisis del Grupo A					

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

Es importante destacar que el software antes mencionado sólo permitió el procesamiento de bandas pluviográficas del tipo semanal, cuyas dimensiones son de 9,1 x 42,8 cm. Para todas las bandas cuyas dimensiones fueron distintas, no fue posible extraer el valor de intensidad máxima anual para una duración de 30 minutos. Es por esta razón que en el cuadro N°5 se aprecia que seis estaciones fueron excluidas.

### **5.1.3.- Procesamiento de la Información**

#### **5.1.3.1.- Test de Mann–Kendall**

Para determinar la tendencia general de los datos de los periodos considerados, se utilizó el Test de de Mann–Kendall, el cual corresponde a un test no paramétrico que permite la detección de tendencias con significancia estadística. A esto se suma que tiene la particularidad de poseer mayor potencia en la medida que el grupo de datos presenta más sesgo, alejándola de la distribución normal (Gilbert, 1987; Miró *et al.*, 2009). Además, sufre un efecto menor con los valores atípicos en contraste a las pruebas paramétricas, debido a que se basa principalmente en el signo de las diferencias y no directamente en los valores de la variable aleatoria (Önöz y Mehmetçik, 2003).

El procedimiento para el test de Mann–Kendall consta de los siguientes pasos:

- Los datos se arreglan de acuerdo al orden en el cual fueron obtenidos en el tiempo:  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , donde  $x_i$  es el dato en el momento  $i$ .
- Se obtienen todas las diferencias posibles entre los  $x_j - x_k$ , donde  $x_j$  y  $x_k$  representan a los datos en el momento  $j$  y  $k$  respectivamente, con  $j > k$ , como se ejemplifica a continuación:

<b>TIEMPO</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>...</b>	<b>n-1</b>
$X_2 - X_1$	$X_3 - X_2$	$X_4 - X_3$	$\dots$		$X_{n-1} - X_n$
$X_3 - X_1$	$X_4 - X_2$	$\dots$	$X_{n-1} - X_4$		
$X_4 - X_1$	$\dots$	$X_{n-1} - X_3$	$X_n - X_4$		
$\dots$	$X_{n-1} - X_2$	$X_n - X_3$			
$X_{n-1} - X_1$	$X_n - X_2$				
$X_n - X_1$					

- A cada  $x_j - x_k$  se le asigna el *signo* de acuerdo a lo siguiente:

$$\text{Signo}(x_j - x_k) \begin{cases} +1 \text{ si } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 \text{ si } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 \text{ si } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

- Si existen menos de 10 datos, se obtiene el estadístico  $S$  de Mann-Kendall de acuerdo a la expresión que se muestra a continuación:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{Signo}(x_j - x_k)$$

- Un valor positivo del estadístico  $S$  indica una tendencia ascendente y viceversa. El valor de  $|S|$  es comparado con la distribución teórica de  $S$  derivada por Mann-Kendall, tomando la decisión de acuerdo a las siguientes afirmaciones:

- No existe tendencia si  $|S| \leq S_{(\alpha/2)}$  (no se rechaza  $H_0$ )
- Existe tendencia si  $|S| > S_{(\alpha/2)}$  (se rechaza  $H_0$ )

- Si existen 10 o más datos se calcula  $S$  de igual modo y éste es aproximado a la distribución normal mediante el estadístico  $Z_{MK}$ , el cual queda definido por la expresión que se muestra a continuación:

$$Z_{MK} \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{VAR}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{VAR}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

Con:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n+1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

Donde:

$\text{VAR}(S)$  = Varianza del estadístico  $S$

$q$  = Número de grupos de datos

$t_p$  = Número de datos dentro de cada grupo

- Un valor positivo del estadístico  $Z_{MK}$  indica una tendencia ascendente y viceversa. La decisión se toma de acuerdo a las siguientes afirmaciones:
  - No existe tendencia si  $|Z_{MK}| \leq Z_{(1-\alpha/2)}$  (no se rechaza  $H_0$ )
  - Existe tendencia si  $|Z_{MK}| > Z_{(1-\alpha/2)}$  (se rechaza  $H_0$ )

Es importante destacar que el test de Mann-Kendall no cuantifica tendencias, sólo las detecta. Es por esta razón que Sen (1968) citado por Gilbert (1987), estableció un procedimiento no paramétrico que permite la estimación de la pendiente. Esto significa que ante una tendencia lineal presente en la serie de tiempo, el modelo puede ser descrito como:

$$f(t) = Qt + B$$

Donde:

$Q$  = Pendiente

$B$  = Constante del modelo

El procedimiento para determinar la pendiente por medio del método de Sen, consta de los siguientes pasos:

- Se determinan los  $N$  valores de  $Q_i$  que se obtienen de la siguiente expresión:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}$$

Donde:

$x_j, x_k$  = Datos en el tiempo  $j$  y  $k$  respectivamente, con  $j > k$

$N$  = Número de pares de datos para los que  $j > k$

- La mediana de los  $N$  valores de  $Q_i$  corresponde al estimador de la pendiente. Esto tiene validez en casos donde existe un dato por periodo de tiempo (año, mes, día, etc.). Cuando existe más de un dato por periodo de tiempo, los  $Q_i$  dentro del periodo no se consideran.
- Si existen 10 o más datos, se pueden determinar los límites de confianza asociados a  $Q$  y para un nivel de confianza de  $100(1 - \alpha)\%$ . Para ello, los  $N$  valores de  $Q_i$  son arreglados en orden creciente.
- Se calcula el valor de  $M_1$  y  $M_2$ , definidos por la expresiones que se muestran a continuación:

$$M_1 = \frac{(n - C_\alpha)}{2}; \quad M_2 = \frac{(n + C_\alpha)}{2} + 1$$

Con:

$$C_{\alpha} = Z_{(1-\alpha/2)}\sqrt{VAR(S)}$$

Donde:

$Z_{(1-\alpha/2)}$  = Valor obtenido de la tabla de distribución normal estándar

- Los valores de  $M_1$  y  $M_2$  indican la posición respectiva donde se encuentra el límite de confianza inferior y superior, dentro del rango de los  $N$  valores de  $Q_i$  arreglados en orden creciente. Si  $M_1$  y/o  $M_2$  no son números enteros, los respectivos límites son interpolados.

### **5.1.3.2.- Prueba de Kruskal–Wallis**

Los periodos definidos y considerados previamente fueron contrastados mediante la prueba Kruskal–Wallis, equivalente no paramétrico del Análisis de Varianza. Esta prueba consiste en una extensión de la prueba  $U$  de Mann–Whitney (equivalente no paramétrico de la prueba  $t$  de student para dos muestras) para más de dos muestras (Canavos, 1998; Webster, 2001; Levin y Rubin, 2004). Bajo esta prueba, que compara medianas, se determina si las muestras independientes son extraídas de la misma población o distintas poblaciones con la misma distribución (Levin y Rubin, 2004).

El procedimiento consta de los siguientes pasos:

- Se combinan los datos de las muestras  $A, B, \dots, N$ , formando un solo conjunto de  $n_A + n_B + \dots + n_N$  datos.
- El conjunto de  $n_A + n_B + \dots + n_N$  datos es arreglado en orden creciente.
- A cada dato se le asigna el rango al cual pertenece, de tal modo que el primer dato tendrá asignado el rango 1, el segundo el rango 2 y así sucesivamente. Cuando existen rangos ligados, es decir, casos en los que existan datos iguales, sus rangos se promedian y asignan a los mismos, como se ejemplifica a continuación:

<b>Muestra A</b>	3,2	3,1	3,5	3,4	3,6						
<b>Muestra B</b>	3,9	4,0	4,1	3,6	3,5						
<b>Muestra AB</b>	3,1	3,2	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,9	4,0	4,1	
<b>Rango</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4,5*</b>	<b>4,5*</b>	<b>6,5*</b>	<b>6,5*</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	

\* Rangos ligados

- Se calcula el estadístico  $K$ , definido por la expresión que se muestra a continuación:

$$K = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^N \left( \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1)$$

Donde:

$K$  = Estadístico de la prueba de Kruskal-Wallis

$n$  = Número total de datos

$n_i$  = Número de datos de la muestra  $i$

$R_i$  = Suma de los rangos de la muestra  $i$

- Se obtiene el valor de la tabla de valores críticos de la distribución chi - cuadrado para  $N - 1$  grados de libertad y el nivel de significancia de  $\alpha$ , encontrando con ello el valor  $\chi^2$  que

permite tomar la decisión de acuerdo a las siguientes afirmaciones:

- Las medianas son iguales si  $K \leq \chi^2_{(N-1; \alpha)}$  (no se rechaza  $H_0$ )
- Existe por lo menos una mediana distinta del resto si  $K > \chi^2_{(N-1; \alpha)}$  (se rechaza  $H_0$ )
- Un paso final, es realizar una corrección al estadístico  $K$  cuando existen rangos ligados por medio de la siguiente expresión:

$$K_c = \frac{K}{C}$$

Donde:

$K_c$  = Estadístico corregido de la prueba de Kruskal–Wallis

$C$  = Coeficiente de corrección para la prueba de Kruskal–Wallis, definido por la siguiente expresión:

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i^3 - t_i)}{n^3 - n}$$

Donde:

$t_i$  = Número de rangos ligados en la muestra  $i$

Para determinar qué muestras son estadísticamente distintas de otras, el procedimiento consta de los siguientes pasos:

- Se calcula el rango promedio de cada muestra de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\bar{R}_i = \frac{R_i}{n_i}$$

- Se determina el valor absoluto de las diferencias entre los  $\bar{R}_i$  y  $\bar{R}_j$ .
- Se calcula el valor crítico para la prueba de Kruskal–Wallis mediante la expresión que se muestra a continuación:

$$C_{k(i,j)} = \sqrt{x^2_{(N-1;\alpha)} \left( \frac{n(n+1)}{12} \right) \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

- Cada diferencia absoluta se compara con su respectivo valor crítico para determinar si las dos muestras difieren significativamente, tomando la decisión de acuerdo a las siguientes afirmaciones:
  - No existen diferencias entre los dos grupos si  $|\bar{R}_i - \bar{R}_j| \leq C_{k(i,j)}$
  - Existen diferencias entre los dos grupos si  $|\bar{R}_i - \bar{R}_j| > C_{k(i,j)}$

### 5.1.3.3.- Ajuste a la Función de Distribución de Probabilidad (FDP) de Gumbel

Los datos de los periodos considerados fueron ajustados a la Función de Distribución de Probabilidad (FDP) de Gumbel, dado que ésta presenta una buena calidad de ajuste para la información proveniente de eventos meteorológicos con valores extremos (Pizarro *et al.*, 2007).

La FDP de Gumbel queda definida con la expresión que se muestra a continuación:

$$F(x) = P[\varepsilon \leq X] = e^{-e^{-\sigma(x-\mu)}}$$

Donde:

$x$  = Valor a asumir por la variable aleatoria

$\sigma, \mu$  = Parámetros a determinar a partir de la muestra

Los parámetros de la función quedan definidos con las expresiones que se muestran a continuación:

$$\mu = \bar{x} - 0,450047S; \quad \sigma = \frac{1}{0,779696S}$$

Donde:

$\bar{x}$  = Media aritmética de la serie

$S$  = Desviación estándar de la serie

Una vez ajustada la FDP se determinó la intensidad de precipitación asociada a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años, utilizando para ello la expresión de probabilidad de no excedencia que se muestra a continuación:

$$F(x) = P[\varepsilon \leq X] = 1 - \frac{1}{T}$$

Donde:

$T$  = Periodo de retorno (años)

#### 5.1.3.4.- Pruebas de Bondad de Ajuste

Como una manera de definir la calidad del ajuste que presentó la FDP de Gumbel, se aplicaron las pruebas de bondad propuestas por Pizarro *et al.* (2007), las cuales corresponden al Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y el Test de Kolmogorov–Smirnov (KS).

##### a.- Coeficiente de Determinación ( $R^2$ )

Esta medida de bondad mide la proporción o porcentaje de la variación total de la variable dependiente que es explicada por el modelo ajustado (Gujarati, 1992 citado por Pizarro *et al.*, 2007). Para determinar el valor de  $R^2$ , se aplicó la expresión que se muestra a continuación:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [F_n(x)_i - F(x)_i]^2}{\sum_{i=1}^n [F_n(x)_i - \overline{F_n(x)}]^2}$$

Donde:

$F(x)_i$  = Probabilidad teórica acumulada

$F_n(x)_i$  = Probabilidad observada acumulada

$\overline{F_n(x)}$  = Media de las Probabilidades observadas acumuladas

## **b.- Test de Kolmogorov–Smirnov (KS)**

Esta medida de bondad de ajuste no paramétrica, compara la probabilidad observada acumulada y la probabilidad teórica acumulada para evaluar el punto en que ambas distribuciones muestran mayor diferencia (Pizarro *et al.*, 2007).

Para determinar la calidad del ajuste, primero los datos fueron ordenados de menor a mayor y se les asignó el número del orden al cual pertenecían. Luego se determinó la probabilidad acumulada asociada a cada valor mediante la expresión de Weibull, que se muestra a continuación:

$$F_n(x) = \frac{n}{N + 1}$$

Donde:

$F_n(x)$  = Probabilidad observada acumulada

$n$  = Número de orden

$N$  = Número total de datos

A continuación, mediante la FDP de Gumbel, se determinó la probabilidad observada acumulada de cada valor. Una vez obtenidas ambas probabilidades, se seleccionó la diferencia suprema para la  $i$ -ésima posición del dato, definida por la expresión que se muestra a continuación:

$$D_{calculado} = \text{Sup} | F_n(x)_i - F(x)_i |$$

Donde:

$D_{calculado}$  = Diferencia suprema entre distribución observada y teórica acumulada

$F_n(x)_i$  = Probabilidad observada acumulada

$F(x)_i$  = Probabilidad teórica acumulada

Una vez que se determinó el valor de  $D_{calculado}$ , se recurrió a la tabla de valores críticos de D del test de Kolmogorov–Smirnov para un tamaño muestral  $n$  y un nivel de confianza de 95% ( $D_{tabla}$ ). La significancia del modelo se determinó de acuerdo a las siguientes afirmaciones:

- El ajuste es significativo si  $D_{calculado} \leq D_{tabla}$  (no se rechaza  $H_0$ )
- El ajuste no es significativo si  $D_{calculado} > D_{tabla}$  (se rechaza  $H_0$ )

#### **5.1.4.- Presentación de Resultados**

Dada la cantidad de datos con los que se trabajó, en esta etapa del estudio se presentaron mediante cuadros y gráficos los principales resultados obtenidos para cada Región, estación pluviográfica y duración de tormenta.

#### **5.1.5.- Análisis y Discusión de Resultados**

Una vez obtenidos y presentados los principales resultados de este estudio, se procedió a analizar y discutir los mismos con la finalidad de comprender de mejor modo el comportamiento temporal

que han manifestado las intensidades máximas anuales de precipitación en las tres regiones de estudio. De forma complementaria, se realizó un análisis espacial de la misma información.

#### **5.1.6.- Conclusiones y Recomendaciones**

Finalmente y a partir de los resultados obtenidos y los posteriores análisis realizados, se generaron las conclusiones correspondientes y las principales recomendaciones que se derivaron del estudio.

#### **5.2.- Materiales y Equipos**

Los materiales y equipos utilizados para el desarrollo de este estudio fueron los siguientes:

- Datos de intensidades máximas anuales de estaciones pluviográficas pertenecientes a las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío.
- Computador e impresora.
- Programas computacionales para el procesamiento de datos:
  - Microsoft Office Word 2007
  - Microsoft Office Excel 2007
  - Statgraphics Centurion XV
  - Planilla Excel MAKENSENS

## 6.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el presente estudio se trabajó con los datos de intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a duraciones de 1 hora y 30 minutos. Dichos datos se encuentran adjuntos en el apéndice I.

### 6.1.- Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora

En el cuadro N°6 se presenta un resumen de los datos utilizados para las tres regiones de estudio.

**Cuadro N°6:** Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora por estación.

Región	Estación	$\bar{x}$	S	CV	Máx.	Mín.
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	9,73	3,53	0,36	20,40	3,70
	Cerro Calán	10,61	2,72	0,26	17,10	5,60
	Pirque	12,58	4,08	0,32	21,30	7,20
	Pudahuel	8,77	2,71	0,31	15,90	3,50
	Cerrillos	8,48	2,29	0,27	13,40	4,30
	Quinta Normal	8,69	2,43	0,28	14,40	3,40
Región del Maule	Embalse Bullileo	20,23	5,54	0,27	34,10	12,60
	Colorado	17,57	4,01	0,23	28,70	10,90
	Embalse Ancoa	17,57	3,82	0,22	24,00	6,70
	Embalse Digua	16,40	4,16	0,25	30,50	5,68
	Melozal	12,80	4,23	0,33	25,50	7,50
	Los Queñes	15,44	4,59	0,30	30,00	3,90
	Parral	15,03	4,33	0,29	26,70	8,50
	Pencahue	12,35	3,05	0,25	19,00	6,30
	Potrero Grande	16,14	4,47	0,28	26,30	8,20
	San Javier	12,73	4,01	0,31	29,60	6,00
	Curicó	12,97	5,15	0,40	32,50	6,50
Región del BioBío	Diguillín	18,49	5,28	0,29	30,20	9,10
	Cerro El Padre	17,96	4,67	0,26	29,40	7,50
	Chillán Viejo	17,40	5,11	0,29	29,00	6,90
	Embalse Coihueco	19,96	7,25	0,36	46,20	8,40
	Quilaco	18,43	4,99	0,27	29,10	10,00
	Carriel Sur	18,68	5,46	0,29	31,20	10,20

$\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Máx.: Valor máximo; Mín.: Valor mínimo

Las intensidades promedio más altas se registraron en las estaciones Pirque, Embalse Bullileo y Embalse Coihueco para las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío respectivamente, situación que también se puede observar en los valores máximos.

En los cuadros N°7, N°8 y N°9, se presenta el promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a una duración de 1 hora por periodo y estación, para las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío respectivamente.

**Cuadro N°7:** Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 1 hora por estación y periodo considerado en la Región Metropolitana.

<b>Estación Melipilla (Esc. Tec.)</b>							<b>Estación Cerro Calán</b>						
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	-	11,20	7,58	10,47	10,55	8,95	$\bar{x}$	-	10,41	10,68	11,37	10,30	11,06
<b>S</b>	-	4,38	1,99	2,90	3,77	2,81	<b>S</b>	-	3,14	2,28	2,53	3,02	2,38
<b>CV</b>	-	0,39	0,26	0,28	0,36	0,31	<b>CV</b>	-	0,30	0,21	0,22	0,29	0,22
<b>Máx.</b>	-	20,40	10,20	16,00	20,40	16,00	<b>Máx.</b>	-	16,00	13,00	17,10	16,00	17,10
<b>Mín.</b>	-	5,20	3,70	7,10	5,20	3,70	<b>Mín.</b>	-	6,60	6,20	8,10	6,00	6,20
<b>Estación Pirque</b>							<b>Estación Pudahuel</b>						
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	11,58	12,69	11,74	14,11	12,19	12,93	$\bar{x}$	8,85	10,33	7,51	8,43	9,78	7,97
<b>S</b>	3,33	4,12	3,72	4,98	3,72	4,45	<b>S</b>	2,75	3,46	2,26	1,61	3,20	1,96
<b>CV</b>	0,29	0,32	0,32	0,35	0,31	0,34	<b>CV</b>	0,31	0,33	0,30	0,19	0,33	0,25
<b>Máx.</b>	18,20	17,70	16,40	21,30	18,20	21,30	<b>Máx.</b>	13,00	15,90	9,90	10,20	15,90	10,20
<b>Mín.</b>	7,50	7,30	7,30	7,20	7,30	7,20	<b>Mín.</b>	5,10	6,40	3,50	4,90	5,10	3,50
<b>Estación Cerrillos</b>							<b>Estación Quinta Normal</b>						
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	9,34	7,30	9,31	7,42	8,37	8,60	$\bar{x}$	8,48	9,60	7,57	9,20	9,04	8,38
<b>S</b>	2,60	1,92	1,98	1,94	2,47	2,12	<b>S</b>	2,68	2,54	1,49	2,70	2,60	2,28
<b>CV</b>	0,28	0,26	0,21	0,26	0,30	0,25	<b>CV</b>	0,32	0,26	0,20	0,29	0,29	0,27
<b>Máx.</b>	13,40	9,80	12,54	10,10	13,40	12,54	<b>Máx.</b>	11,40	13,70	9,80	14,40	13,70	14,40
<b>Mín.</b>	6,00	4,30	6,10	5,10	4,30	5,10	<b>Mín.</b>	3,40	5,70	4,50	5,30	3,40	4,50

$\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Máx.: Valor máximo; Mín.: Valor mínimo; Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Cuadro N°8:** Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 1 hora por estación y periodo considerado en la Región del Maule.

<b>Estación</b>	<b>Embalse Bullileo</b>						<b>Estación</b>	<b>Colorado</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	19,89	18,77	20,04	22,19	19,30	21,12	$\bar{x}$	17,36	16,68	17,19	19,03	17,00	18,11
<b>S</b>	4,78	4,44	5,46	7,28	4,51	6,36	<b>S</b>	2,77	2,19	5,14	5,14	2,44	5,09
<b>CV</b>	0,24	0,24	0,27	0,33	0,23	0,30	<b>CV</b>	0,16	0,13	0,30	0,27	0,14	0,28
<b>Máx.</b>	28,24	26,10	31,10	34,10	28,24	34,10	<b>Máx.</b>	20,60	20,00	28,70	28,70	20,60	28,70
<b>Mín.</b>	14,10	12,60	13,40	13,80	12,60	13,40	<b>Mín.</b>	12,00	12,90	13,00	10,90	12,00	10,90
<b>Estación</b>	<b>Embalse Ancoa</b>						<b>Estación</b>	<b>Embalse Digua</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	16,70	17,08	17,06	19,28	16,91	18,17	$\bar{x}$	14,08	16,00	16,32	18,97	15,09	17,65
<b>S</b>	5,44	3,71	2,67	3,43	4,42	3,20	<b>S</b>	4,41	3,90	2,81	4,47	4,15	3,88
<b>CV</b>	0,33	0,22	0,16	0,18	0,26	0,18	<b>CV</b>	0,31	0,24	0,17	0,24	0,28	0,22
<b>Máx.</b>	21,60	21,47	21,60	24,00	21,60	24,00	<b>Máx.</b>	19,14	22,70	22,70	30,50	22,70	30,50
<b>Mín.</b>	6,70	10,50	13,40	12,10	6,70	12,10	<b>Mín.</b>	5,68	9,10	13,21	15,20	5,68	13,21
<b>Estación</b>	<b>Melozal</b>						<b>Estación</b>	<b>Los Queñes</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	15,15	11,36	13,45	12,03	12,88	12,74	$\bar{x}$	12,97	15,96	14,72	17,86	14,54	16,29
<b>S</b>	5,07	2,62	5,71	2,79	4,10	4,44	<b>S</b>	3,72	4,15	3,70	5,67	4,14	4,93
<b>CV</b>	0,33	0,23	0,42	0,23	0,32	0,35	<b>CV</b>	0,29	0,26	0,25	0,32	0,28	0,30
<b>Máx.</b>	22,00	16,80	25,50	17,20	22,00	25,50	<b>Máx.</b>	16,00	23,60	22,80	30,00	23,60	30,00
<b>Mín.</b>	9,40	8,00	7,50	8,10	8,00	7,50	<b>Mín.</b>	3,90	10,70	9,80	9,70	3,90	9,70

$\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Máx.: Valor máximo; Mín.: Valor mínimo; Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Continuación de Cuadro N°8:** Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 1 hora por estación y periodo considerado en la Región del Maule.

<b>Estación</b>	<b>Parral</b>						<b>Estación</b>	<b>Pencahue</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	18,15	14,37	16,04	12,81	15,79	14,42	$\bar{x}$	11,87	13,83	11,40	12,10	13,09	11,75
<b>S</b>	6,29	3,85	4,06	2,42	5,07	3,65	<b>S</b>	2,49	3,27	3,11	2,92	3,08	2,96
<b>CV</b>	0,35	0,27	0,25	0,19	0,32	0,25	<b>CV</b>	0,21	0,24	0,27	0,24	0,24	0,25
<b>Máx.</b>	26,70	20,00	20,20	17,30	26,70	20,20	<b>Máx.</b>	15,30	19,00	16,20	17,00	19,00	17,00
<b>Mín.</b>	8,50	9,90	9,50	10,00	8,50	9,50	<b>Mín.</b>	8,20	8,00	6,30	8,40	8,00	6,30
<b>Estación</b>	<b>Potrero Grande</b>						<b>Estación</b>	<b>San Javier</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	13,96	16,77	15,89	17,49	15,52	16,69	$\bar{x}$	11,60	14,71	11,52	12,64	13,55	12,08
<b>S</b>	4,18	5,14	4,70	3,62	4,82	4,17	<b>S</b>	3,82	5,72	3,48	1,63	5,19	2,70
<b>CV</b>	0,30	0,31	0,30	0,21	0,31	0,25	<b>CV</b>	0,33	0,39	0,30	0,13	0,38	0,22
<b>Máx.</b>	19,50	25,60	26,30	25,70	25,60	26,30	<b>Máx.</b>	17,60	29,60	19,10	14,90	29,60	19,10
<b>Mín.</b>	8,20	9,90	11,00	13,80	8,20	11,00	<b>Mín.</b>	6,00	8,00	7,20	10,30	6,00	7,20
<b>Estación</b>	<b>Curicó</b>												
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B								
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009							
$\bar{x}$	12,93	11,59	10,57	16,40	12,26	13,64							
<b>S</b>	4,10	3,84	1,77	7,39	3,91	6,14							
<b>CV</b>	0,32	0,33	0,17	0,45	0,32	0,45							
<b>Máx.</b>	18,00	19,60	14,50	32,50	19,60	32,50							
<b>Mín.</b>	8,00	6,50	9,00	8,00	6,50	8,00							

$\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Máx.: Valor máximo; Mín.: Valor mínimo; Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

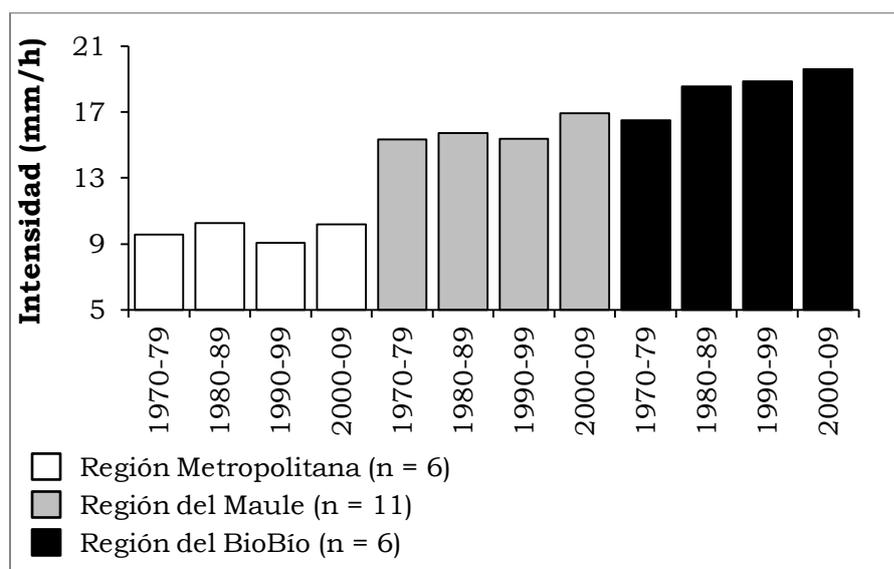
**Cuadro N°9:** Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 1 hora por estación y periodo considerado en la Región del BioBío.

<b>Diguillín</b>							<b>Cerro El Padre</b>						
<b>Estación</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Estación</b>	Grupo A				Grupo B	
<b>Periodo</b>	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009	<b>Periodo</b>	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	16,69	17,66	20,50	19,09	17,18	19,80	$\bar{x}$	15,76	18,33	19,62	18,14	17,05	18,88
<b>S</b>	6,94	5,18	3,93	4,60	5,98	4,22	<b>S</b>	4,16	5,28	5,14	3,76	4,81	4,45
<b>CV</b>	0,42	0,29	0,19	0,24	0,35	0,21	<b>CV</b>	0,26	0,29	0,26	0,21	0,28	0,24
<b>Máx.</b>	30,20	27,80	25,90	27,70	30,20	27,70	<b>Máx.</b>	22,40	27,60	29,40	24,80	27,60	29,40
<b>Mín.</b>	9,10	9,60	12,00	11,60	9,10	11,60	<b>Mín.</b>	7,50	11,10	13,00	14,00	7,50	13,00
<b>Chillán Viejo</b>							<b>Embalse Coihueco</b>						
<b>Estación</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Estación</b>	Grupo A				Grupo B	
<b>Periodo</b>	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009	<b>Periodo</b>	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	13,20	17,89	18,70	18,12	16,13	18,41	$\bar{x}$	17,08	19,94	17,87	24,38	18,67	21,13
<b>S</b>	4,48	4,33	5,30	5,38	4,84	5,21	<b>S</b>	4,14	6,03	6,57	9,45	5,33	8,60
<b>CV</b>	0,34	0,24	0,28	0,30	0,30	0,28	<b>CV</b>	0,24	0,30	0,37	0,39	0,29	0,41
<b>Máx.</b>	20,00	26,00	27,40	29,00	26,00	29,00	<b>Máx.</b>	21,00	29,00	33,20	46,20	29,00	46,20
<b>Mín.</b>	6,90	11,80	11,00	13,80	6,90	11,00	<b>Mín.</b>	8,40	11,20	9,00	15,60	8,40	9,00
<b>Quilaco</b>							<b>Carriel Sur</b>						
<b>Estación</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Estación</b>	Grupo A				Grupo B	
<b>Periodo</b>	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009	<b>Periodo</b>	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	18,09	18,92	18,72	17,99	18,51	18,35	$\bar{x}$	18,17	18,65	17,85	20,04	18,41	18,95
<b>S</b>	5,24	4,25	5,18	5,91	4,66	5,42	<b>S</b>	4,87	5,50	4,87	6,96	5,06	5,95
<b>CV</b>	0,29	0,22	0,28	0,33	0,25	0,30	<b>CV</b>	0,27	0,29	0,27	0,35	0,27	0,31
<b>Máx.</b>	26,20	29,10	26,09	28,50	29,10	28,50	<b>Máx.</b>	24,20	27,90	23,40	31,20	27,90	31,20
<b>Mín.</b>	10,00	12,70	10,70	10,40	10,00	10,40	<b>Mín.</b>	11,40	11,50	10,20	13,40	11,40	10,20

$\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Máx.: Valor máximo; Mín.: Valor mínimo; Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

Al comparar el grupo de periodos A, se observa que en general predominó el aumento de las intensidades promedio del periodo 1970-1979 al 1980-1989, situación que cambió desde el periodo 1980-1989 al periodo 1990-1999, donde predominó una disminución de las mismas. Finalmente, del periodo 1990-1999 al 2000-2009, nuevamente se registró en la mayoría de las estaciones un aumento de las intensidades promedio. Por otro lado, al comparar el grupo de periodos B, se observa que en general aumentaron las intensidades desde el periodo 1970-1989 al 1990-2009.

En los gráficos N°1 y N°2, se representa el comportamiento temporal de los promedios regionales por periodo para los grupos A y B respectivamente.

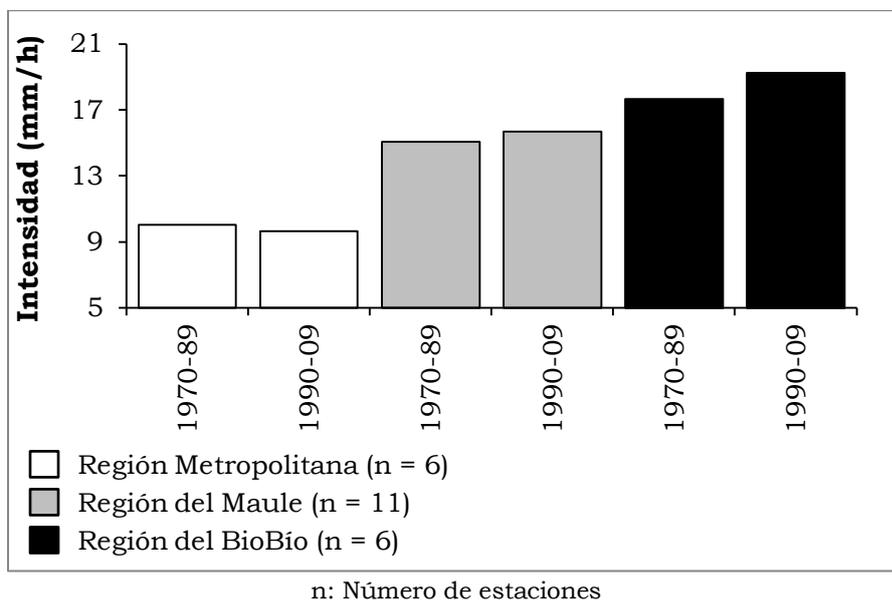


n: Número de estaciones

**Gráfico N°1:** Promedio de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora por Región y periodo (grupo A).

Se observa en el gráfico N°1 que en la Región del BioBío para los periodos en consideración, las intensidades promedio mostraron un incremento constante en el tiempo, no así en las regiones

Metropolitana y del Maule, donde se aprecia una disminución del periodo 1980–1989 al 1990–1999.



**Gráfico N°2:** Promedio de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora por Región y periodo (grupo B).

Del gráfico N°2, se desprende que sólo la Región Metropolitana manifestó una disminución de las intensidades promedio.

### 6.1.1.- Test de Mann–Kendall para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora

En el cuadro N°10 se presenta el valor del estadístico  $Z_{MK}$  del test de Mann–Kendall y la significancia del mismo, asociado a las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora.

**Cuadro N°10:** Test de Mann–Kendall para intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora.

Región	Estación	n	Z <sub>MK</sub>	Q	B
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	29	-0,47	-0,036	10,29
	Cerro Calán	30	1,13	0,067	9,17
	Pirque	38	0,58	0,033	11,07
	Pudahuel	36	-0,80	-0,034	9,63
	Cerrillos	35	-1,29	-0,058	9,44
	Quinta Normal	38	-0,87	-0,028	9,16
Región del Maule	Embalse Bullileo	39	0,29	0,030	19,09
	Colorado	39	-0,50	-0,020	17,16
	Embalse Ancoa	38	0,50	0,033	17,80
	Embalse Digua	39	1,86	0,093	14,38
	Melozal	35	-0,54	-0,028	11,96
	Los Queñes	39	0,99	0,072	13,11
	Parral	36	-1,96*	-0,160	18,97
	Pencahue	36	-0,68	-0,033	13,17
	Potrero Grande	38	1,18	0,063	14,06
	San Javier	36	0,35	0,017	11,85
Curicó	37	1,15	0,050	9,65	
Región del BioBío	Diguillín	40	1,18	0,083	16,96
	Cerro El Padre	40	0,71	0,050	16,43
	Chillán Viejo	36	1,20	0,114	14,56
	Embalse Coihueco	38	1,27	0,091	16,86
	Quilaco	40	-0,78	-0,035	19,95
	Carriel Sur	40	0,02	0,006	17,17

n: Número de datos; Z<sub>MK</sub>: Estadístico del test de Mann–Kendall (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ ); Q: Estimador de la pendiente; B: Estimador del intercepto

Sólo la estación Parral presentó una tendencia estadísticamente significativa para un nivel de significancia de 0,05, lo cual implica que las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora disminuyeron en 0,16 mm/h/año. Para el resto de las estaciones, se denota mediante esta prueba que no hay evidencia estadísticamente significativa de la existencia de tendencias en el tiempo para las intensidades máximas anuales de lluvia.

### 6.1.2.- Prueba de Kruskal–Wallis para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora

En el cuadro N°11 se presenta el valor del estadístico K de la prueba de Kruskal–Wallis y la significancia del mismo, asociado a la comparación de periodos para intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora.

**Cuadro N°11:** Prueba de Kruskal–Wallis para intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora.

Región	Estación	K Grupo A	K Grupo B
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	5,38411	1,19496
	Cerro Calán	0,90099	1,06408
	Pirque	1,43074	0,07726
	Pudahuel	2,91381	1,87495
	Cerrillos	5,86721	0,14517
	Quinta Normal	4,02861	1,33457
Región del Maule	Embalse Bullileo	0,90314	0,36508
	Colorado	2,19876	0,01600
	Embalse Ancoa	2,94936	0,20548
	Embalse Digua	5,55594	2,52198
	Melozal	2,06541	0,00112
	Los Queñes	3,70712	0,73456
	Parral	4,68848	0,34759
	Pencahue	3,34500	1,66456
	Potrero Grande	3,36487	1,04816
	San Javier	4,49562	0,97411
	Curicó	4,25089	0,26742
Región del BioBío	Diguillín	4,38223	3,69443
	Cerro El Padre	2,98119	1,05718
	Chillán Viejo	4,11432	1,07246
	Embalse Coihueco	5,28176	0,49355
	Quilaco	0,62675	0,05306
	Carriel Sur	0,49734	0,00458

K: Estadístico de la prueba de Kruskal–Wallis (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ ); Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

Para ninguna de las tres regiones se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos periodos comparados para un nivel de significancia de 0,05.

### **6.1.3.- Ajuste de Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel a Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora**

De acuerdo al Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y el Test de Kolmogorov–Smirnov, pruebas de bondad de ajuste ya descritas, todos los ajustes a la FDP de Gumbel presentaron una buena calidad. Dichos ajustes se encuentran adjuntos en el apéndice II.

Con la finalidad de realizar un análisis comparativo entre los periodos establecidos y detectar posibles tendencias, se determinó el valor de intensidad máxima anual de precipitación asociada a los periodos de retorno ya descritos. De esta manera, en los cuadros N°12, N°13 y N°14 se presentan las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora en las estaciones de las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío respectivamente, asociadas a los periodos de retorno de 10, 30 y 50 años.

**Cuadro N°12:** Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región Metropolitana, obtenidas de la FDP de Gumbel.

<b>Estación</b>		<b>Melipilla (Esc. Tec.)</b>						<b>Estación</b>		<b>Cerro Calán</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	-	16,92	10,17	14,25	15,47	12,62	<b>T</b>	<b>10</b>	-	14,51	13,65	14,67	14,24	14,16
	<b>30</b>	-	20,79	11,93	16,82	18,80	15,10		<b>30</b>	-	17,28	15,67	16,91	16,92	16,27
	<b>50</b>	-	22,56	12,73	17,99	20,32	16,24		<b>50</b>	-	18,55	16,59	17,93	18,14	17,23
<b>Estación</b>		<b>Pirque</b>						<b>Estación</b>		<b>Pudahuel</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	15,91	18,06	16,59	20,61	17,05	18,73	<b>T</b>	<b>10</b>	12,44	14,84	10,46	10,52	13,95	10,53
	<b>30</b>	18,85	21,70	19,88	25,01	20,34	22,66		<b>30</b>	14,88	17,90	12,45	11,94	16,78	12,27
	<b>50</b>	20,19	23,36	21,38	27,02	21,84	24,45		<b>50</b>	15,99	19,30	13,36	12,59	18,08	13,06
<b>Estación</b>		<b>Cerrillos</b>						<b>Estación</b>		<b>Quinta Normal</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	12,73	9,81	11,90	9,95	11,60	11,37	<b>T</b>	<b>10</b>	11,97	12,91	9,52	12,72	12,43	11,36
	<b>30</b>	15,03	11,51	13,65	11,66	13,79	13,25		<b>30</b>	14,34	15,15	10,84	15,11	14,72	13,38
	<b>50</b>	16,08	12,29	14,45	12,44	14,79	14,11		<b>50</b>	15,42	16,18	11,44	16,20	15,77	14,30

T: Periodo de retorno (años); Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Cuadro N°13:** Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región del Maule, obtenidas de la FDP de Gumbel.

<b>Estación</b>		<b>Embalse Bullileo</b>						<b>Estación</b>		<b>Colorado</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	26,12	24,57	27,17	31,68	25,18	29,41	<b>T</b>	<b>10</b>	20,97	19,54	23,90	25,74	20,18	24,75
	<b>30</b>	30,34	28,50	32,00	38,11	29,17	35,03		<b>30</b>	23,43	21,48	28,44	30,28	22,34	29,25
	<b>50</b>	32,27	30,29	34,20	41,05	30,99	37,60		<b>50</b>	24,55	22,36	30,51	32,35	23,32	31,31
<b>Estación</b>		<b>Embalse Ancoa</b>						<b>Estación</b>		<b>Embalse Digua</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	23,80	21,92	20,54	23,75	22,68	22,34	<b>T</b>	<b>10</b>	19,83	21,08	19,99	24,80	20,50	22,71
	<b>30</b>	28,61	25,20	22,90	26,78	26,58	25,17		<b>30</b>	23,73	24,53	22,47	28,75	24,17	26,13
	<b>50</b>	30,80	26,70	23,98	28,16	28,36	26,46		<b>50</b>	25,51	26,10	23,61	30,55	25,84	27,70
<b>Estación</b>		<b>Melozal</b>						<b>Estación</b>		<b>Los Queñes</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	21,77	14,78	20,90	15,67	18,23	18,53	<b>T</b>	<b>10</b>	17,82	21,37	19,55	25,26	19,94	22,72
	<b>30</b>	26,26	17,10	25,95	18,14	21,85	22,45		<b>30</b>	21,11	25,03	22,82	30,27	23,59	27,08
	<b>50</b>	28,30	18,16	28,25	19,27	23,51	24,24		<b>50</b>	22,61	26,71	24,31	32,56	25,26	29,07

T: Periodo de retorno (años); Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Continuación de Cuadro N°13:** Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región del Maule, obtenidas de la FDP de Gumbel.

<b>Estación</b>		<b>Parral</b>						<b>Estación</b>		<b>Pencahue</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	26,36	19,40	21,33	15,96	22,40	19,19	<b>T</b>	<b>10</b>	15,12	18,10	15,46	15,91	17,11	15,61
	<b>30</b>	31,92	22,81	24,92	18,11	26,88	22,41		<b>30</b>	17,32	20,99	18,22	18,50	19,83	18,23
	<b>50</b>	34,46	24,36	26,56	19,08	28,92	23,89		<b>50</b>	18,33	22,31	19,47	19,68	21,07	19,43
<b>Estación</b>		<b>Potrero Grande</b>						<b>Estación</b>		<b>San Javier</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	19,41	23,48	22,02	22,22	21,81	22,13	<b>T</b>	<b>10</b>	16,59	22,17	16,05	14,76	20,31	15,60
	<b>30</b>	23,10	28,02	26,18	25,42	26,07	25,81		<b>30</b>	19,97	27,22	19,13	16,21	24,90	18,00
	<b>50</b>	24,78	30,10	28,07	26,89	28,02	27,49		<b>50</b>	21,51	29,53	20,53	16,86	26,99	19,09
<b>Estación</b>		<b>Curicó</b>													
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B									
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009								
<b>T</b>	<b>10</b>	18,28	16,59	12,87	26,04	17,37	21,64								
	<b>30</b>	21,91	19,98	14,43	32,58	20,83	27,07								
	<b>50</b>	23,56	21,53	15,15	35,56	22,41	29,55								

T: Periodo de retorno (años); Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Cuadro N°14:** Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región del BioBío, obtenidas de la FDP de Gumbel.

<b>Estación</b>		<b>Diguillín</b>						<b>Estación</b>		<b>Cerro El Padre</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	25,74	24,42	25,62	25,09	24,98	25,31	<b>T</b>	<b>10</b>	21,19	25,22	26,32	23,04	23,32	24,68
	<b>30</b>	31,87	29,00	29,09	29,16	30,26	29,04		<b>30</b>	24,86	29,89	30,87	26,37	27,58	28,61
	<b>50</b>	34,67	31,09	30,68	31,01	32,68	30,74		<b>50</b>	26,54	32,03	32,94	27,89	29,52	30,41
<b>Estación</b>		<b>Chillán Viejo</b>						<b>Estación</b>		<b>Embalse Coihueco</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	19,04	23,53	25,62	25,14	22,44	25,20	<b>T</b>	<b>10</b>	22,47	27,80	26,45	36,70	25,62	32,34
	<b>30</b>	22,99	27,36	30,31	29,90	26,72	29,81		<b>30</b>	26,13	33,13	32,26	45,06	30,34	39,94
	<b>50</b>	24,80	29,11	32,45	32,07	28,67	31,91		<b>50</b>	27,80	35,57	34,91	48,87	32,49	43,41
<b>Estación</b>		<b>Quilaco</b>						<b>Estación</b>		<b>Carriel Sur</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	24,93	24,46	25,47	25,70	24,59	25,43	<b>T</b>	<b>10</b>	24,52	25,83	24,20	29,11	25,01	26,71
	<b>30</b>	29,57	28,22	30,05	30,93	28,71	30,22		<b>30</b>	28,83	30,69	28,51	35,26	29,49	31,97
	<b>50</b>	31,68	29,93	32,14	33,32	30,60	32,41		<b>50</b>	30,79	32,91	30,48	38,07	31,53	34,37

T: Periodo de retorno (años); Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

Se puede visualizar en la Región Metropolitana (cuadro N°12), al comparar los cuatro periodos decadales del grupo A, que de un total de seis estaciones, tres de ellas presentaron un aumento en sus intensidades desde el periodo 1970–1979 al 1980–1989. Por otro lado, cinco estaciones mostraron una disminución al periodo 1990–1999 y un aumento en el periodo 2000–2009. En el siguiente bloque de comparaciones, al contrastar dos periodos bi–decadales (grupo B), se observa que la mayoría de las estaciones presentaron una disminución de sus intensidades, siendo la estación Pirque la única que mostró un aumento de las mismas.

Por otra parte, la Región del Maule (cuadro N°13) presentó mayor variabilidad. Al comparar periodos decadales (grupo A), seis de once estaciones mostraron una disminución de las intensidades desde el periodo 1970–1979 al 1980–1989; siete estaciones presentaron una disminución desde el periodo 1980–1989 al periodo 1990–1999 y ocho estaciones aumentaron del periodo 1990–1999 al periodo 2000–2009. Al comparar dos grupos (grupo B), predominó el aumento de las intensidades en siete de once estaciones, ya que sólo las estaciones Embalse Ancoa, Parral, Penciahue y San Javier presentaron una disminución de las intensidades de lluvia.

Similar a la Región del Maule, la Región del BioBío (cuadro N°14) presentó gran variabilidad en el comportamiento de las intensidades. Cuatro de seis estaciones presentaron un aumento del periodo 1970–1979 al periodo 1980–1989, cuatro aumentaron desde el periodo 1980–1989 al periodo 1990–1999 y tres disminuyeron y otras tres aumentaron desde el periodo 1990–1999 al periodo 2000–2009. Se observa un comportamiento distinto al comparar dos periodos bi–decadales (grupo B), pues todas las estaciones mostraron una tendencia al aumento de sus intensidades.

## 6.2.- Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos

En el cuadro N°15 se presenta un resumen de los datos utilizados para las tres regiones de estudio.

**Cuadro N°15:** Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos por estación.

Región	Estación	$\bar{x}$	S	CV	Máx.	Mín.
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	14,26	5,70	0,40	26,74	4,60
	Pirque	18,19	6,47	0,36	34,20	7,86
Región del Maule	Embalse Bullileo	28,37	7,63	0,27	41,50	15,36
	Colorado	23,82	6,29	0,26	40,20	14,16
	Embalse Ancoa	24,23	6,15	0,25	37,64	8,20
	Embalse Digua	22,25	6,65	0,30	45,40	9,24
	Melozal	19,39	5,94	0,31	35,66	10,90
	Los Queñes	20,60	6,18	0,30	39,42	6,16
	Parral	20,24	6,73	0,33	33,58	9,40
	Pencahue	15,84	4,47	0,28	24,78	8,72
	Potrero Grande	20,20	5,97	0,30	38,72	9,72
Región del BioBío	San Javier	18,06	5,71	0,32	32,08	9,02
	Diguillín	24,42	7,05	0,29	44,00	13,80
	Cerro El Padre	24,78	7,16	0,29	40,62	11,12
	Chillán Viejo	28,21	10,34	0,37	57,20	16,64
	Embalse Coihueco	27,08	11,92	0,44	78,20	12,00
	Quilaco	23,97	7,79	0,32	44,90	11,32

$\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Máx.: Valor máximo; Mín.: Valor mínimo

Las intensidades promedio más altas se registraron en las estaciones Pirque, Embalse Bullileo y Chillán Viejo para las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío respectivamente. Los valores máximos los mostraron las estaciones Pirque, Embalse Digua y Embalse Coihueco.

En los cuadros N°16, N°17 y N°18, se presenta el promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales de precipitación asociadas

a una duración de 30 minutos por periodo y estación, para las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío respectivamente.

**Cuadro N°16:** Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 30 minutos por estación y periodo considerado en la Región Metropolitana.

<b>Estación</b>	<b>Melipilla (Esc. Tec.)</b>						<b>Estación</b>	<b>Pirque</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b><math>\bar{x}</math></b>	-	16,86	10,68	15,36	16,57	12,90	<b><math>\bar{x}</math></b>	16,86	19,10	15,70	20,84	18,10	18,27
<b>S</b>	-	6,76	3,87	4,42	5,99	4,68	<b>S</b>	3,61	6,29	4,91	9,01	5,25	7,54
<b>CV</b>	-	0,40	0,36	0,29	0,36	0,36	<b>CV</b>	0,21	0,33	0,31	0,43	0,29	0,41
<b>Máx.</b>	-	26,74	15,22	20,24	26,74	20,24	<b>Máx.</b>	23,32	30,34	22,60	34,20	30,34	34,20
<b>Mín.</b>	-	7,18	4,60	9,36	7,18	4,60	<b>Mín.</b>	11,32	11,30	10,30	7,86	11,30	7,86

$\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Máx.: Valor máximo; Mín.: Valor mínimo; Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Cuadro N°17:** Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 30 minutos por estación y periodo considerado en la Región del Maule.

<b>Estación</b>	<b>Embalse Bullileo</b>						<b>Estación</b>	<b>Colorado</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	30,32	27,30	26,25	29,78	28,73	28,02	$\bar{x}$	23,36	22,90	23,43	25,54	23,12	24,48
<b>S</b>	8,55	8,76	6,41	7,13	8,56	6,84	<b>S</b>	5,25	4,91	7,79	7,29	4,93	7,42
<b>CV</b>	0,28	0,32	0,24	0,24	0,30	0,24	<b>CV</b>	0,22	0,21	0,33	0,29	0,21	0,30
<b>Máx.</b>	39,94	39,80	40,20	41,50	39,94	41,50	<b>Máx.</b>	31,00	30,70	40,20	38,20	31,00	40,20
<b>Mín.</b>	19,82	15,36	20,18	19,20	15,36	19,20	<b>Mín.</b>	14,16	15,70	15,00	17,00	14,16	15,00
<b>Estación</b>	<b>Embalse Ancoa</b>						<b>Estación</b>	<b>Embalse Digua</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	23,43	23,99	23,79	25,55	23,74	24,67	$\bar{x}$	19,06	19,89	22,08	27,64	19,50	24,86
<b>S</b>	9,74	7,21	2,96	4,27	8,16	3,69	<b>S</b>	6,43	4,77	4,50	7,63	5,47	6,73
<b>CV</b>	0,42	0,30	0,12	0,17	0,34	0,15	<b>CV</b>	0,34	0,24	0,20	0,28	0,28	0,27
<b>Máx.</b>	33,56	37,64	29,84	32,58	37,64	32,58	<b>Máx.</b>	30,04	28,12	30,00	45,40	30,04	45,40
<b>Mín.</b>	8,20	14,10	20,30	18,78	8,20	18,78	<b>Mín.</b>	9,24	12,46	17,20	19,68	9,24	17,20
<b>Estación</b>	<b>Melozal</b>						<b>Estación</b>	<b>Los Queñes</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	22,21	17,44	20,88	17,95	19,35	19,42	$\bar{x}$	17,18	22,02	19,53	23,32	19,73	21,42
<b>S</b>	7,03	3,11	7,61	5,04	5,39	6,46	<b>S</b>	4,83	5,98	4,45	7,85	5,86	6,51
<b>CV</b>	0,32	0,18	0,36	0,28	0,28	0,33	<b>CV</b>	0,28	0,27	0,23	0,34	0,30	0,30
<b>Máx.</b>	32,60	22,88	35,66	26,54	32,60	35,66	<b>Máx.</b>	23,74	34,00	26,18	39,42	34,00	39,42
<b>Mín.</b>	14,16	12,78	11,08	10,90	12,78	10,90	<b>Mín.</b>	6,16	14,14	11,52	13,28	6,16	11,52

$\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Máx.: Valor máximo; Mín.: Valor mínimo; Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Continuación de Cuadro N°17:** Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 30 minutos por estación y periodo considerado en la Región del Maule.

<b>Estación</b>	<b>Parral</b>						<b>Estación</b>	<b>Pencahue</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	22,25	20,89	21,44	17,20	21,40	19,32	$\bar{x}$	15,33	17,54	14,20	16,09	16,71	15,15
<b>S</b>	8,99	6,65	6,68	5,25	7,34	6,24	<b>S</b>	3,62	4,50	4,25	5,05	4,21	4,65
<b>CV</b>	0,40	0,32	0,31	0,31	0,34	0,32	<b>CV</b>	0,24	0,26	0,30	0,31	0,25	0,31
<b>Máx.</b>	33,40	22,58	31,56	28,92	33,58	31,56	<b>Máx.</b>	21,68	24,60	19,20	24,78	24,60	24,78
<b>Mín.</b>	9,40	12,80	12,92	11,10	9,40	11,10	<b>Mín.</b>	11,80	10,60	8,72	11,40	10,60	8,72
<b>Estación</b>	<b>Potrero Grande</b>						<b>Estación</b>	<b>San Javier</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	19,35	20,64	20,53	20,09	20,06	20,31	$\bar{x}$	15,83	19,98	16,75	18,77	18,42	17,76
<b>S</b>	6,22	7,74	4,64	5,80	6,94	5,12	<b>S</b>	5,55	5,96	6,26	5,02	5,99	5,62
<b>CV</b>	0,32	0,38	0,23	0,29	0,35	0,25	<b>CV</b>	0,35	0,30	0,37	0,27	0,33	0,32
<b>Máx.</b>	28,60	38,72	29,00	31,30	38,72	31,30	<b>Máx.</b>	24,20	32,08	28,28	27,88	32,08	28,28
<b>Mín.</b>	9,72	10,90	13,54	10,84	9,72	10,84	<b>Mín.</b>	9,42	11,78	9,02	13,04	9,42	9,02

$\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Máx.: Valor máximo; Mín.: Valor mínimo; Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

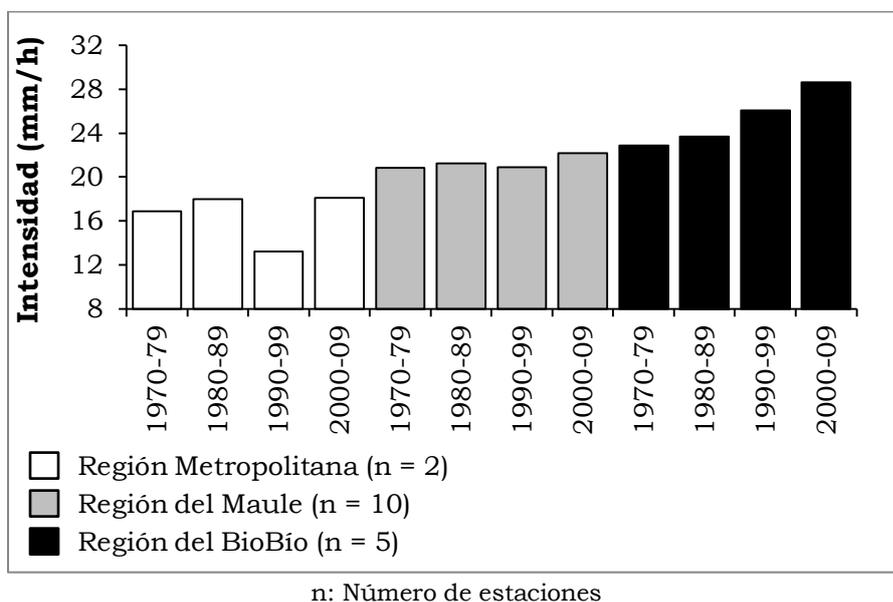
**Cuadro N°18:** Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo de intensidades máximas anuales para una duración de 30 minutos por estación y periodo considerado en la Región del BioBío.

<b>Estación</b>	<b>Diguillín</b>						<b>Estación</b>	<b>Cerro El Padre</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	21,95	22,93	26,39	25,95	22,35	26,17	$\bar{x}$	22,30	22,69	27,93	26,21	22,49	27,07
<b>S</b>	9,45	5,42	5,66	6,54	7,84	5,95	<b>S</b>	7,92	6,21	8,42	5,00	6,93	6,80
<b>CV</b>	0,43	0,24	0,21	0,25	0,35	0,23	<b>CV</b>	0,36	0,27	0,30	0,19	0,31	0,25
<b>Máx.</b>	44,00	34,18	33,80	40,16	44,00	40,16	<b>Máx.</b>	39,34	34,70	40,62	34,00	39,34	40,62
<b>Mín.</b>	13,18	19,10	15,28	19,00	13,18	15,28	<b>Mín.</b>	11,12	13,76	14,90	20,22	11,12	14,90
<b>Estación</b>	<b>Chillán Viejo</b>						<b>Estación</b>	<b>Embalse Coihueco</b>					
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B	
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
$\bar{x}$	-	23,98	29,20	30,62	-	-	$\bar{x}$	23,75	25,34	21,68	36,87	24,63	29,28
<b>S</b>	-	7,33	9,59	12,78	-	-	<b>S</b>	7,99	8,07	8,25	15,80	7,84	14,53
<b>CV</b>	-	0,31	0,33	0,42	-	-	<b>CV</b>	0,34	0,32	0,38	0,43	0,32	0,50
<b>Máx.</b>	-	39,28	40,60	57,20	-	-	<b>Máx.</b>	40,86	38,60	41,24	78,20	40,86	78,20
<b>Mín.</b>	-	16,64	17,20	18,00	-	-	<b>Mín.</b>	15,22	14,98	12,00	20,32	14,98	12,00
<b>Estación</b>	<b>Quilaco</b>												
<b>Periodo</b>	Grupo A				Grupo B								
	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009							
$\bar{x}$	23,60	23,54	25,27	23,56	23,57	24,42							
<b>S</b>	4,73	5,19	12,24	8,53	4,83	10,27							
<b>CV</b>	0,20	0,22	0,48	0,36	0,20	0,42							
<b>Máx.</b>	28,60	32,80	44,90	38,00	32,80	44,90							
<b>Mín.</b>	14,20	15,34	13,64	11,32	14,20	11,32							

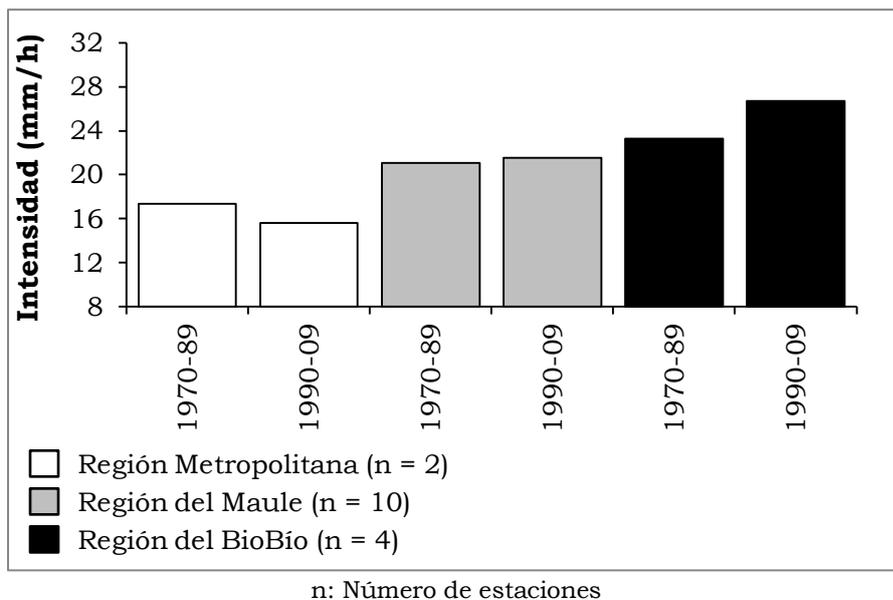
$\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Máx.: Valor máximo; Mín.: Valor mínimo; Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

A grandes rasgos, se aprecia que para los grupos de periodos A y B, las intensidades promedio para una duración de 30 minutos se comportaron de forma similar a las intensidades promedio para una duración de 1 hora.

En los gráficos N°3 y N°4, se representa el comportamiento temporal de los promedios regionales por periodo para los grupos A y B respectivamente.



**Gráfico N°3:** Promedio de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos por Región y periodo (grupo A).



**Gráfico N°4:** Promedio de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos por Región y periodo (grupo B).

Se observa que las intensidades promedio por Región mantuvieron el mismo comportamiento que en las intensidades promedio para una duración de 1 hora, es decir, para el grupo de periodos A sólo en la Región del BioBío se presentó un incremento constante de las intensidades promedio en el tiempo, mientras que para el grupo B, la Región Metropolitana fue la única que manifestó una disminución de las mismas.

#### 6.2.1.- Test de Mann-Kendall para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos

En el cuadro N°19 se presenta el valor del estadístico  $Z_{MK}$  del test de Mann-Kendall y la significancia del mismo, asociado a las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos.

**Cuadro N°19:** Test de Mann–Kendall para intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos.

<b>Región</b>	<b>Estación</b>	<b>n</b>	<b>Z<sub>MK</sub></b>	<b>Q</b>	<b>B</b>
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	27	-0,63	-0,083	15,66
	Pirque	38	0,33	0,052	17,11
Región del Maule	Embalse Bullileo	39	-0,10	-0,015	28,53
	Colorado	39	0,02	0,000	22,00
	Embalse Ancoa	38	0,25	0,025	23,30
	Embalse Digua	39	2,72*	0,241	16,87
	Melozal	35	-0,58	-0,046	19,78
	Los Queñes	39	0,79	0,042	18,48
	Parral	36	-2,00*	-0,225	23,42
	Pencahue	36	-0,56	-0,037	16,01
	Potrero Grande	38	0,00	0,003	19,02
	San Javier	36	0,56	0,060	16,02
	Región del BioBío	Diguillín	37	1,63	0,156
Cerro El Padre		40	1,67	0,157	19,79
Chillán Viejo		28	1,30	0,198	20,53
Embalse Coihueco		38	1,66	0,232	19,74
Quilaco		38	-0,92	-0,076	25,23

n: Número de datos; Z<sub>MK</sub>: Estadístico del test de Mann–Kendall (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ ); Q: Estimador de la pendiente; B: Estimador del intercepto

Sólo las estaciones Embalse Digua y Parral presentaron una tendencia estadísticamente significativa para un nivel de significancia de 0,05, lo cual implica que las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos aumentaron en 0,24 mm/h/año y disminuyeron en 0,23 mm/h/año respectivamente. Para el resto de las estaciones, se denota mediante esta prueba que no hay evidencia de la existencia de tendencias en el tiempo para las intensidades máximas anuales de lluvia.

### 6.2.2.- Prueba de Kruskal–Wallis para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos

En el cuadro N°20 se presenta el valor del estadístico K de la prueba de Kruskal–Wallis y la significancia del mismo, asociado a las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos agrupadas en los distintos periodos.

**Cuadro N°20:** Prueba de Kruskal–Wallis para intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos.

Región	Estación	K Grupo A	K Grupo B
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	6,17625*	2,65785
	Pirque	2,36008	0,09425
Región del Maule	Embalse Bullileo	1,68553	0,00967
	Colorado	1,48338	0,01599
	Embalse Ancoa	0,69631	0,07715
	Embalse Digua	9,04025*	5,90883*
	Melozal	3,84945	0,16002
	Los Queñes	4,03620	0,51341
	Parral	2,85826	0,79460
	Pencahue	3,01038	1,62204
	Potrero Grande	0,61235	0,16752
	San Javier	2,91051	0,19865
Región del BioBío	Diguillín	5,40744	4,81486*
	Cerro El Padre	4,80785	4,56744*
	Chillán Viejo	1,69711	-
	Embalse Coihueco	10,5200*	0,98803
	Quilaco	0,07451	0,00192

K: Estadístico de la prueba de Kruskal–Wallis (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ ); Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

En las tres regiones existieron estaciones que presentaron diferencias estadísticamente significativas en sus periodos para un nivel de significancia de 0,05. Sin embargo, para la mayoría de las estaciones, las intensidades máximas anuales fueron estadísticamente similares, lo cual denota que mediante esta prueba que no hay evidencia de la existencia de tendencias de intensidades de lluvia en el tiempo.

En el apéndice III, se presentan las diferencias entre medianas de los distintos periodos comparados.

### **6.1.3.- Ajuste de Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel a Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos**

De acuerdo al Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y el Test de Kolmogorov–Smirnov, pruebas de bondad de ajuste ya descritas, todos los ajustes a la FDP de Gumbel presentaron una buena calidad. Dichos ajustes se encuentran adjuntos en el apéndice II.

En los cuadros N°21, N°22 y N°23 se presentan las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos asociadas para las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío respectivamente.

**Cuadro N°21:** Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región Metropolitana, obtenidas de la FDP de Gumbel.

<b>Estación</b>		<b>Melipilla (Esc. Tec.)</b>						<b>Estación</b>		<b>Pirque</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	-	25,68	15,72	21,13	24,38	19,01	<b>T</b>	<b>10</b>	21,57	27,30	22,10	32,60	24,95	28,11
	<b>30</b>	-	31,66	19,14	25,04	29,68	23,15		<b>30</b>	24,76	32,85	26,44	40,57	29,60	34,77
	<b>50</b>	-	34,39	20,70	26,83	32,09	25,04		<b>50</b>	26,22	35,39	28,42	44,21	31,72	37,82

T: Periodo de retorno (años); Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Cuadro N°22:** Intensidades máximas anuales para duración de 30 minutos (mm/h) asociadas a distintos periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región del Maule, obtenidas de la FDP de Gumbel.

<b>Estación</b>		<b>Embalse Bullileo</b>						<b>Estación</b>		<b>Colorado</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	41,48	38,73	34,61	39,09	39,90	36,95	<b>T</b>	<b>10</b>	30,20	29,30	33,58	35,04	29,55	34,16
	<b>30</b>	49,04	46,47	40,28	45,39	47,47	43,00		<b>30</b>	34,84	33,64	40,47	41,48	33,91	40,72
	<b>50</b>	52,49	50,01	42,87	48,27	50,92	45,76		<b>50</b>	36,96	35,62	43,61	44,42	35,90	43,71
<b>Estación</b>		<b>Embalse Ancoa</b>						<b>Estación</b>		<b>Embalse Digua</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	36,13	33,40	27,65	31,12	34,39	29,48	<b>T</b>	<b>10</b>	27,45	26,11	27,95	37,59	26,63	33,64
	<b>30</b>	44,74	39,78	30,26	34,89	41,61	32,74		<b>30</b>	33,13	30,33	31,93	44,34	31,47	39,59
	<b>50</b>	48,67	42,69	31,46	36,61	44,91	34,23		<b>50</b>	35,73	32,25	33,75	47,42	33,68	42,31

T: Periodo de retorno (años); Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Continuación de Cuadro N°22:** Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región del Maule, obtenidas de la FDP de Gumbel.

<b>Estación</b>		<b>Melozal</b>						<b>Estación</b>		<b>Los Queñes</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	31,38	21,50	30,81	24,53	26,38	27,84	<b>T</b>	<b>10</b>	23,48	29,82	25,33	33,57	27,38	29,92
	<b>30</b>	37,60	24,25	37,54	28,99	31,14	33,56		<b>30</b>	27,75	35,10	29,26	40,51	32,56	35,67
	<b>50</b>	40,44	25,51	40,61	31,02	33,32	36,16		<b>50</b>	29,70	37,51	31,05	43,68	34,93	38,30
<b>Estación</b>		<b>Parral</b>						<b>Estación</b>		<b>Pencahue</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	33,99	29,56	30,15	24,04	30,98	27,46	<b>T</b>	<b>10</b>	20,05	23,41	19,75	22,68	22,20	21,21
	<b>30</b>	41,94	35,44	36,06	28,68	37,48	32,97		<b>30</b>	23,25	27,38	23,51	27,15	25,92	25,32
	<b>50</b>	45,57	38,13	38,75	30,80	40,44	35,49		<b>50</b>	24,71	29,20	25,22	29,19	27,62	27,19
<b>Estación</b>		<b>Potrero Grande</b>						<b>Estación</b>		<b>San Javier</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	27,47	30,74	26,59	27,66	29,12	26,99	<b>T</b>	<b>10</b>	23,08	27,75	24,92	25,32	26,24	25,09
	<b>30</b>	32,97	37,59	30,70	32,80	35,25	31,52		<b>30</b>	27,99	33,02	30,45	29,75	31,54	30,06
	<b>50</b>	35,48	40,71	32,57	35,14	38,05	33,59		<b>50</b>	30,23	35,43	32,98	31,78	33,95	32,32

T: Periodo de retorno (años); Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

**Cuadro N°23:** Intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) asociadas a periodos de retorno de 10, 30 y 50 años en la Región del BioBío, obtenidas de la FDP de Gumbel.

<b>Estación</b>		<b>Diguillín</b>						<b>Estación</b>		<b>Cerro El Padre</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	34,28	30,00	33,77	34,48	32,58	33,94	<b>T</b>	<b>10</b>	32,64	30,78	38,91	32,73	31,53	35,93
	<b>30</b>	42,64	34,79	38,77	40,26	39,52	39,20		<b>30</b>	39,64	36,27	46,35	37,15	37,66	41,94
	<b>50</b>	46,45	36,97	41,05	42,90	42,68	41,61		<b>50</b>	42,84	38,78	49,75	39,17	40,46	44,68
<b>Estación</b>		<b>Chillán Viejo</b>						<b>Estación</b>		<b>Embalse Coihueco</b>					
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B		<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B	
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009			1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009
<b>T</b>	<b>10</b>	-	33,54	41,71	47,29	-	-	<b>T</b>	<b>10</b>	34,17	35,87	32,44	57,48	34,86	48,23
	<b>30</b>	-	40,02	50,19	58,59	-	-		<b>30</b>	41,24	43,01	39,74	71,44	41,79	61,08
	<b>50</b>	-	42,98	54,06	63,74	-	-		<b>50</b>	44,46	46,27	43,07	77,82	44,95	66,95
<b>Estación</b>		<b>Quilaco</b>													
<b>Periodo</b>		Grupo A				Grupo B									
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1970-1989	1990-2009								
<b>T</b>	<b>10</b>	29,76	30,30	41,23	34,69	29,87	37,81								
	<b>30</b>	33,95	34,89	52,05	42,23	34,14	46,89								
	<b>50</b>	35,85	36,98	56,99	45,67	36,09	51,03								

T: Periodo de retorno (años); Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

Al comparar los cuatro periodos decadales del grupo A, en la Región Metropolitana (cuadro N°21), se observa que el comportamiento que mostraron las estaciones Melipilla (Esc. Tec.) y Pirque fue el mismo, disminuyendo del periodo 1980–1989 al 1990–1999 y luego aumentando del periodo 1990–1999 al periodo 2000–2009. Por el contrario, al comparar los dos periodos bi-decadales (grupo B), en la estación Melipilla (Esc. Tec.) se observa una disminución de las intensidades, mientras que en la estación Pirque éstas aumentaron.

Al comparar los cuatro periodos del grupo A de la Región del Maule (cuadro N°22), se evidencia que seis de diez estaciones presentaron una disminución de las intensidades desde el periodo 1970–1979 al 1980–1989; luego, seis estaciones presentaron una disminución del periodo 1980–1989 al 1990–1999 y finalmente, ocho aumentaron al periodo 2000–2009. Al comparar dos periodos de 20 años (grupo B), seis de diez estaciones manifestaron una disminución de las intensidades, siendo las estaciones Colorado, Embalse Digua, Melozal y Los Queñes las que presentaron un aumento de las mismas.

La Región del BioBío (cuadro N°23) presentó gran variabilidad en el comportamiento de las intensidades. Dos de cinco estaciones presentaron una disminución del periodo 1970–1979 al 1980–1989 y dos registraron un aumento; cuatro aumentaron del periodo 1980–1989 al 1990–1999 y finalmente cuatro aumentaron al periodo 2000–2009. Se observó un comportamiento distinto al comparar dos periodos (grupo B), pues todas las estaciones mostraron una tendencia al aumento de sus intensidades.

## **7.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **7.1.- Análisis de la Variación Temporal en Promedios de Intensidades Máximas Anuales de Precipitación**

Como una forma de establecer cambios en el comportamiento temporal de las intensidades máximas anuales de precipitación, se determinó la variación porcentual producida en los promedios de los periodos analizados en este estudio. De esta manera, la variación entre periodos se determinó mediante la siguiente expresión:

$$VARIACIÓN = \frac{(I_{(i+1)} - I_{(i)})}{I_{(i)}} * 100\%$$

Donde:

$I_{(i)}$  = Intensidad máxima anual de precipitación promedio en el periodo  $i$ .

#### **7.1.1.- Análisis de la Variación Temporal en Promedios de Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora**

En el cuadro N°24 se presenta la variación de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora por Región, estación y periodo considerado.

**Cuadro N°24:** Variación de promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) por Región, estación y periodo considerado.

Región	Estación	Variación (%)			
		Grupo A			Grupo B
		1980-89 vs 1970-79	1990-99 vs 1980-89	2000-09 vs 1990-99	1990-09 vs 1970-89
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	-	-32,3	38,1	-15,2
	Cerro Calán	-	2,5	6,5	7,4
	Pirque	9,6	-7,5	20,2	6,0
	Pudahuel	16,7	-27,3	12,2	-18,5
	Cerrillos	-21,8	27,6	-20,4	2,7
	Quinta Normal	13,2	-21,1	21,5	-7,3
	<b>Promedio</b>	<b>4,4</b>	<b>-9,7</b>	<b>13,0</b>	<b>-4,2</b>
Región del Maule	Embalse Bullileo	-5,6	6,8	10,7	9,4
	Colorado	-3,9	3,1	10,7	6,5
	Embalse Ancoa	2,3	-0,1	13,0	7,4
	Embalse Digua	13,6	2,0	16,2	16,9
	Melozal	-25,0	18,4	-10,6	-1,0
	Los Queñes	23,1	-7,7	21,3	12,0
	Parral	-20,8	11,6	-20,2	-8,6
	Pencahue	16,5	-17,6	6,1	-10,3
	Potrero Grande	20,1	-5,2	10,1	7,5
	San Javier	26,8	-21,7	9,7	-10,9
	Curicó	-10,4	-8,8	55,2	11,2
<b>Promedio</b>	<b>3,3</b>	<b>-1,7</b>	<b>11,1</b>	<b>3,6</b>	
Región del BioBío	Diguillín	5,8	16,1	-6,9	15,3
	Cerro El Padre	16,3	7,0	-7,5	10,8
	Chillán Viejo	35,5	4,5	-3,1	14,1
	Embalse Coihueco	16,8	-10,4	36,4	13,2
	Quilaco	4,6	-1,1	-3,9	-0,8
	Carriel Sur	2,6	-4,3	12,3	2,9
	<b>Promedio</b>	<b>13,6</b>	<b>2,0</b>	<b>4,6</b>	<b>9,3</b>

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

En la Región Metropolitana la variación del periodo 1980-1989 respecto al periodo 1970-1979 fue positiva, lo que se manifestó como un aumento de 4,4% en el promedio de las intensidades máximas anuales de precipitación. Sólo la estación Cerrillos presentó una disminución de las mismas. Este comportamiento cambió en el periodo siguiente, pues la variación del periodo 1990-1999 respecto al anterior, mostró un valor negativo, siendo cuatro de seis estaciones las que mostraron este comportamiento. Finalmente, el periodo 2000-2009 mostró una variación del 13,0% respecto al periodo 1990-

1999, valor que indica que en las estaciones se registró un aumento de las intensidades. Nuevamente, la estación Cerrillos registró una disminución de estos valores. Al comparar los dos grandes periodos (grupo B), se observa que en el periodo 1990–2009 las intensidades disminuyeron dada la existencia de una variación negativa, en un promedio de -4,2%.

En la Región del Maule se presentó un comportamiento similar al comparar periodos decadales (grupo A), pues se registró una variación positiva del periodo 1970–1979 al 1980–1989 en seis de once estaciones; luego, se verificó una variación negativa en seis estaciones, desde el periodo 1980–1989 al 1990–1999 y una variación positiva en nueve estaciones desde el periodo 1990–1999 al 2000–2009. Al comparar dos periodos de 20 años (grupo B), se observa que el periodo 1990–2009 respecto al 1970–1989 manifestó una variación positiva indicando que en esta Región aumentaron las intensidades máximas promedio anuales en un 3,6%.

Finalmente, para la Región del BioBío se presentó una variación promedio positiva en todos sus periodos, siendo mayor la que se produjo al comparar el periodo 1980–1989 con el periodo 1970–1979. Por otro lado, al comparar los dos periodos bi-decadales (grupo B), se aprecia que en cuatro de seis estaciones las intensidades manifestaron una variación positiva, con un promedio regional de 9,3%. Sólo la estación Quilaco mostró una variación negativa.

En un análisis global, se observa que en las tres regiones se presentaron variaciones promedio positivas al comparar el periodo 1980–1989 con el periodo 1970–1979 y el periodo 2000–2009 con el periodo 1990–1999 (grupo A). Además, al comparar periodos de 20 años (grupo B), las regiones del Maule y del BioBío mostraron una

variación promedio positiva en el periodo 1990–2009 respecto al anterior. Estos comportamientos pueden ser atribuidos en gran medida a los valores máximos por estación.

En el cuadro N°25 se presenta el número de estaciones por Región, agrupadas de acuerdo al periodo donde registraron su máximo valor de intensidad máxima anual para una duración de 1 hora.

**Cuadro N°25:** Agrupación de estaciones de acuerdo al periodo donde registraron su máximo valor de intensidad máxima anual para una duración de 1 hora, por Región.

Región	Periodo					
	Grupo A				Grupo B	
	1970–1979	1980–1989	1990–1999	2000–2009	1970–1989	1990–2009
Región Metropolitana	1	2	0	3	3	3
Región del Maule	1	2	3	5	3	8
Región del BioBío	1	1	1	3	2	4

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

De estos datos se desprende que tres de seis, cinco de once y tres de seis estaciones, para las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío respectivamente, registraron sus valores más altos en la década 2000–2009 (grupo A); en otras palabras, dicho periodo concentró los valores máximos registrados por estación. Sin embargo, al comparar dos periodos de 20 años cada uno (grupo B), se observa que sólo en las regiones del Maule y del BioBío, la mayoría de sus estaciones (ocho de once y cuatro de seis respectivamente) registraron los valores máximos en el periodo 1990–2009.

### 7.1.2.- Análisis de la Variación Temporal en Promedios de Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos

En el cuadro N°26 se presenta la variación de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos por Región, estación y periodo considerado.

**Cuadro N°26:** Variación de promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) por Región, estación y periodo considerado.

Región	Estación	Variación (%)			
		Grupo A			Grupo B
		1980-89 vs 1970-79	1990-99 vs 1980-89	2000-09 vs 1990-99	1990-09 vs 1970-89
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	-	-36,6	43,8	-22,2
	Pirque	-	-17,8	32,7	1,0
	<b>Promedio</b>	-	<b>-27,2</b>	<b>38,3</b>	<b>-10,6</b>
Región del Maule	Embalse Bullileo	-10,0	-3,9	13,5	-2,5
	Colorado	-2,0	2,3	9,0	5,9
	Embalse Ancoa	2,4	-0,9	7,4	3,9
	Embalse Digua	4,4	11,0	25,2	27,5
	Melozal	-21,4	19,7	-14,0	0,3
	Los Queñes	28,1	-11,3	19,4	8,6
	Parral	-6,1	2,6	-19,8	-9,7
	Pencahue	14,4	-19,1	13,3	-9,4
	Potrero Grande	6,7	-0,5	-2,2	1,2
	San Javier	26,2	-16,1	12,1	-3,6
	<b>Promedio</b>	<b>4,3</b>	<b>-1,6</b>	<b>6,4</b>	<b>2,2</b>
Región del BioBío	Diguillín	4,4	15,1	-1,6	17,1
	Cerro El Padre	1,7	23,1	-6,2	20,3
	Chillán Viejo	-	21,8	4,9	-
	Embalse Coihueco	6,7	-14,5	70,1	18,8
	Quilaco	-0,3	7,4	-6,7	3,6
	<b>Promedio</b>	<b>3,1</b>	<b>10,6</b>	<b>12,1</b>	<b>15,0</b>

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

A grandes rasgos, es posible observar que las variaciones en los promedios de las intensidades máximas anuales para una duración de 30 minutos en cada estación, presentadas en el cuadro N°26,

manifestaron un comportamiento similar a las registradas para una duración de 1 hora en cuanto a las tendencias que éstas presentaron. Es decir, se desprende que en las tres regiones se presentaron variaciones promedio positivas al comparar el periodo 2000–2009 con el periodo 1990–1999 (grupo A) y que al comparar periodos de 20 años (grupo B), sólo las regiones del Maule y del BioBío mostraron una variación promedio positiva desde el periodo 1990–1999 al periodo 2000–2009.

En el cuadro N°27 se presenta el número de estaciones por Región, agrupadas de acuerdo al periodo donde registraron su máximo valor de intensidad máxima anual para una duración de 30 minutos.

**Cuadro N°27:** Agrupación de estaciones de acuerdo al periodo donde registraron su máximo valor de intensidad máxima anual para una duración de 30 minutos, por Región.

Región	Periodo					
	Grupo A				Grupo B	
	1970–1979	1980–1989	1990–1999	2000–2009	1970–1989	1990–2009
Región Metropolitana	0	1	0	1	1	1
Región del Maule	0	4	2	4	4	6
Región del BioBío	1	1	1	2	2	3

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

Se observa que las estaciones presentes en las regiones Metropolitana y del Maule, registraron sus valores más altos en los periodos 1980–1989 y 2000–2009 (grupo A), mientras que en la Región del BioBío, el periodo 2000–2009 fue el que mostró más estaciones con presencia de las intensidades más altas. Sin embargo, al comparar dos periodos de 20 años cada uno (grupo B), se observa que en las regiones del Maule y del BioBío, la mayoría de sus

estaciones (seis de diez y tres de cinco respectivamente) registraron los valores máximos en el periodo 1990–2009.

## **7.2.- Análisis del Test de Mann–Kendall para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación**

### **7.2.1.- Análisis del Test de Mann–Kendall para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora**

Para evaluar la tendencia global de las intensidades máximas anuales se utilizó el test de Mann–Kendall. Para el caso de las intensidades para una duración de 1 hora, sólo la estación Parral presentó una tendencia estadísticamente significativa y negativa con un nivel de significancia de 0,05. En el cuadro N°28 se presenta un resumen de las tendencias obtenidas para el test de Mann–Kendall para las intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a una duración de 1 hora por Región.

**Cuadro N°28:** Resumen de tendencias del test de Mann–Kendall para intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora por Región.

<b>Región</b>	<b>Tendencias positivas</b>		<b>Tendencias negativas</b>	
	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
Región Metropolitana	2	33,3	4	66,7
Región del Maule	7	63,6	4	36,4
Región del BioBío	5	83,3	1	16,7

n: Número de estaciones; %: Porcentaje de estaciones con tendencia positiva o negativa, según corresponda

Las regiones del Maule y del BioBío presentaron estaciones que en su mayoría mostraron una tendencia positiva, aún cuando éstas

no fueron significativas. En cambio en la Región Metropolitana se aprecia que el 66,7% de sus estaciones presentaron una tendencia a la disminución de sus intensidades, aunque tampoco presentaron una significancia estadística.

### **7.2.2.- Análisis del Test de Mann-Kendall para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos**

Para el caso de las intensidades máximas anuales para una duración de 30 minutos, se encontró como principal resultado que las estaciones Embalse Digua y Parral presentaron una tendencia estadísticamente significativa, positiva y negativa respectivamente, con un nivel de significancia de 0,05. En el cuadro N°29 se presenta un resumen de las tendencias obtenidas para el test de Mann-Kendall, para las intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a una duración de 30 minutos por Región.

**Cuadro N°29:** Resumen de tendencias del test de Mann-Kendall para intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos por Región.

Región	Tendencias positivas		Tendencias negativas	
	n	%	n	%
Región Metropolitana	1	50,0	1	50,0
Región del Maule	6	60,0	4	40,0
Región del BioBío	4	80,0	1	20,0

n: Número de estaciones; %: Porcentaje de estaciones con tendencia positiva o negativa, según corresponda

Del mismo se desprende que las regiones del Maule y del BioBío presentaron estaciones que en su mayoría mostraron una tendencia positiva (60,0 y 80,0% respectivamente), aún cuando éstas no fueron significativas, hecho que no se evidenció en la Región

Metropolitana, pues se observa que el 50,0% de sus estaciones presentaron una tendencia a la disminución de sus intensidades asociadas a 30 minutos, valor que no es concluyente dada la presencia de sólo dos estaciones en el análisis.

### **7.3.- Análisis de la Prueba de Kruskal–Wallis para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación**

#### **7.3.1.- Análisis de la Prueba de Kruskal–Wallis para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora**

Como una forma de detectar tendencias o cambios en el comportamiento temporal de las intensidades máximas anuales de precipitación, se utilizó la prueba de Kruskal–Wallis. Sin embargo, los resultados logrados indicaron que las medianas de las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora de los periodos comparados mediante esta prueba, no presentaron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de 0,05.

### **7.3.2.- Análisis de la Prueba de Kruskal–Wallis para las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos**

Para las intensidades máximas anuales asociadas a una duración de 30 minutos, existieron estaciones que presentaron diferencias estadísticamente significativas. Para el grupo de periodos A, dichas estaciones fueron Melipilla (Esc. Tec.), Embalse Digua y Embalse Coihueco, para las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío respectivamente, donde sí fue posible observar que el periodo 2000–2009 fue estadísticamente mayor a los anteriores. Para el grupo de periodos B, las estaciones Embalse Digua (Región del Maule), Diguillín y Cerro El Padre (Región del BioBío) indicaron que el periodo 1990–2009 fue estadísticamente mayor al periodo 1970–1989.

### **7.4.- Análisis de Ajustes de FDP de Gumbel a Intensidades Máximas Anuales de Precipitación**

#### **7.4.1.- Análisis de Ajustes de FDP de Gumbel a Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora**

En lo que respecta al ajuste de las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora a la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel, es posible señalar que todos los ajustes presentaron una excelente calidad de acuerdo a las pruebas de bondad de ajuste utilizadas. El coeficiente de determinación alcanzó un valor máximo y mínimo de 0,982 y 0,600 respectivamente, con un promedio de 0,900. En el caso del test de

Kolmogorov–Smirnov, en todos los ajustes se aceptó la hipótesis nula dado que el valor  $D_{\text{calculado}}$  para cada uno, jamás superó a su respectivo valor crítico  $D_{\text{tabla}}$ .

Resulta importante destacar que lo señalado en el párrafo anterior, verifica lo expuesto por Pizarro *et al.* (2007). Además, algunos autores como Abarza (2001), Román (2003), Cornejo (2004), Macaya (2004), Carrasco (2010) y Vallejos (2010), también evidenciaron que la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel es apropiada para ser utilizada en eventos climáticos con valores extremos.

#### **7.4.2.- Análisis de Ajustes de FDP de Gumbel a Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos**

Para el caso de las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos, los ajustes presentaron excelentes calidades de acuerdo a las pruebas de bondad de ajuste utilizadas. El coeficiente de determinación alcanzó un valor máximo y mínimo de 0,984 y 0,743 respectivamente, con un promedio de 0,915. De acuerdo al test de Kolmogorov–Smirnov, también se reportó la presencia de ajustes significativos.

## **7.5.- Análisis de la Variación Temporal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación Asociadas a $T = 30$ Años, Obtenidas de la FDP de Gumbel**

### **7.5.1.- Análisis de la Variación Temporal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 1 Hora Asociadas a $T = 30$ Años, Obtenidas de la FDP de Gumbel**

La variación porcentual producida en las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora, asociadas a  $T = 30$  años, fue analizada para los periodos evaluados en este estudio. Dichos valores por Región, estación y periodo se presentan en el cuadro N°30.

**Cuadro N°30:** Variación de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) asociadas a T = 30 años por Región, estación y periodo considerado.

Región	Estación	Variación (%)			
		Grupo A			Grupo B
		1980-89 vs 1970-79	1990-99 vs 1980-89	2000-09 vs 1990-99	1990-09 vs 1970-89
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	-	-42,6	41,0	-19,7
	Cerro Calán	-	-9,3	7,9	-3,8
	Pirque	15,1	-8,4	25,8	11,4
	Pudahuel	20,3	-30,4	-4,1	-26,9
	Cerrillos	-23,4	18,6	-14,6	-3,9
	Quinta Normal	5,6	-28,4	39,4	-9,1
	<b>Promedio</b>	<b>4,4</b>	<b>-16,8</b>	<b>15,9</b>	<b>-8,7</b>
Región del Maule	Embalse Bullileo	-6,1	12,3	19,1	20,1
	Colorado	-8,3	32,4	6,5	30,9
	Embalse Ancoa	-11,9	-9,1	16,9	-5,3
	Embalse Digua	3,4	-8,4	27,9	8,1
	Melozal	-34,9	51,8	-30,1	2,7
	Los Queñes	18,6	-8,8	32,6	14,8
	Parral	-28,5	9,3	-27,3	-16,6
	Pencahue	21,2	-13,2	1,5	-8,1
	Potrero Grande	21,3	-6,6	-2,9	-1,0
	San Javier	36,3	-29,7	-15,3	-27,7
	Curicó	-8,8	-27,8	125,8	30,0
<b>Promedio</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>14,1</b>	<b>4,4</b>	
Región del BioBío	Diguillín	-9,0	0,3	0,2	-4,0
	Cerro El Padre	20,2	3,3	-14,6	3,7
	Chillán Viejo	19,0	10,8	-1,4	11,6
	Embalse Coihueco	26,8	-2,6	39,7	31,6
	Quilaco	-4,6	6,5	2,9	5,3
	Carriel Sur	6,5	-7,1	23,7	8,4
	<b>Promedio</b>	<b>9,8</b>	<b>1,9</b>	<b>8,4</b>	<b>9,4</b>

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

Todas las estaciones de la Región Metropolitana mostraron un comportamiento similar que en el análisis del punto 7.1., es decir, tres de seis estaciones registraron una variación positiva del periodo 1970-1979 al 1980-1989; luego cinco de seis estaciones presentaron una variación negativa del periodo 1980-1989 al 1990-1999 y finalmente cuatro de seis estaciones manifestaron una variación positiva al comparar el periodo 2000-2009 respecto al anterior. De igual manera, al comparar dos grandes periodos (grupo B), se visualizó la existencia de una variación negativa en cinco de seis

estaciones, valor que indica la disminución de las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 1 hora asociadas a  $T = 30$  años.

En relación a la Región del Maule, al comparar cuatro periodos (grupo A), seis de once estaciones manifestaron una variación negativa del periodo 1970–1979 al 1980–1989; luego, siete de once estaciones mostraron una variación negativa del periodo 1980–1989 al 1990–1999 y finalmente siete de once manifestaron variaciones positivas del periodo 1990–1999 al periodo 2000–2009. Sin embargo, a nivel regional, todas las variaciones promedio fueron positivas. Al comparar dos grandes periodos (grupo B), se observa que existió una variación promedio positiva de 4,4%, siendo seis de once estaciones las que manifestaron el mismo comportamiento.

Finalmente, en la Región del BioBio todas las variaciones promedio manifestaron valores positivos al comparar cuatro periodos decadales (grupo A) y dos periodos de 20 años cada uno (grupo B), comportamiento que también es posible observar en la mayoría de las estaciones.

En general, se observa que cada Región y estación presentó un comportamiento particular en torno a la variación de sus intensidades para una duración de 1 hora asociadas a  $T = 30$  años. No obstante, las tres regiones en promedio manifestaron un aumento de estos valores desde el periodo 1990–1999 al periodo 2000–2009, lo que además se reflejó en que la mayoría de las estaciones presentaron el mismo patrón. Además, al comparar dos grandes periodos (grupo B), las regiones del Maule y del BioBio manifestaron un aumento en sus valores desde el periodo 1970–1989 al periodo 1990–2009.

**7.5.2.- Análisis de la Variación Temporal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación para una Duración de 30 Minutos Asociadas a T = 30 Años, Obtenidas de la FDP de Gumbel**

En el cuadro N°31 se presenta la variación de las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos asociadas a T = 30 años por Región, estación y periodo.

**Cuadro N°31:** Variación de intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) asociadas a T = 30 años por Región, estación y periodo considerado.

Región	Estación	Variación (%)			
		Grupo A			Grupo B
		1980-89 vs 1970-79	1990-99 vs 1980-89	2000-09 vs 1990-99	1990-09 vs 1970-89
Región Metropolitana	Melipilla (Esc. Tec.)	-	-39,5	30,8	-22,0
	Pirque	32,7	-19,5	53,4	17,5
	<b>Promedio</b>	<b>32,7</b>	<b>-29,5</b>	<b>42,1</b>	<b>-2,3</b>
Región del Maule	Embalse Bullileo	-5,2	-13,3	12,7	-9,4
	Colorado	-3,4	20,3	2,5	20,1
	Embalse Ancoa	-11,1	-23,9	15,3	-21,3
	Embalse Digua	-8,5	5,3	38,9	25,8
	Melozal	-35,5	54,8	-22,8	7,8
	Los Queñes	26,5	-16,6	38,4	9,6
	Parral	-15,5	1,7	-20,5	-12,0
	Pencahue	17,8	-14,1	15,5	-2,3
	Potrero Grande	14,0	-18,3	6,8	-10,6
	San Javier	18,0	-7,8	-2,3	-4,7
	<b>Promedio</b>	<b>-0,3</b>	<b>-1,2</b>	<b>8,5</b>	<b>0,3</b>
	Región del BioBío	Diguillín	-18,4	11,4	3,8
Cerro El Padre		-8,5	27,8	-19,8	11,4
Chillán Viejo		-	25,4	16,7	-
Embalse Coihueco		4,3	-7,6	79,8	46,2
Quilaco		2,8	49,2	-18,9	37,3
<b>Promedio</b>		<b>-5,0</b>	<b>21,2</b>	<b>12,3</b>	<b>23,5</b>

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales

En la Región Metropolitana las estaciones mostraron el mismo comportamiento que se ha logrado observar en los análisis anteriores, por lo que es posible destacar que en esta Región las intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de

30 minutos han manifestado un aumento en la década del 2000–2009 respecto a la anterior (grupo A). Al comparar dos grandes periodos de 20 años (grupo B), nuevamente las estaciones mostraron en promedio una disminución de sus intensidades asociadas a  $T = 30$  años.

En la Región del Maule, seis de diez estaciones presentaron una variación negativa al comparar el periodo 1980–1989 con el periodo 1970–1979 y el periodo 1990–1999 con el periodo 1980–1989, mientras que siete de diez estaciones manifestaron un aumento en el periodo 2000–2009 respecto al anterior (grupo A). El valor que presentó la comparación de los dos periodos de 20 años (grupo B) indicó la existencia de una variación promedio positiva, aún cuando seis de diez estaciones mostraron una variación negativa.

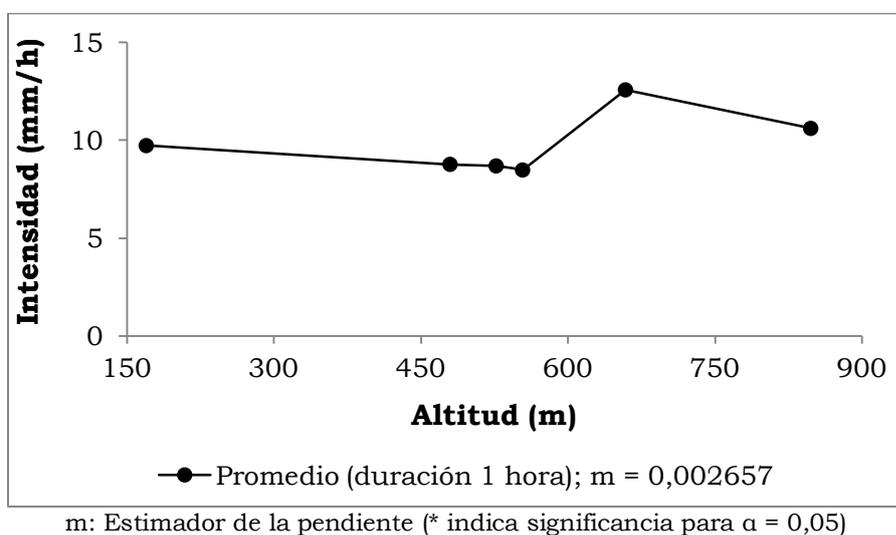
La Región del BioBío sólo mostró una variación negativa al comparar el periodo 1980–1989 con el periodo 1970–1979, valor asociado principalmente a la variación producida en la estación Diguillín, la cual presentó la variación negativa más baja (grupo A). La variación que presentó el periodo 1990–2009 respecto al 1970–1989 (grupo B) fue positiva a nivel regional, comportamiento que también se manifestó en la mayoría de las estaciones (tres de cuatro).

En las tres regiones se ha manifestado un aumento en la variación de sus intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a una duración de 30 minutos para  $T = 30$ , en el periodo 2000–2009 respecto al periodo anterior. Además se observa que en las regiones del Maule y del BioBío, al comparar periodos de 20 años (grupo B), la variación del periodo 1990–2009 respecto al periodo 1970–1979 fue mayor.

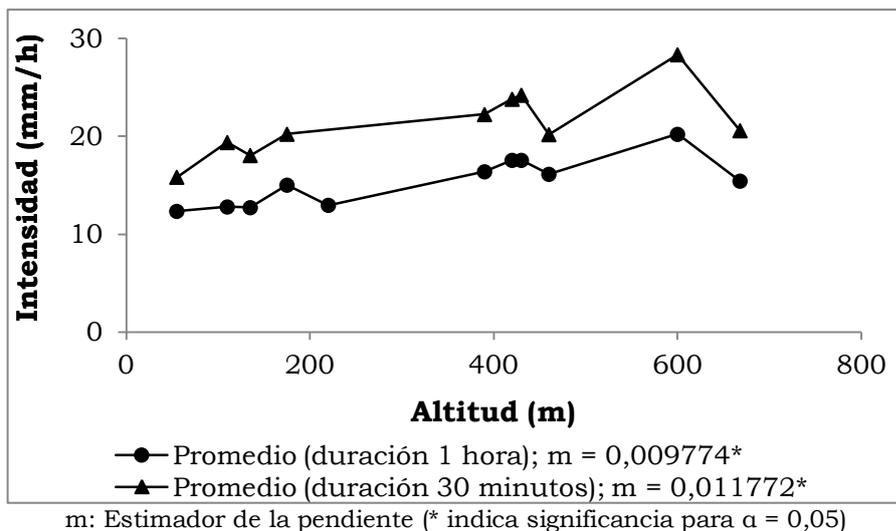
## 7.6.- Análisis Espacial de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación

### 7.6.1.- Análisis Altitudinal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación

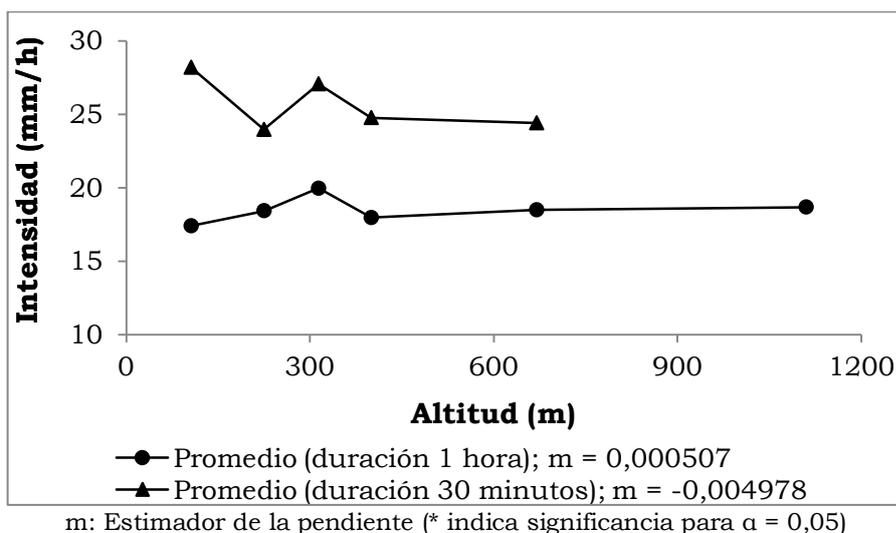
En los gráficos N°5, N°6 y N°7 se presenta el comportamiento altitudinal que presentaron los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora y 30 minutos en las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío respectivamente. Es importante destacar que en el gráfico N°5, no se incluyeron los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos dada la existencia de sólo dos estaciones.



**Gráfico N°5:** Variación altitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora en estaciones de la Región Metropolitana.



**Gráfico N°6:** Variación altitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora y 30 minutos en estaciones de la Región del Maule.



**Gráfico N°7:** Variación altitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora y 30 minutos en estaciones de la Región del BioBío.

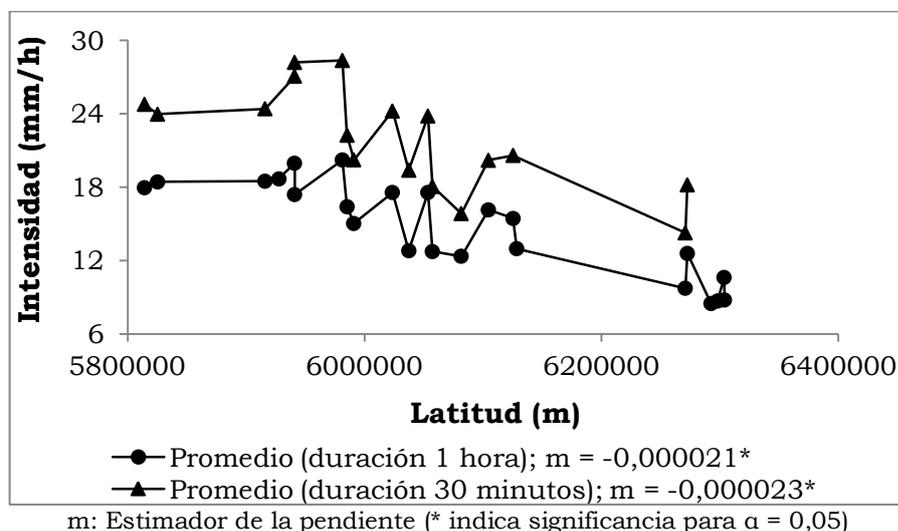
Al analizar el comportamiento altitudinal que presentaron las estaciones pluviográficas en cada Región, se observa gráfica y estadísticamente ( $\alpha = 0,05$ ) que sólo en la Región del Maule (gráfico N°6) se manifestó una tendencia al alza en los promedios de

intensidades para 1 hora y 30 minutos, en la medida que aumenta la altura de ubicación de sus estaciones.

Al respecto, es importante destacar que estos resultados se contradicen con lo expuesto por Aravena (2006), pues para la Región del Maule reportó la inexistencia de una tendencia a nivel altitudinal.

### 7.6.2.- Análisis Latitudinal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación

En el gráfico N°8 se presenta el comportamiento latitudinal que presentaron los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora y 30 minutos en las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío.



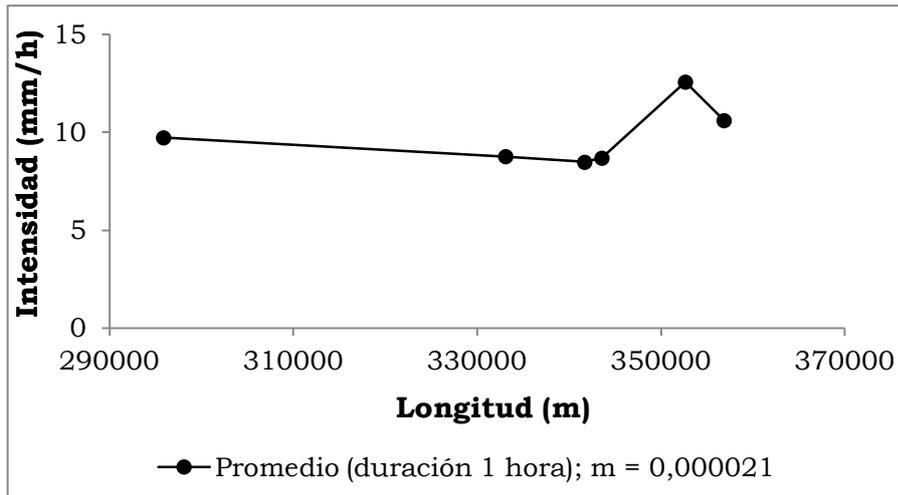
**Gráfico N°8:** Variación latitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora y 30 minutos en estaciones de las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío.

A nivel latitudinal, se observa gráfica y estadísticamente ( $\alpha = 0,05$ ) que la tendencia de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación, para ambas duraciones de tormenta, disminuyeron significativamente con la latitud, lo que se traduce en un aumento hacia el sur del país.

Estas tendencias corroboran los análisis latitudinales realizados por Abarza (2001), Macaya (2004), Labra (2005), Aravena (2006), Carrasco (2010) y Vallejos (2010), quienes afirmaron la existencia de una tendencia positiva hacia latitudes menores.

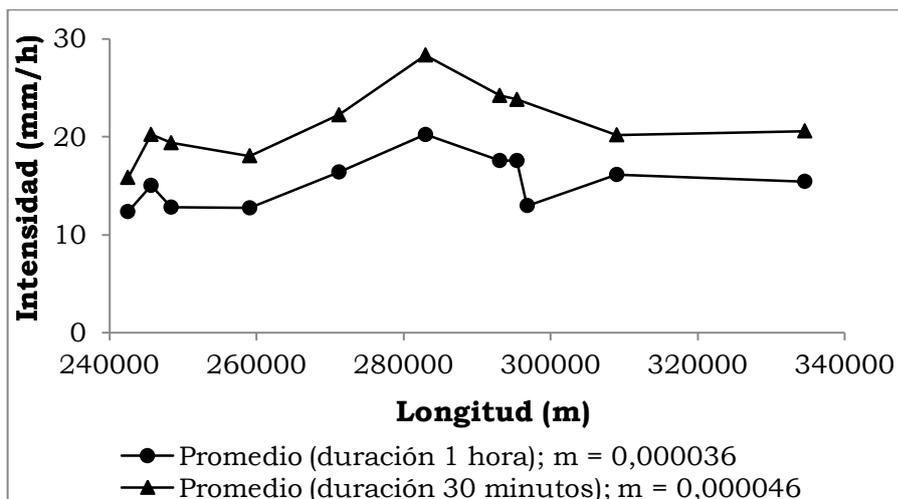
### **7.6.3.- Análisis Longitudinal de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación**

En los gráficos N°9, N°10 y N°11 se presenta el comportamiento longitudinal que presentaron los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora y 30 minutos en las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío respectivamente. Es importante destacar que en el gráfico N°9, no se incluyeron los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para una duración de 30 minutos dada la existencia de sólo dos estaciones.



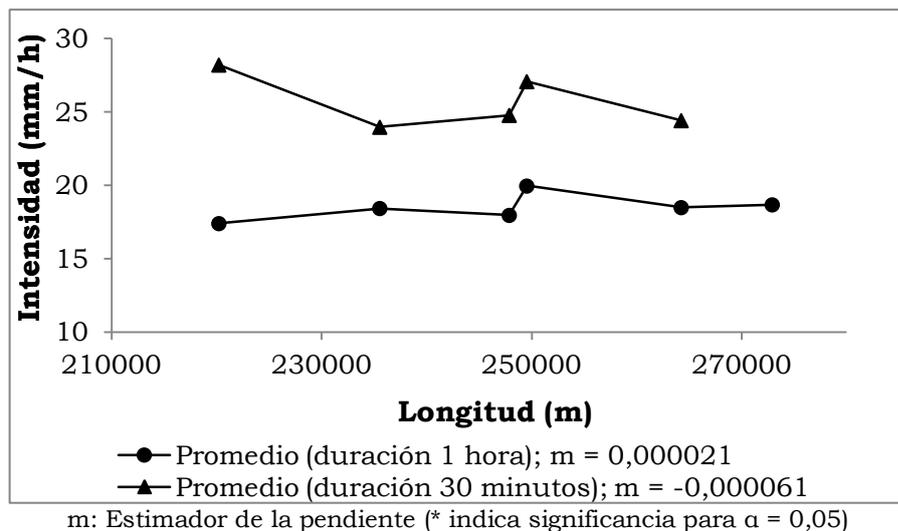
m: Estimador de la pendiente (\* indica significancia para  $\alpha = 0,05$ )

**Gráfico N°9:** Variación longitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora en estaciones de la Región Metropolitana.



m: Estimador de la pendiente (\* indica significancia para  $\alpha = 0,05$ )

**Gráfico N°10:** Variación longitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora y 30 minutos en estaciones de la Región del Maule.



**Gráfico N°11:** Variación longitudinal de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora y 30 minutos en estaciones de la Región del BioBío.

Desde un punto de vista longitudinal, es posible visualizar que en las tres regiones no existe una tendencia de los promedios de intensidades máximas anuales de precipitación.

El comportamiento de la Región Metropolitana es similar a los análisis hechos por Aravena (2006), quien no encontró una tendencia a nivel longitudinal. No obstante, la misma autora señala que para la Región del Maule, las estaciones presentes en la precordillera y cordillera Andina registraron algunas de las intensidades más altas que las estaciones ubicadas en la depresión intermedia. En este estudio, los promedios más altos de la Región del Maule, para duraciones de 1 hora y 30 minutos, fueron registrados en las estaciones Embalse Bullileo, Embalse Ancoa, Colorado y Embalse Digua, todas ubicadas en el sector cordillerano de la Región.

## **8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **8.1.- Conclusiones**

En función de los resultados obtenidos en este estudio y los posteriores análisis generados en torno a los mismos, para las regiones Metropolitana, del Maule y del BioBío, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Referente a los datos de intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a una duración de 30 minutos, éstas siempre fueron mayores a las intensidades asociadas a una duración de 1 hora.
- Para ambas duraciones de tormenta, mediante el cálculo de la variación entre periodos decadales, en las regiones del Maule y del BioBío se observaron leves tendencias al aumento en las intensidades promedio. Para el caso de la variación del periodo 2000–2009 respecto al 1990–1999, en las tres regiones se presentaron variaciones promedio positivas. Por otro lado, al comparar dos grandes periodos de 20 años (1990–2009 vs 1970–1989), las regiones del Maule y del BioBío presentaron variaciones positivas. Este comportamiento se reflejó de igual manera en las intensidades asociadas a  $T = 30$  años.
- Por medio del test de Mann–Kendall se observó que para ambas duraciones, las regiones del Maule y del BioBío presentaron en su mayoría estaciones con una tendencia positiva al aumento de sus intensidades, sin considerar la significancia de las

mismas. Sin embargo, la Región Metropolitana mostró una tendencia negativa.

- Mediante la prueba de Kruskal–Wallis, se observó que en general no existieron diferencias significativas en las intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a duraciones de 1 hora y 30 minutos, agrupadas en periodos decadales (grupo A) y bi–decadales (grupo B) para las tres regiones de estudio.
- De acuerdo al comportamiento espacial de las intensidades máximas anuales para ambas duraciones, sólo en la Región del Maule fue posible evidenciar una tendencia al aumento de las intensidades máximas anuales para ambas duraciones, en la medida que aumentó la altura de ubicación de sus estaciones. Latitudinalmente, siempre mostraron una tendencia significativa al aumento en el sentido norte–sur. A nivel longitudinal, ninguna Región manifestó una tendencia.
- Finalmente, en términos numéricos, es posible señalar que las regiones del Maule y del BioBío han manifestado tendencias al aumento en los montos de sus intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a duraciones de 1 hora y 30 minutos, aunque éstas no pudieron ser ratificadas en términos estadísticamente significativos.

## **8.2.- Recomendaciones**

En virtud de las conclusiones presentadas anteriormente, se recomienda lo siguiente:

- Como una manera de mejorar y complementar el estudio presentado, se recomienda ampliar el mismo a otras regiones a fin de evaluar de forma más detallada el comportamiento temporal que han manifestado las intensidades máximas anuales de precipitación a nivel país.
- Si bien en el presente estudio se trabajó con estaciones pertenecientes a la DGA y DMC, es importante señalar que muchas de éstas, así como estaciones pertenecientes a ENDESA, fueron descartadas previamente de la ejecución del estudio, principalmente por la información que presentaron. Sin embargo, se recomienda ampliar estudios de esta naturaleza a periodos más antiguos, en la medida que sea posible, a fin de realizar una comparación temporal más detallada en torno a las intensidades de lluvia.
- Adicionalmente, se recomienda complementar este estudio con otras variables como temperatura, radiación solar y presión atmosférica, entre otras.
- Finalmente, se recomienda para una mejor comprensión de los eventos extremos de lluvia, trabajar no solo con la intensidad más alta registrada, sino con tres o más intensidades máximas anuales de precipitación, dado que en ocasiones, una estación puede presentar tres o más datos que son mayores al dato máximo registrado por una segunda estación.

## 9.- BIBLIOGRAFÍA

**ABARZA, A.** 2001. Análisis comparativo de las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF), en seis estaciones pluviográficas distribuidas en la zona cordillerana andina y el valle central de la VII Región de Chile. Memoria Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 105 p.

**APARICIO, F.** 1997. Fundamentos de hidrología de superficie. Ciudad de México, México. Editorial Limusa. 303 p.

**ARAVENA, D.** 2006. Análisis comparativo de las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF) en 31 estaciones pluviográficas ubicadas en la zona árida y semiárida de Chile. Memoria Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 89 p.

**BCN (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Chile).** s.f. Sistema integrado de información territorial. (en línea). Consultado 2 oct. 2011. Disponible en: <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/regiones.htm>.

**CANAVOS, G.** 1998. Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. Ciudad de México, México. Editorial Mc Graw-Hill/Interamericana de México. 651 p.

**CARRASCO, J.** 2010. Determinación gráfica y matemática de las curvas intensidad duración frecuencia (IDF), en cuatro estaciones pluviográficas de la zona sur del país. Memoria Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 82 p.

**CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).** 2010. La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Naciones Unidas. 113 p.

**CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L.** 1994. Hidrología aplicada. Santa Fé de Bogotá, Colombia. Editorial Mc Graw-Hill. 584 p.

**CORNEJO, M.** 2004. Determinación gráfica y matemática de las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF) en siete estaciones pluviográficas de la Región de Coquimbo. Memoria Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 83 p.

**CUADRAT, J.; PITA, M.** 2000. Climatología. 2a. ed. Madrid, España. Ediciones Cátedra. 469 p.

**DMC (Dirección Meteorológica de Chile, Chile).** s.f.a. Climas de Chile. (en línea). Consultado 2 oct. 2011. Disponible en: <http://www.meteochile.gob.cl/climas/climas.html>.

**DMC (Dirección Meteorológica de Chile, Chile).** s.f.b. Instrumental meteorológico convencional. (en línea). Consultado 2 oct. 2011. Disponible en: [http://www.meteochile.cl/instrumentos/inst\\_convencional.html](http://www.meteochile.cl/instrumentos/inst_convencional.html).

**FERNANDEZ, F.** 1995. Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Madrid, España. Editorial Síntesis. 285 p.

**GARCÍA, F.; CRUZ, I.** 2009. Variabilidad de la precipitación pluvial en la Región Pacífico Norte de México. *Agrociencia* 43: 1 – 9.

**GARCÍA, P.** 2004. Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. In **VALLADARES, F.** Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. (en línea). Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF S.A. Madrid, España. Consultado 18 oct. 2011. Disponible en: <http://www.globimed.net/ficheros/libros/Ecologia/Cap11%20-%20Interacciones%20entre%20la%20vegetacion%20y%20la%20erosion%20hidrica.pdf>.

**GILBERT, D.** 1987. Stastical methods for environmental pollution monitoring. New York, USA. Van Nostrand Reinhold. 320 p.

**HUDSON, N.** 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. (en línea). Roma, Italia. FAO. Consultado 18 oct. 2011. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/T0848S00.htm>. (Boletín de suelos de la FAO – 68).

**INE (Instituto Nacional de Estadísticas, Chile).** s.f. Estadísticas Censo 2002. (en línea). Consultado 2 oct. 2011. Disponible en: <http://www.ine.cl/cd2002/index.php>.

**IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Suiza).** 2007. Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza. IPCC. 104 p.

**IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Suiza).** 2008. El cambio climático y el agua. Ginebra, Suiza. IPCC. 212 p.

**LABRA, M.** 2005. Construcción gráfica y matemática de las curvas intensidad – duración – frecuencia (curvas IDF) en cinco estaciones pluviográficas de la Región del Bío-Bío y cuatro estaciones pluviográficas de la Región de la Araucanía. Memoria Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 104 p.

**LEVIN, R.; RUBIN, D.** 2004. Estadística para administración y economía. 7a ed. Ciudad de México, México. Pearson Educación. 952 p.

**LINSLEY, R.; KHOLER, M.; PAULHUS, J.** 1977. Hidrología para ingenieros. Bogotá, Colombia. Editorial Mc Graw-Hill. 386 p.

**LLAMAS, J.** 1993. Hidrología general. Principios y aplicaciones. Madrid, España. Editorial Universidad del País Vasco. 635 p.

**MACAYA, P.** 2004. Construcción de las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF) para estaciones pluviográficas de las regiones de Valparaíso y de O'Higgins, y análisis comparativo con algunas estaciones de las regiones Metropolitana y del Maule. Memoria Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 94 p.

**MINTEGUI, J.; LÓPEZ, F.** 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Bilbao, España. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 306 p.

**MIRÓ, J.; ESTRELA, M.; PASTOR, F.; MILLÁN, M.** 2009. Análisis comparativo de tendencias en la precipitación, por distintos inputs, entre los dominios hidrológicos del Segura y del Júcar (1958 - 2008). *Investigaciones Geográficas* 49: 129 – 157.

**NANDARGI, S.; DHAR, O.** 2011. Extreme rainfall events over the Himalayas between 1871 and 2007. *Hydrological Sciences Journal* 56 (6): 930 – 945.

**NEUENSCHWANDER, A.** 2010. El cambio climático en el sector silvoagropecuario de Chile. Santiago, Chile. Fundación para la Innovación Agraria. 123 p.

**ÖNÖZ, B.; MEHMETÇCIK, B.** 2003. The power of statistical for trend detection. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences* 27: 247–251.

**PIZARRO, R.; FLORES, J.; SANGÜESA, C.; MARTÍNEZ, E.; GARCÍA, J.** 2004. Diseño de obras para la conservación de aguas y suelos. Talca, Chile. Sociedad EIAS, Universidad de Talca. 146 p.

**PIZARRO, R.; SANGÜESA, C.; FLORES, J.; MARTÍNEZ, E.** 2005. Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola. Talca, Chile. Sociedad EIAS, Universidad de Talca. 177 p.

**PIZARRO, R.; ARAVENA, D.; MACAYA, K.; ABARZA, A.; CORNEJO, M.; LABRA, M.; PAVÉZ, M.; ROMÁN, L.** 2007. Curvas intensidad – duración – frecuencia para la zona centro sur de Chile. Talca, Chile. Editorial Universidad de Talca. 126 p.

**RAJEEVAN, M.; BATHE, J.; JASWAL, A.** 2008. Analysis of variability and trends of extreme rainfall events over India using 104 years of gridded daily rainfall data. (en línea). *Geophysical Research Letters* 35 (18). Consultado 2 jul. 2012. Disponible en: <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/Analysis%20of%20variability%20and%20trends%20of%20extreme%20rainfall%20events%20over%20India.pdf>

**REMENIERAS, G.** 1971. Tratado de hidrología aplicada. Madrid, España. Editores asociados. 515 p.

**ROMÁN, L.** 2003. Análisis comparativo de las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF) en cinco estaciones pluviográficas de la Región Metropolitana. Memoria Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 116 p.

**SEOÁNEZ, M.** 2004. Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo. Madrid, España. Editorial Mundi – Prensa. 464 p.

**TÉMEZ, J.** 1978. Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Madrid, España. Dirección General de Carreteras. 111 p.

**TORRES, A.** 2004. Apuntes de clase sobre hidrología urbana. Bogotá, Colombia. Editorial Universidad Javeriana. 337 p.

**UCM (Universidad Complutense de Madrid, España).** s.f. El agua en la Tierra. (en línea). Consultado 17 oct. 2011. Disponible en: [http://www.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/El\\_agua\\_en\\_la\\_tierra.html](http://www.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/El_agua_en_la_tierra.html).

**UNL – FICH (Universidad Nacional del Litoral – Facultad de Ingeniería y Ciencias Hidráulicas, Argentina).** 2007. Vulnerabilidad de los recursos hídricos en el Litoral, Mesopotamia. (en línea). Santa Fé, Argentina. UNL. Consultado 22 oct. 2011. Disponible en: [http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/vulnerabilidad\\_mesopotamia.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/vulnerabilidad_mesopotamia.pdf).

**VALLEJOS, C.** 2010. Determinación gráfica y matemática de las curvas intensidad–duración–frecuencia (curvas IDF) en la Región de Arica y Parinacota y la Región de Atacama. Memoria Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 98 p.

**WEBSTER, A.** 2001. Estadística aplicada a los negocios y la economía. 3a ed. Bogotá, Colombia. Editorial Mc Graw-Hill. 640 p.

# **APÉNDICES**

**APÉNDICE I:** Datos de intensidades máximas anuales de precipitación para duraciones de 1 hora y 30 minutos por estación pluviográfica.

**Cuadro N°32:** Datos estación Melipilla (Esc. Tec.).

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	-	-
1972	-	-
1973	-	-
1974	-	-
1975	9,30	6,80
1976	12,88	7,90
1977	19,42	10,80
1978	19,80	11,00
1979	18,60	9,70
1980	11,86	7,80
1981	14,68	9,90
1982	20,40	14,40
1983	19,60	10,34
1984	26,74	14,50
1985	8,80	7,30
1986	26,60	20,40
1987	18,64	12,00
1988	7,18	5,20
1989	14,08	10,20
1990	7,90	5,60
1991	14,48	10,20
1992	12,60	9,90
1993	6,04	6,10
1994	7,22	7,30
1995	14,06	8,00
1996	15,22	8,70
1997	12,90	8,20
1998	4,60	3,70
1999	11,78	8,10
2000	14,76	12,30
2001	20,24	10,40
2002	18,74	16,00
2003	19,92	11,40
2004	18,60	12,40
2005	10,12	7,30
2006	10,32	8,00
2007	-	-
2008	9,36	7,10
2009	16,20	9,30

**Cuadro N°33:** Datos estación Cerro Calán.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	-	-
1972	-	-
1973	-	-
1974	-	-
1975	-	13,90
1976	-	6,00
1977	-	10,00
1978	-	8,30
1979	-	12,20
1980	-	7,90
1981	-	8,40
1982	-	6,60
1983	-	10,70
1984	-	10,70
1985	-	7,10
1986	-	16,00
1987	-	15,00
1988	-	11,00
1989	-	10,70
1990	-	5,60
1991	-	9,50
1992	20,60	12,80
1993	16,88	10,90
1994	10,18	6,20
1995	15,30	11,40
1996	15,60	9,40
1997	20,80	13,00
1998	13,80	9,40
1999	15,80	12,30
2000	28,40	17,10
2001	15,98	9,54
2002	18,92	11,10
2003	19,74	12,80
2004	15,80	12,50
2005	12,20	8,10
2006	13,80	10,50
2007	15,20	9,10
2008	19,98	12,30
2009	14,28	10,70

**Cuadro N°34:** Datos estación Pirque.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	-	-
1972	13,40	9,10
1973	16,52	10,30
1974	18,70	14,40
1975	11,32	7,50
1976	15,80	11,20
1977	18,14	10,60
1978	17,64	11,30
1979	23,32	18,20
1980	11,30	7,30
1981	11,96	9,60
1982	24,42	16,80
1983	30,34	17,70
1984	17,74	12,10
1985	18,00	9,40
1986	25,40	17,70
1987	19,22	14,40
1988	12,38	7,30
1989	20,20	14,60
1990	12,44	9,10
1991	22,60	16,20
1992	22,20	16,40
1993	13,40	10,80
1994	13,12	8,10
1995	13,20	9,90
1996	16,04	14,50
1997	10,30	7,30
1998	11,12	8,70
1999	22,60	16,40
2000	20,62	14,50
2001	29,40	18,40
2002	30,80	19,70
2003	34,20	21,30
2004	23,80	16,40
2005	11,60	8,90
2006	10,58	7,90
2007	7,86	7,20
2008	22,04	14,40
2009	17,52	12,40

**Cuadro N°35:** Datos estación Pudahuel.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	-	-
1972	-	-
1973	-	-
1974	-	7,20
1975	-	5,10
1976	-	13,00
1977	-	7,90
1978	-	9,40
1979	-	10,50
1980	-	7,30
1981	30,24	15,90
1982	-	11,10
1983	-	8,50
1984	-	7,70
1985	-	6,40
1986	20,10	13,00
1987	15,30	11,40
1988	20,86	15,00
1989	9,80	7,00
1990	10,40	8,90
1991	-	9,50
1992	10,20	9,90
1993	10,62	6,50
1994	4,78	3,50
1995	12,26	9,00
1996	15,22	9,70
1997	11,72	6,60
1998	5,80	4,50
1999	11,54	7,00
2000	11,54	8,83
2001	12,36	8,05
2002	13,06	9,70
2003	15,06	9,80
2004	14,28	8,00
2005	10,96	9,40
2006	-	8,60
2007	7,62	4,90
2008	12,24	6,80
2009	15,90	10,20

**Cuadro N°36:** Datos estación Cerrillos.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	13,40
1971	-	11,90
1972	15,96	10,20
1973	-	6,00
1974	12,28	8,10
1975	-	6,80
1976	-	6,20
1977	18,58	12,00
1978	13,78	8,70
1979	-	10,10
1980	-	7,70
1981	12,98	8,80
1982	-	9,20
1983	-	8,40
1984	-	9,80
1985	-	5,40
1986	9,82	6,50
1987	-	-
1988	5,52	4,30
1989	8,70	5,60
1990	19,38	11,00
1991	-	9,20
1992	13,98	8,40
1993	-	10,90
1994	15,64	12,54
1995	10,98	7,50
1996	19,28	10,50
1997	9,46	6,10
1998	19,00	9,60
1999	11,52	7,40
2000	13,16	7,70
2001	7,22	6,10
2002	19,82	10,10
2003	8,96	6,30
2004	13,86	9,20
2005	7,46	5,10
2006	-	-
2007	-	-
2008	-	-
2009	-	-

**Cuadro N°37:** Datos estación Quinta Normal.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	10,00
1971	-	7,30
1972	11,00	8,60
1973	9,60	5,20
1974	13,00	11,40
1975	13,80	10,60
1976	4,00	3,40
1977	-	10,10
1978	13,18	9,70
1979	-	-
1980	-	13,70
1981	12,20	10,00
1982	-	12,00
1983	-	7,60
1984	-	9,90
1985	-	5,70
1986	18,52	11,50
1987	-	-
1988	11,90	8,60
1989	11,50	7,40
1990	10,70	8,40
1991	-	9,80
1992	12,54	8,70
1993	-	6,50
1994	10,88	6,50
1995	12,80	7,00
1996	15,22	8,50
1997	13,86	7,90
1998	7,16	4,50
1999	14,60	7,90
2000	19,22	14,40
2001	10,02	7,50
2002	13,54	10,40
2003	15,00	10,80
2004	14,36	10,80
2005	9,46	6,35
2006	-	5,30
2007	10,80	6,90
2008	11,38	9,70
2009	12,20	9,80

**Cuadro N°38:** Datos estación Embalse Bullileo.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	35,88	19,24
1972	39,34	20,70
1973	19,82	14,50
1974	21,34	14,10
1975	39,94	28,24
1976	39,50	24,80
1977	25,62	21,20
1978	30,26	21,00
1979	21,20	15,20
1980	26,20	17,80
1981	39,80	23,40
1982	35,50	26,10
1983	28,20	18,00
1984	15,36	12,60
1985	29,16	23,70
1986	39,48	20,00
1987	19,10	16,00
1988	20,14	14,10
1989	20,08	16,00
1990	22,04	15,90
1991	20,18	19,00
1992	22,80	15,80
1993	40,20	31,10
1994	24,92	19,80
1995	26,80	22,00
1996	22,18	15,90
1997	33,00	26,70
1998	20,58	13,40
1999	29,80	20,80
2000	41,50	32,00
2001	39,50	34,10
2002	29,64	18,70
2003	29,46	20,26
2004	19,20	13,80
2005	28,00	21,80
2006	28,00	19,54
2007	20,32	15,20
2008	28,40	16,41
2009	33,80	30,10

**Cuadro N°39:** Datos estación Colorado.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	14,16	12,00
1971	20,12	20,00
1972	31,00	20,10
1973	-	-
1974	21,20	16,80
1975	29,78	20,60
1976	25,60	17,30
1977	22,60	16,40
1978	20,18	14,90
1979	25,60	18,10
1980	28,60	18,60
1981	30,70	20,00
1982	15,70	13,50
1983	22,00	16,70
1984	19,60	15,80
1985	23,40	17,70
1986	28,80	18,20
1987	19,60	16,60
1988	20,60	16,80
1989	19,98	12,90
1990	18,64	15,00
1991	19,74	15,90
1992	34,20	23,90
1993	40,20	28,70
1994	20,40	14,50
1995	15,00	13,00
1996	24,60	18,30
1997	22,20	14,90
1998	19,74	14,20
1999	19,54	13,50
2000	38,20	28,70
2001	20,72	17,80
2002	32,60	23,80
2003	35,00	23,80
2004	22,00	20,00
2005	18,18	15,60
2006	17,00	10,90
2007	22,06	16,20
2008	25,80	16,60
2009	23,80	16,90

**Cuadro N°40:** Datos estación Embalse Ancoa.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	8,20	6,70
1972	12,68	10,00
1973	-	-
1974	33,56	20,40
1975	32,44	21,60
1976	19,80	16,40
1977	30,46	19,20
1978	19,50	19,00
1979	30,80	20,30
1980	37,64	21,47
1981	29,60	21,00
1982	15,88	12,50
1983	14,10	10,50
1984	21,04	15,37
1985	31,12	19,60
1986	24,68	20,40
1987	21,90	15,60
1988	24,68	18,30
1989	19,30	16,10
1990	24,60	17,20
1991	26,94	18,60
1992	23,60	21,60
1993	29,84	18,00
1994	23,72	19,00
1995	23,58	18,10
1996	23,90	17,20
1997	20,30	13,50
1998	20,36	13,40
1999	21,04	14,00
2000	27,14	21,30
2001	20,18	19,60
2002	29,30	23,40
2003	24,20	16,70
2004	27,26	24,00
2005	32,58	19,50
2006	24,90	19,40
2007	18,78	12,10
2008	22,60	17,30
2009	28,60	19,50

**Cuadro N°41:** Datos estación Embalse Digua.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	22,60	17,80
1972	30,04	19,14
1973	15,72	11,00
1974	18,60	15,20
1975	12,80	9,90
1976	9,24	5,68
1977	15,74	14,40
1978	24,40	15,70
1979	22,40	17,90
1980	18,94	16,59
1981	20,20	19,00
1982	22,42	16,50
1983	20,00	16,30
1984	18,76	13,40
1985	12,46	9,10
1986	28,12	22,70
1987	16,60	14,20
1988	26,22	19,60
1989	15,20	12,60
1990	17,80	15,50
1991	18,90	14,20
1992	30,00	22,70
1993	17,20	15,20
1994	22,40	15,60
1995	19,68	16,70
1996	26,60	15,80
1997	26,42	19,60
1998	17,76	14,70
1999	24,00	13,21
2000	28,80	18,90
2001	24,00	17,00
2002	45,40	30,50
2003	33,80	19,90
2004	19,68	15,30
2005	22,80	18,30
2006	19,74	15,20
2007	25,80	15,40
2008	29,40	19,42
2009	26,96	19,80

**Cuadro N°42:** Datos estación Melozal.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	19,20	10,20
1972	29,00	22,00
1973	-	-
1974	19,66	16,70
1975	-	-
1976	14,16	9,40
1977	32,60	19,40
1978	18,62	13,20
1979	-	-
1980	-	-
1981	12,98	10,10
1982	18,62	14,00
1983	22,88	16,80
1984	18,60	11,60
1985	12,78	8,00
1986	17,64	11,00
1987	19,00	9,71
1988	17,94	11,32
1989	16,56	9,70
1990	11,08	8,20
1991	24,60	18,30
1992	27,80	25,50
1993	19,34	10,60
1994	12,04	7,50
1995	13,36	9,90
1996	20,40	11,10
1997	35,66	19,10
1998	23,64	12,50
1999	20,90	11,80
2000	19,22	11,10
2001	18,82	10,69
2002	18,66	13,10
2003	22,28	14,20
2004	22,64	14,90
2005	14,48	11,00
2006	26,54	17,20
2007	10,90	8,10
2008	12,62	9,00
2009	13,34	11,00

**Cuadro N°43:** Datos estación Los Queñes.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	18,42	11,70
1972	15,54	11,90
1973	19,72	15,00
1974	6,16	3,90
1975	23,74	16,00
1976	16,10	15,00
1977	18,78	15,50
1978	16,38	13,40
1979	19,82	14,30
1980	24,00	18,80
1981	30,34	21,20
1982	18,48	12,90
1983	19,86	13,81
1984	22,00	15,20
1985	19,10	13,95
1986	34,00	23,60
1987	18,68	10,70
1988	19,58	17,10
1989	14,14	12,30
1990	22,10	13,20
1991	26,18	22,80
1992	17,44	14,70
1993	22,18	17,30
1994	18,80	14,80
1995	15,06	10,80
1996	17,40	12,80
1997	24,66	17,00
1998	11,52	9,80
1999	19,94	14,00
2000	39,42	30,00
2001	28,60	19,20
2002	24,06	19,30
2003	27,70	19,60
2004	19,82	19,10
2005	28,40	20,80
2006	16,62	9,70
2007	18,00	15,40
2008	13,28	12,90
2009	17,30	12,60

**Cuadro N°44:** Datos estación Parral.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	-	-
1972	-	-
1973	-	-
1974	28,80	20,00
1975	33,40	26,70
1976	26,60	20,90
1977	20,00	19,10
1978	9,40	8,50
1979	15,32	13,70
1980	30,20	20,00
1981	19,10	10,00
1982	17,94	14,00
1983	21,24	17,00
1984	16,12	12,50
1985	24,20	17,00
1986	18,68	13,50
1987	33,58	19,60
1988	15,06	10,20
1989	12,80	9,90
1990	17,78	13,00
1991	18,74	17,30
1992	31,56	20,20
1993	25,62	19,80
1994	22,60	19,40
1995	15,58	11,80
1996	24,40	17,40
1997	31,00	20,00
1998	12,92	12,00
1999	14,20	9,50
2000	20,18	14,06
2001	19,22	14,10
2002	13,90	10,00
2003	18,20	14,60
2004	12,48	10,00
2005	19,70	13,80
2006	28,92	17,30
2007	11,10	10,00
2008	14,82	12,60
2009	13,44	11,60

**Cuadro N°45:** Datos estación Pencahue.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	-	-
1972	-	-
1973	-	-
1974	11,80	10,00
1975	14,00	12,00
1976	12,30	8,20
1977	21,68	15,30
1978	15,60	13,30
1979	16,60	12,40
1980	20,60	15,40
1981	12,60	8,00
1982	18,38	15,40
1983	19,04	14,10
1984	12,84	11,90
1985	15,56	13,70
1986	24,60	19,00
1987	19,44	15,30
1988	21,74	16,10
1989	10,60	9,40
1990	19,20	16,20
1991	15,00	14,50
1992	15,00	13,00
1993	16,40	12,00
1994	9,40	6,30
1995	8,72	8,30
1996	10,80	10,00
1997	19,14	13,10
1998	9,54	8,20
1999	18,78	12,40
2000	12,80	11,00
2001	11,52	8,40
2002	24,20	17,00
2003	24,78	15,20
2004	12,06	8,50
2005	15,40	11,00
2006	18,16	13,20
2007	17,80	15,00
2008	12,80	11,70
2009	11,40	10,00

**Cuadro N°46:** Datos estación Potrero Grande.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	17,08	8,60
1972	17,06	14,86
1973	-	-
1974	9,72	8,20
1975	28,60	19,50
1976	16,70	13,00
1977	18,64	13,80
1978	28,00	19,20
1979	18,98	14,50
1980	22,80	13,20
1981	17,26	13,40
1982	20,20	19,70
1983	19,80	19,30
1984	10,90	9,90
1985	38,72	25,60
1986	26,80	23,60
1987	19,30	16,70
1988	16,74	12,50
1989	13,86	13,80
1990	20,12	11,20
1991	18,60	16,20
1992	29,00	26,30
1993	24,20	16,50
1994	24,60	20,00
1995	22,00	17,30
1996	13,54	13,00
1997	20,04	11,00
1998	14,80	11,80
1999	18,44	15,60
2000	26,22	25,70
2001	21,80	20,00
2002	10,84	20,00
2003	18,00	15,40
2004	23,20	16,30
2005	18,40	14,30
2006	19,20	16,70
2007	15,80	13,80
2008	31,30	18,00
2009	16,16	14,70

**Cuadro N°47:** Datos estación San Javier.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	-	-
1972	-	-
1973	-	-
1974	24,20	17,60
1975	11,60	10,00
1976	13,54	10,80
1977	20,30	13,10
1978	15,94	12,10
1979	9,42	6,00
1980	11,78	8,00
1981	27,24	17,00
1982	18,40	14,70
1983	32,08	29,60
1984	23,20	13,12
1985	18,42	13,90
1986	18,96	12,52
1987	17,10	11,70
1988	15,40	14,00
1989	17,20	12,60
1990	23,06	12,03
1991	13,16	8,18
1992	15,90	9,90
1993	10,52	10,30
1994	9,02	7,20
1995	16,42	11,00
1996	11,00	9,80
1997	17,60	15,10
1998	22,56	12,56
1999	28,28	19,10
2000	17,06	11,20
2001	14,60	11,80
2002	13,04	11,30
2003	18,80	13,70
2004	13,80	12,30
2005	15,10	10,30
2006	22,92	14,10
2007	19,96	11,90
2008	24,56	14,90
2009	27,88	14,85

**Cuadro N°48:** Datos estación Curicó.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	17,00
1971	-	16,00
1972	-	17,00
1973	-	8,00
1974	-	18,00
1975	-	9,00
1976	-	9,00
1977	-	-
1978	-	12,80
1979	-	9,60
1980	-	19,60
1981	-	6,50
1982	-	13,00
1983	-	9,30
1984	-	10,20
1985	-	9,10
1986	-	14,70
1987	-	10,00
1988	-	11,90
1989	-	-
1990	-	9,90
1991	-	9,70
1992	-	-
1993	-	9,00
1994	-	14,50
1995	-	9,50
1996	-	10,00
1997	-	12,50
1998	-	10,00
1999	-	10,00
2000	-	8,00
2001	-	9,50
2002	-	20,50
2003	-	16,50
2004	-	15,00
2005	-	15,00
2006	-	32,50
2007	-	11,50
2008	-	12,00
2009	-	23,50

**Cuadro N°49:** Datos estación Diguillín.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	14,20	9,10
1971	19,40	17,60
1972	26,60	24,60
1973	22,20	18,80
1974	44,00	30,20
1975	18,80	15,00
1976	15,10	12,10
1977	13,18	9,90
1978	29,86	19,70
1979	16,20	9,90
1980	23,30	18,70
1981	-	23,10
1982	-	14,50
1983	-	9,60
1984	20,36	15,90
1985	34,18	27,80
1986	24,74	20,00
1987	19,10	16,70
1988	19,58	12,80
1989	19,22	17,50
1990	25,54	19,00
1991	27,78	24,20
1992	28,16	20,00
1993	24,66	18,10
1994	33,50	23,70
1995	19,66	19,00
1996	28,60	21,00
1997	26,88	22,10
1998	33,80	25,90
1999	15,28	12,00
2000	30,60	23,70
2001	20,40	18,50
2002	40,16	27,70
2003	24,38	20,00
2004	22,40	17,60
2005	24,60	19,00
2006	26,80	20,00
2007	19,94	11,60
2008	31,26	19,60
2009	19,00	13,24

**Cuadro N°50:** Datos estación Cerro El Padre.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	18,84	16,00
1971	20,42	16,40
1972	28,60	20,20
1973	11,12	7,50
1974	17,62	13,60
1975	19,20	14,60
1976	29,08	19,00
1977	39,34	22,40
1978	19,56	13,70
1979	19,20	14,20
1980	34,70	22,30
1981	24,90	21,40
1982	22,20	17,10
1983	13,76	11,30
1984	29,08	27,60
1985	16,22	11,10
1986	26,12	23,10
1987	20,62	17,70
1988	19,88	15,00
1989	19,38	16,70
1990	27,12	17,00
1991	31,44	22,00
1992	28,80	19,10
1993	31,20	21,00
1994	17,80	15,60
1995	28,00	24,00
1996	39,02	29,40
1997	40,62	22,00
1998	20,40	13,10
1999	14,90	13,00
2000	24,00	21,30
2001	30,80	20,40
2002	33,30	21,40
2003	23,80	16,40
2004	20,54	15,00
2005	24,82	14,00
2006	34,00	24,80
2007	20,22	14,00
2008	23,00	15,10
2009	27,60	19,00

**Cuadro N°51:** Datos estación Chillán Viejo.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	-	-
1972	-	-
1973	-	-
1974	-	10,20
1975	-	6,90
1976	-	14,00
1977	-	12,80
1978	-	15,30
1979	-	20,00
1980	-	18,00
1981	-	21,00
1982	26,40	21,00
1983	17,94	13,00
1984	20,60	17,40
1985	19,38	13,80
1986	23,98	20,00
1987	39,28	26,00
1988	16,64	11,80
1989	27,60	16,87
1990	20,40	16,70
1991	40,60	25,90
1992	35,32	19,90
1993	17,20	12,40
1994	17,40	11,00
1995	39,20	19,90
1996	27,60	20,00
1997	40,20	27,40
1998	32,80	19,30
1999	21,24	14,50
2000	18,00	13,80
2001	19,94	14,30
2002	40,40	24,50
2003	26,76	14,20
2004	57,20	29,00
2005	19,74	16,30
2006	39,40	21,40
2007	22,80	14,00
2008	38,80	19,90
2009	23,16	13,80

**Cuadro N°52:** Datos estación Embalse Coihueco.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	-
1971	26,80	20,10
1972	40,86	21,00
1973	20,44	16,00
1974	-	-
1975	15,22	8,40
1976	18,56	15,30
1977	21,14	17,50
1978	19,80	17,30
1979	27,18	21,00
1980	36,00	29,00
1981	38,60	28,20
1982	25,30	21,10
1983	28,40	20,00
1984	20,92	13,70
1985	30,80	25,00
1986	23,04	19,60
1987	19,76	16,00
1988	14,98	15,60
1989	15,62	11,20
1990	13,68	9,00
1991	12,00	10,80
1992	20,12	17,90
1993	19,00	16,00
1994	26,60	20,00
1995	24,46	14,70
1996	20,84	20,00
1997	41,24	33,20
1998	16,26	17,60
1999	22,60	19,50
2000	40,76	34,50
2001	39,10	16,00
2002	28,70	26,10
2003	38,90	22,90
2004	28,92	21,90
2005	20,32	15,60
2006	28,08	22,90
2007	32,64	17,70
2008	33,10	20,00
2009	78,20	46,20

**Cuadro N°53:** Datos estación Quilaco.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	28,42	26,20
1971	20,20	14,30
1972	28,60	24,00
1973	14,20	10,00
1974	20,44	11,40
1975	20,22	15,20
1976	26,40	20,00
1977	28,22	20,00
1978	24,20	20,00
1979	25,06	19,80
1980	32,80	29,10
1981	30,78	19,40
1982	23,80	20,00
1983	15,34	12,70
1984	24,60	18,00
1985	22,80	18,70
1986	24,60	20,00
1987	20,88	18,30
1988	19,96	18,00
1989	19,80	15,00
1990	25,00	20,00
1991	39,40	26,09
1992	44,90	25,00
1993	35,46	21,80
1994	26,60	20,50
1995	14,20	11,90
1996	13,64	15,10
1997	14,40	20,10
1998	13,82	10,70
1999	-	16,00
2000	-	24,60
2001	38,00	28,50
2002	29,60	20,10
2003	19,02	12,10
2004	26,40	19,20
2005	19,20	16,70
2006	26,60	18,20
2007	11,32	10,40
2008	13,34	10,40
2009	28,60	19,70

**Cuadro N°54:** Datos estación Carriel Sur.

<b>Año</b>	<b>Intensidad 30 minutos (mm/h)</b>	<b>Intensidad 1 hora (mm/h)</b>
1970	-	16,10
1971	-	13,40
1972	-	11,40
1973	-	14,70
1974	32,60	24,20
1975	30,60	23,40
1976	34,80	20,10
1977	36,12	21,30
1978	36,00	23,60
1979	-	13,50
1980	-	24,40
1981	21,36	12,70
1982	-	25,60
1983	-	19,00
1984	-	16,60
1985	-	14,20
1986	24,64	17,60
1987	47,20	27,90
1988	-	12,50
1989	27,80	16,00
1990	16,72	11,70
1991	35,40	23,40
1992	35,20	21,60
1993	-	21,30
1994	19,08	10,20
1995	31,12	23,10
1996	19,46	14,60
1997	24,96	17,20
1998	20,80	14,40
1999	34,80	21,00
2000	31,20	29,00
2001	27,80	17,50
2002	46,20	31,20
2003	30,60	23,30
2004	25,40	15,10
2005	20,40	14,10
2006	23,40	15,50
2007	21,00	13,40
2008	47,58	27,30
2009	20,98	14,00

**APÉNDICE II:** Funciones de Distribución de Probabilidad (FDP) de Gumbel ajustadas a intensidades máximas anuales de precipitación, coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y test de Kolmogorov–Smirnov (KS).

**Cuadro N°55:** FDP de Gumbel,  $R^2$  y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) en la Región Metropolitana.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		$R^2$	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Melipilla (Esc. Tec.)	B	1970-1989	15	10,55	3,77	8,85275	0,34022	0,972	0,098	0,338
		1990-2009	19	8,95	2,81	7,68132	0,45591	0,982	0,072	0,301
	A	1980-1989	10	11,20	4,38	9,23308	0,29286	0,965	0,076	0,410
		1990-1999	10	7,58	1,99	6,68522	0,64509	0,860	0,197	0,410
		2000-2009	9	10,47	2,90	9,16037	0,44187	0,928	0,112	0,432
Cerro Calán	B	1970-1989	15	10,30	3,02	8,93919	0,42416	0,947	0,123	0,338
		1990-2009	18	11,06	2,38	9,99342	0,53949	0,953	0,118	0,309
	A	1980-1989	10	10,41	3,14	8,99691	0,40847	0,908	0,153	0,410
		1990-1999	8	10,68	2,28	9,64852	0,56232	0,829	0,165	0,457
		2000-2009	10	11,37	2,53	10,23652	0,50745	0,974	0,068	0,410
Pirque	B	1970-1989	18	12,19	3,72	10,51971	0,34466	0,947	0,138	0,309
		1990-2009	20	12,93	4,45	10,92381	0,28843	0,892	0,074	0,294
	A	1970-1979	8	11,58	3,33	10,07854	0,38572	0,939	0,131	0,457
		1980-1989	10	12,69	4,12	10,83751	0,31159	0,845	0,174	0,410
		1990-1999	10	11,74	3,72	10,06691	0,34500	0,854	0,169	0,410
2000-2009	10	14,11	4,98	11,86874	0,25754	0,867	0,156	0,410		

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel;  $R^2$ : Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov–Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov–Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Continuación de Cuadro N°55:** FDP de Gumbel,  $R^2$  y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) en la Región Metropolitana.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		$R^2$	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Pudahuel	B	1970-1989	16	9,78	3,20	8,33377	0,40050	0,953	0,107	0,328
		1990-2009	20	7,97	1,96	7,08515	0,65306	0,824	0,213	0,294
	A	1970-1979	6	8,85	2,75	7,61037	0,46563	0,933	0,103	0,521
		1980-1989	10	10,33	3,46	8,77330	0,37079	0,891	0,138	0,410
		1990-1999	10	7,51	2,26	6,49399	0,56812	0,815	0,230	0,410
		2000-2009	10	8,43	1,61	7,70544	0,79883	0,821	0,181	0,410
Cerrillos	B	1970-1989	19	8,37	2,47	7,26024	0,51840	0,960	0,075	0,301
		1990-2009	16	8,60	2,12	7,64644	0,60374	0,925	0,147	0,328
	A	1970-1979	10	9,34	2,60	8,16984	0,49327	0,897	0,134	0,410
		1980-1989	9	7,30	1,92	6,43402	0,66654	0,846	0,164	0,432
		1990-1999	10	9,31	1,98	8,42162	0,64682	0,909	0,082	0,410
		2000-2009	6	7,42	1,94	6,54380	0,66128	0,883	0,127	0,521
Quinta Normal	B	1970-1989	18	9,04	2,60	7,87059	0,49406	0,937	0,193	0,309
		1990-2009	20	8,38	2,28	7,35527	0,56191	0,979	0,098	0,294
	A	1970-1979	9	8,48	2,68	7,27211	0,47875	0,742	0,231	0,432
		1980-1989	9	9,60	2,54	8,45835	0,50559	0,927	0,117	0,432
		1990-1999	10	7,57	1,49	6,89809	0,85905	0,876	0,201	0,410
		2000-2009	10	9,20	2,70	7,97883	0,47461	0,877	0,188	0,410

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel;  $R^2$ : Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Cuadro N°56:** FDP de Gumbel, R<sup>2</sup> y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) en la Región del Maule.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		R <sup>2</sup>	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Embalse Bullileo	B	1970-1989	19	19,30	4,51	17,26936	0,28440	0,950	0,112	0,301
		1990-2009	20	21,12	6,36	18,25401	0,20172	0,958	0,103	0,294
	A	1970-1979	9	19,89	4,78	17,73755	0,26858	0,867	0,162	0,432
		1980-1989	10	18,77	4,44	16,77000	0,28860	0,941	0,136	0,410
		1990-1999	10	20,04	5,46	17,58146	0,23478	0,953	0,137	0,410
		2000-2009	10	22,19	7,28	18,91670	0,17628	0,924	0,143	0,410
Colorado	B	1970-1989	19	17,00	2,44	15,90294	0,52614	0,903	0,163	0,301
		1990-2009	20	18,11	5,09	15,81869	0,25191	0,957	0,113	0,294
	A	1970-1979	9	17,36	2,77	16,10731	0,46242	0,891	0,148	0,432
		1980-1989	10	16,68	2,19	15,69336	0,58502	0,835	0,192	0,410
		1990-1999	10	17,19	5,14	14,87670	0,24952	0,854	0,176	0,410
		2000-2009	10	19,03	5,14	16,71674	0,24952	0,938	0,116	0,410
Embalse Ancoa	B	1970-1989	18	16,91	4,42	14,92543	0,29036	0,801	0,213	0,309
		1990-2009	20	18,17	3,20	16,73006	0,40086	0,900	0,151	0,294
	A	1970-1979	8	16,70	5,44	14,25160	0,23575	0,600	0,277	0,457
		1980-1989	10	17,08	3,71	15,41453	0,34574	0,868	0,154	0,410
		1990-1999	10	17,06	2,67	15,85815	0,48027	0,767	0,228	0,410
		2000-2009	10	19,28	3,43	17,73786	0,37429	0,867	0,221	0,410
Embalse Digua	B	1970-1989	19	15,09	4,15	13,22327	0,30921	0,909	0,131	0,301
		1990-2009	20	17,65	3,88	15,90130	0,33074	0,949	0,121	0,294
	A	1970-1979	9	14,08	4,41	12,09561	0,29088	0,816	0,200	0,432
		1980-1989	10	16,00	3,90	14,24498	0,32908	0,936	0,147	0,410
		1990-1999	10	16,32	2,81	15,05593	0,45627	0,924	0,146	0,410
		2000-2009	10	18,97	4,47	16,96236	0,28722	0,914	0,168	0,410

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Continuación de Cuadro N°56:** FDP de Gumbel, R<sup>2</sup> y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) en la Región del Maule.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		R <sup>2</sup>	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Melozal	B	1970-1989	15	12,88	4,10	11,02911	0,31264	0,940	0,129	0,338
		1990-2009	20	12,74	4,44	10,74329	0,28915	0,965	0,118	0,294
	A	1970-1979	6	15,15	5,07	12,86622	0,25274	0,854	0,145	0,521
		1980-1989	9	11,36	2,62	10,17771	0,48867	0,953	0,093	0,432
		1990-1999	10	13,45	5,71	10,88002	0,22460	0,927	0,137	0,410
		2000-2009	10	12,03	2,79	10,77184	0,45914	0,925	0,122	0,410
Los Queñes	B	1970-1989	19	14,54	4,14	12,67839	0,31006	0,948	0,108	0,301
		1990-2009	20	16,29	4,93	14,07102	0,26012	0,980	0,096	0,294
	A	1970-1979	9	12,97	3,72	11,29179	0,34463	0,666	0,219	0,432
		1980-1989	10	15,96	4,15	14,08917	0,30919	0,956	0,102	0,410
		1990-1999	10	14,72	3,70	13,05465	0,34660	0,967	0,069	0,410
		2000-2009	10	17,86	5,67	15,30813	0,22619	0,887	0,200	0,410
Parral	B	1970-1989	16	15,79	5,07	13,50676	0,25308	0,924	0,137	0,328
		1990-2009	20	14,42	3,65	12,78001	0,35132	0,946	0,149	0,294
	A	1970-1979	6	18,15	6,29	15,31853	0,20385	0,799	0,201	0,521
		1980-1989	10	14,37	3,85	12,63512	0,33271	0,893	0,167	0,410
		1990-1999	10	16,04	4,06	14,21397	0,31610	0,743	0,231	0,410
		2000-2009	10	12,81	2,42	11,71627	0,52968	0,858	0,189	0,410
Pencahue	B	1970-1989	16	13,09	3,08	11,70939	0,41695	0,891	0,152	0,328
		1990-2009	20	11,75	2,96	10,41730	0,43311	0,940	0,137	0,294
	A	1970-1979	6	11,87	2,49	10,74473	0,51448	0,845	0,163	0,521
		1980-1989	10	13,83	3,27	12,35709	0,39188	0,807	0,190	0,410
		1990-1999	10	11,40	3,11	9,99850	0,41185	0,851	0,190	0,410
		2000-2009	10	12,10	2,92	10,78464	0,43882	0,934	0,127	0,410

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Continuación de Cuadro N°56:** FDP de Gumbel,  $R^2$  y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) en la Región del Maule.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		$R^2$	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Potrero Grande	B	1970-1989	18	15,52	4,82	13,35003	0,26600	0,954	0,126	0,309
		1990-2009	20	16,69	4,17	14,81487	0,30782	0,982	0,063	0,294
	A	1970-1979	8	13,96	4,18	12,07785	0,30708	0,840	0,168	0,457
		1980-1989	10	16,77	5,14	14,45586	0,24943	0,922	0,147	0,410
		1990-1999	10	15,89	4,70	13,77489	0,27290	0,951	0,093	0,410
		2000-2009	10	17,49	3,62	15,85869	0,35383	0,969	0,070	0,410
San Javier	B	1970-1989	16	13,55	5,19	11,21236	0,24732	0,931	0,118	0,328
		1990-2009	20	12,08	2,70	10,85880	0,47421	0,980	0,067	0,294
	A	1970-1979	6	11,60	3,82	9,87967	0,33552	0,906	0,118	0,521
		1980-1989	10	14,71	5,72	12,14187	0,22441	0,858	0,158	0,410
		1990-1999	10	11,52	3,48	9,95241	0,36892	0,974	0,074	0,410
		2000-2009	10	12,64	1,63	11,90069	0,78605	0,908	0,148	0,410
Curicó	B	1970-1989	18	12,26	3,91	10,49965	0,32769	0,930	0,142	0,309
		1990-2009	19	13,64	6,14	10,87467	0,20897	0,910	0,149	0,301
	A	1970-1979	9	12,93	4,10	11,08759	0,31272	0,769	0,206	0,432
		1980-1989	9	11,59	3,84	9,86244	0,33433	0,964	0,091	0,432
		1990-1999	9	10,57	1,77	9,77173	0,72610	0,775	0,271	0,432
		2000-2009	10	16,40	7,39	13,07283	0,17348	0,965	0,064	0,410

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel;  $R^2$ : Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Cuadro N°57:** FDP de Gumbel, R<sup>2</sup> y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) en la Región del BioBío.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		R <sup>2</sup>	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Diguillín	B	1970-1989	20	17,18	5,98	14,48370	0,21447	0,968	0,121	0,294
		1990-2009	20	19,80	4,22	17,89672	0,30375	0,898	0,156	0,294
	A	1970-1979	10	16,69	6,94	13,56777	0,18487	0,938	0,133	0,410
		1980-1989	10	17,66	5,18	15,32831	0,24755	0,977	0,075	0,410
		1990-1999	10	20,50	3,93	18,73351	0,32675	0,907	0,127	0,410
		2000-2009	10	19,09	4,60	17,02509	0,27899	0,861	0,154	0,410
Cerro El Padre	B	1970-1989	20	17,05	4,81	14,87943	0,26654	0,978	0,077	0,294
		1990-2009	20	18,88	4,45	16,87829	0,28836	0,935	0,125	0,294
	A	1970-1979	10	15,76	4,16	13,88820	0,30837	0,925	0,153	0,410
		1980-1989	10	18,33	5,28	15,95226	0,24275	0,924	0,136	0,410
		1990-1999	10	19,62	5,14	17,30715	0,24957	0,922	0,126	0,410
		2000-2009	10	18,14	3,76	16,44792	0,34112	0,870	0,158	0,410
Chillán Viejo	B	1970-1989	16	16,13	4,84	13,95200	0,26509	0,960	0,112	0,328
		1990-2009	20	18,41	5,21	16,06616	0,24627	0,940	0,151	0,294
	A	1970-1979	6	13,20	4,48	11,18592	0,28659	0,908	0,110	0,521
		1980-1989	10	17,89	4,33	15,93917	0,29633	0,910	0,121	0,410
		1990-1999	10	18,70	5,30	16,31348	0,24186	0,895	0,161	0,410
		2000-2009	10	18,12	5,38	15,69839	0,23836	0,849	0,207	0,410
Embalse Coihueco	B	1970-1989	18	18,67	5,33	16,26705	0,24054	0,963	0,112	0,309
		1990-2009	20	21,13	8,60	17,25622	0,14920	0,957	0,112	0,294
	A	1970-1979	8	17,08	4,14	15,21353	0,31008	0,804	0,156	0,457
		1980-1989	10	19,94	6,03	17,22698	0,21275	0,935	0,099	0,410
		1990-1999	10	17,87	6,57	14,91115	0,19508	0,921	0,128	0,410
		2000-2009	10	24,38	9,45	20,12861	0,13577	0,944	0,133	0,410

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Continuación de Cuadro N°57:** FDP de Gumbel,  $R^2$  y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 1 hora (mm/h) en la Región del BioBio.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		$R^2$	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Quilaco	B	1970-1989	20	18,51	4,66	16,40597	0,27499	0,898	0,191	0,294
		1990-2009	20	18,35	5,42	15,91436	0,23655	0,904	0,155	0,294
	A	1970-1979	10	18,09	5,24	15,72999	0,24458	0,833	0,236	0,410
		1980-1989	10	18,92	4,25	17,00840	0,30195	0,863	0,204	0,410
		1990-1999	10	18,72	5,18	16,38874	0,24770	0,861	0,210	0,410
		2000-2009	10	17,99	5,91	15,32914	0,21693	0,876	0,139	0,410
Carriel Sur	B	1970-1989	20	18,41	5,06	16,13152	0,25333	0,938	0,139	0,294
		1990-2009	20	18,95	5,95	16,26662	0,21551	0,943	0,126	0,294
	A	1970-1979	10	18,17	4,87	15,97833	0,26336	0,835	0,168	0,410
		1980-1989	10	18,65	5,50	16,17404	0,23312	0,937	0,136	0,410
		1990-1999	10	17,85	4,87	15,65810	0,26334	0,813	0,237	0,410
		2000-2009	10	20,04	6,96	16,90944	0,18438	0,837	0,181	0,410

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel;  $R^2$ : Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Cuadro N°58:** FDP de Gumbel, R<sup>2</sup> y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) en la Región Metropolitana.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		R <sup>2</sup>	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Melipilla (Esc. Tec.)	B	1970-1989	15	16,57	5,99	13,87759	0,21422	0,908	0,195	0,338
		1990-2009	19	12,90	4,68	10,79019	0,27386	0,942	0,115	0,301
	A	1980-1989	10	16,86	6,76	13,81362	0,18960	0,927	0,125	0,410
		1990-1999	10	10,68	3,87	8,94023	0,33177	0,765	0,223	0,410
		2000-2009	9	15,36	4,42	13,37197	0,29002	0,743	0,211	0,432
Pirque	B	1970-1989	18	18,10	5,25	15,73570	0,24414	0,952	0,113	0,309
		1990-2009	20	18,27	7,54	14,87892	0,17011	0,935	0,152	0,294
	A	1970-1979	8	16,86	3,61	15,22996	0,35520	0,906	0,109	0,457
		1980-1989	10	19,10	6,29	16,26713	0,20404	0,906	0,163	0,410
		1990-1999	10	15,70	4,91	13,49444	0,26147	0,867	0,187	0,410
		2000-2009	10	20,84	9,01	16,78502	0,14228	0,891	0,149	0,410

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Cuadro N°59:** FDP de Gumbel, R<sup>2</sup> y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) en la Región del Maule.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		R <sup>2</sup>	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Embalse Bullileo	B	1970-1989	19	28,73	8,56	24,88015	0,14983	0,897	0,167	0,301
		1990-2009	20	28,02	6,84	24,93550	0,18737	0,958	0,108	0,294
	A	1970-1979	9	30,32	8,55	26,47291	0,14995	0,800	0,185	0,432
		1980-1989	10	27,30	8,76	23,35993	0,14642	0,903	0,162	0,410
		1990-1999	10	26,25	6,41	23,36430	0,20002	0,944	0,128	0,410
		2000-2009	10	29,78	7,13	26,57227	0,17983	0,876	0,189	0,410
Colorado	B	1970-1989	19	23,12	4,93	20,89742	0,26007	0,952	0,124	0,301
		1990-2009	20	24,48	7,42	21,14240	0,17289	0,936	0,137	0,294
	A	1970-1979	9	23,36	5,25	20,99932	0,24451	0,931	0,123	0,432
		1980-1989	10	22,90	4,91	20,68998	0,26141	0,917	0,154	0,410
		1990-1999	10	23,43	7,79	19,92172	0,16472	0,871	0,149	0,410
		2000-2009	10	25,54	7,29	22,25727	0,17605	0,935	0,123	0,410
Embalse Ancoa	B	1970-1989	18	23,74	8,16	20,06874	0,15708	0,933	0,168	0,309
		1990-2009	20	24,67	3,69	23,01184	0,34789	0,954	0,110	0,294
	A	1970-1979	8	23,43	9,74	19,04787	0,13172	0,780	0,245	0,457
		1980-1989	10	23,99	7,21	20,74785	0,17781	0,961	0,089	0,410
		1990-1999	10	23,79	2,96	22,45644	0,43348	0,893	0,177	0,410
		2000-2009	10	25,55	4,27	23,63371	0,30058	0,903	0,160	0,410
Embalse Digua	B	1970-1989	19	19,50	5,47	17,03616	0,23447	0,965	0,103	0,301
		1990-2009	20	24,86	6,73	21,82702	0,19050	0,980	0,108	0,294
	A	1970-1979	9	19,06	6,43	16,16614	0,19946	0,925	0,149	0,432
		1980-1989	10	19,89	4,77	17,74664	0,26905	0,955	0,103	0,410
		1990-1999	10	22,08	4,50	20,04969	0,28486	0,893	0,125	0,410
		2000-2009	10	27,64	7,63	24,20365	0,16807	0,980	0,069	0,410

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Continuación de Cuadro N°59:** FDP de Gumbel, R<sup>2</sup> y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) en la Región del Maule.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		R <sup>2</sup>	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Melozal	B	1970-1989	15	19,35	5,39	16,92459	0,23805	0,913	0,156	0,338
		1990-2009	20	19,42	6,46	16,50865	0,19853	0,936	0,140	0,294
	A	1970-1979	6	22,21	7,03	19,04153	0,18236	0,840	0,162	0,521
		1980-1989	9	17,44	3,11	16,04426	0,41224	0,786	0,196	0,432
		1990-1999	10	20,88	7,61	17,45740	0,16855	0,912	0,137	0,410
		2000-2009	10	17,95	5,04	15,68079	0,25436	0,880	0,171	0,410
Los Queñes	B	1970-1989	19	19,73	5,86	17,08979	0,21875	0,922	0,174	0,301
		1990-2009	20	21,42	6,51	18,49474	0,19705	0,984	0,052	0,294
	A	1970-1979	9	17,18	4,83	15,01155	0,26564	0,769	0,219	0,432
		1980-1989	10	22,02	5,98	19,32778	0,21456	0,915	0,136	0,410
		1990-1999	10	19,53	4,45	17,52703	0,28846	0,933	0,129	0,410
		2000-2009	10	23,32	7,85	19,78551	0,16331	0,931	0,124	0,410
Parral	B	1970-1989	16	21,40	7,34	18,09723	0,17463	0,967	0,092	0,328
		1990-2009	20	19,32	6,24	16,51082	0,20562	0,970	0,091	0,294
	A	1970-1979	6	22,25	8,99	18,20613	0,14262	0,846	0,168	0,521
		1980-1989	10	20,89	6,65	17,90006	0,19292	0,965	0,093	0,410
		1990-1999	10	21,44	6,68	18,43436	0,19204	0,925	0,096	0,410
		2000-2009	10	17,20	5,25	14,83474	0,24445	0,946	0,099	0,410
Pencahue	B	1970-1989	16	16,71	4,21	14,81704	0,30472	0,928	0,133	0,328
		1990-2009	20	15,15	4,65	13,05305	0,27592	0,962	0,097	0,294
	A	1970-1979	6	15,33	3,62	13,70211	0,35457	0,951	0,093	0,521
		1980-1989	10	17,54	4,50	15,51623	0,28521	0,844	0,188	0,410
		1990-1999	10	14,20	4,25	12,28363	0,30151	0,787	0,189	0,410
		2000-2009	10	16,09	5,05	13,81817	0,25385	0,901	0,181	0,410

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Continuación de Cuadro N°59:** FDP de Gumbel,  $R^2$  y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) en la Región del Maule.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		$R^2$	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Potrero Grande	B	1970-1989	18	20,06	6,94	16,94214	0,18487	0,952	0,141	0,309
		1990-2009	20	20,31	5,12	18,00807	0,25042	0,979	0,081	0,294
	A	1970-1979	8	19,35	6,22	16,54633	0,20606	0,856	0,157	0,457
		1980-1989	10	20,64	7,74	17,15304	0,16563	0,966	0,090	0,410
		1990-1999	10	20,53	4,64	18,44383	0,27615	0,934	0,117	0,410
		2000-2009	10	20,09	5,80	17,47955	0,22095	0,971	0,078	0,410
San Javier	B	1970-1989	16	18,42	5,99	15,72750	0,21408	0,978	0,079	0,328
		1990-2009	20	17,76	5,62	15,23410	0,22834	0,975	0,115	0,294
	A	1970-1979	6	15,83	5,55	13,33345	0,23089	0,933	0,104	0,521
		1980-1989	10	19,98	5,96	17,29572	0,21519	0,932	0,139	0,410
		1990-1999	10	16,75	6,26	13,93513	0,20491	0,944	0,116	0,410
		2000-2009	10	18,77	5,02	16,51442	0,25568	0,940	0,126	0,410

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel;  $R^2$ : Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**Cuadro N°60:** FDP de Gumbel, R<sup>2</sup> y KS asociados a intensidades máximas anuales de precipitación para duración de 30 minutos (mm/h) en la Región del BioBío.

Estación	Grupo	Periodo	n	$\bar{x}$	S	FDP Gumbel		R <sup>2</sup>	KS	
						$\mu$	d		D calculado	D tabla
Diguillín	B	1970-1989	17	22,35	7,84	18,82483	0,16355	0,969	0,096	0,318
		1990-2009	20	26,17	5,95	23,49032	0,21540	0,963	0,105	0,294
	A	1970-1979	10	21,95	9,45	17,70074	0,13571	0,959	0,093	0,410
		1980-1989	7	22,93	5,42	20,48662	0,23665	0,875	0,143	0,486
		1990-1999	10	26,39	5,66	23,83975	0,22669	0,836	0,163	0,410
Cerro El Padre	B	1970-1989	20	22,49	6,93	19,37295	0,18506	0,956	0,119	0,294
		1990-2009	20	27,07	6,80	24,01089	0,18875	0,965	0,097	0,294
	A	1970-1979	10	22,30	7,92	18,73170	0,16185	0,869	0,169	0,410
		1980-1989	10	22,69	6,21	19,89271	0,20664	0,969	0,065	0,410
		1990-1999	10	27,93	8,42	24,14213	0,15238	0,873	0,166	0,410
2000-2009	10	26,21	5,00	23,95822	0,25656	0,928	0,011	0,410		
Chillán Viejo	A	1980-1989	8	23,98	7,33	20,67914	0,17500	0,966	0,082	0,457
		1990-1999	10	29,20	9,59	24,87936	0,13372	0,815	0,167	0,410
		2000-2009	10	30,62	12,78	24,86919	0,10037	0,889	0,149	0,410
Embalse Coihueco	B	1970-1989	18	24,63	7,84	21,10667	0,16362	0,972	0,104	0,309
		1990-2009	20	29,28	14,53	22,73594	0,08826	0,983	0,082	0,294
	A	1970-1979	8	23,75	7,99	20,15410	0,16052	0,935	0,130	0,457
		1980-1989	10	25,34	8,07	21,70923	0,15889	0,952	0,110	0,410
		1990-1999	10	21,68	8,25	17,96647	0,15543	0,978	0,064	0,410
2000-2009	10	36,87	15,80	29,76306	0,08119	0,898	0,154	0,410		
Quilaco	B	1970-1989	20	23,57	4,83	21,39189	0,26549	0,950	0,114	0,294
		1990-2009	18	24,42	10,27	19,79551	0,12491	0,802	0,231	0,309
	A	1970-1979	10	23,60	4,73	21,46790	0,27123	0,844	0,166	0,410
		1980-1989	10	23,54	5,19	21,20160	0,24726	0,953	0,092	0,410
		1990-1999	9	25,27	12,24	19,76217	0,10482	0,832	0,227	0,432
2000-2009	9	23,56	8,53	19,72718	0,15042	0,868	0,193	0,432		

Grupo A: División de datos en periodos decadales; Grupo B: División de datos en periodos bi-decadales; n: Número de datos;  $\bar{x}$ : Promedio; S: Desviación estándar;  $\mu$ , d: Parámetros de la FDP de Gumbel; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación (%); D calculado: Valor crítico del test de Kolmogorov-Smirnov; D tabla: Valor tabulado del test de Kolmogorov-Smirnov (\* Indica significancia para  $\alpha = 0,05$ , ajuste no significativo)

**APÉNDICE III:** Diferencias entre medianas obtenidas mediante la prueba de Kruskal–Wallis.

**Cuadro N°61:** Diferencias entre medianas obtenidas mediante la prueba de Kruskal–Wallis para intensidades máximas anuales de precipitación asociadas a una duración de 30 minutos.

<b>Estación</b>	<b>Periodo</b>	<b>Mediana (mm/h)</b>
Melipilla (Esc. Tec.)	1980-1989	16,66 a
	1990-1999	12,19 b
	2000-2009	16,20 a
Embalse Digua	1970-1979	18,60 b
	1980-1989	19,47 b
	1990-1999	21,04 b
	2000-2009	26,38 a
Embalse Coihueco	1970-1979	20,79 b
	1980-1989	24,17 b
	1990-1999	20,48 b
	2000-2009	32,87 a
Embalse Digua	1970-1989	18,94 b
	1990-2009	24,00 a
Diguillín	1970-1989	19,58 b
	1990-2009	26,17 a
Cerro El Padre	1970-1989	20,15 b
	1990-2009	27,36 a

En columna "Mediana (mm/h)", letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas para  $\alpha = 0,05$