



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

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CURVAS
INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF) DE 31 ESTACIONES
PLUVIOGRÁFICAS UBICADAS EN LA ZONA
ÁRIDA Y SEMIÁRIDA DE CHILE**

DAYANNA PAOLA ARAVENA GARRIDO

Memoria para optar al título de
INGENIERA FORESTAL

Profesor Guía: DR. ING. ROBERTO PIZARRO TAPIA

**TALCA-CHILE
2006**



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

La Srta. Dayanna Paola Aravena Garrido, ha realizado la Memoria: “Análisis Comparativo de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de 31 estaciones pluviográficas ubicadas en la Zona Árida y Semiárida de Chile”, como uno de los requisitos para optar al título de Ingeniera Forestal. El Profesor Guía es el Dr. Roberto Pizarro Tapia.

La comisión de Calificación constituida por los profesores Dr. Roberto Pizarro Tapia y la Dra. Ursula M. Doll, han evaluado con nota 6,9 (seis, nueve).

**MARCIA VÁSQUEZ SANDOVAL
DIRECTORA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

Talca, Marzo de 2006

A mis Padres María y Francisco
Y a la pequeña luz que ilumina mi camino
Mi hija Javiera

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma, fueron parte fundamental en este largo camino.

A mi profesor guía, Dr. Ing. Roberto Pizarro, por su tiempo y apoyo entregado en la elaboración de esta memoria.

A mis padres, por su incondicional amor, comprensión e infinita paciencia.

En especial a Tito y Javiera, por llenar mi vida de amor y alegría, y por ser parte del hermoso proyecto de formar una familia.

A la Familia Zúñiga Soto (Don Héctor, Sr. Mónica, Pame y Moni), por acogerme y por el amor incondicional entregado a mi hija Javiera.

A Viki y Andrea, con quienes compartí largas jornadas de estudios y variadas actividades “extra programáticas”, incluidas lagunas mentales. Gracias por su amistad y cariño.

A María Eliana, por darle vida a nuestra escuela y en quien además, encontré a una gran amiga.

A Christian Vidal, por su amistad y las largas charlas inducidas por un cafecito en el GAF.

Y no puedo de dejar de agradecer a los de siempre, con quienes espero seguir compartiendo y arreglando el mundo alrededor de una parrilla.

RESUMEN

La presente memoria analiza el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación a partir de las curvas IDF, para 31 estaciones pluviográficas, distribuidas en parte de la zona árida y semiárida de Chile, abarcando las Regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, Libertador General Bernardo O'Higgins y Maule, entre las latitudes 29°02' y 36°00'.

En primer lugar, se analizaron estadísticamente, a través de la prueba U de Mann – Whitney, las series originales de datos de intensidad máxima de precipitación de cada estación, con las que fueron generadas las curvas IDF, para 1 hora, para establecer entre qué estaciones se presentan diferencias significativas. A su vez, a partir de las curvas IDF, se realizó una comparación gráfica, para la duración de 1 hora y los periodos de retorno de 5 y 100 años, en función de la latitud, longitud y altitud, las que fueron comparadas con la precipitación media anual de cada estación. Por otro lado, se determinó matemáticamente las duraciones en las cuales se cruzan las curvas de algunas estaciones, a través de las expresiones matemáticas que modelan a las curvas IDF.

Así, se detectó que algunas estaciones ubicadas al norte de la zona de estudio, presentaron intensidades similares a las que se registraron en el sur de la zona de estudio. Por otro lado, la variabilidad de las intensidades, fue mayor en las estaciones ubicadas al norte de la zona de estudio. En cuanto al comportamiento gráfico, éste es levemente ascendente en magnitud de norte a sur y no guarda relación directa con la precipitación media anual; y no se observó un patrón definido en función de la longitud y altitud. Asimismo, se detectó que las estaciones cercanas a lagos y embalses, en general denotaron las intensidades más altas de sus zonas.

SUMMARY

The present study analyzes the behaviour of the maximum intensities of precipitation from IDF curves, of 31 pluviograph stations, partly distributed of the arid and semi-arid zone of Chile, including Coquimbo, Valparaíso, Metropolitan, Libertador General Bernardo O'Higgins and Maule Regions, between the latitudes $29^{\circ}02'$ and $36^{\circ}00'$.

To begin with, they were analyzed statistically, through the test U of Mann - Whitney, the original series of data of maximum intensity of precipitation of each station, with which IDF curves were generated, for 1 hour, to establish between what stations significant differences appear. A graphical comparison from IDF curves was made, as well, for the duration of 1 hour and the periods of return of 5 and 100 years, based on the latitude, length and altitude, they were compared with the annual average precipitation of each station. On the other hand, it was mathematically determined the duration in which the curves of some stations converged, through the mathematical expressions that model the IDF curves.

Thus, it was detected that some stations located to the north of the study zone, showed similar intensities which were registered in the south of the study zone. On the other hand, the variability of the intensities was greater in the stations located to the north of the study zone. The graphical behaviour is slightly ascending in magnitude from north to south and it does not keep direct relation with the annual average precipitation; and a defined pattern based on the length and altitude was not observed. There was also, detected that the stations near lakes and dams, in general, showed the highest intensities of their zones.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. ANTECEDENTES GENERALES	4
3.1 Descripción de las Zonas Áridas y Semiáridas	4
3.2 Situación de las Zonas Áridas y Semiáridas de Chile	5
3.2.1 Región de Coquimbo	6
3.2.2 Región de Valparaíso	7
3.2.3 Región Metropolitana	9
3.2.4 Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	11
3.2.5 Región del Maule	12
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	14
4.1 Características de las precipitaciones en Chile	14
4.1.1 Intensidad de precipitación y duración	15
4.1.2 Frecuencia y Periodo de Retorno	16
4.2 Definición de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)	17
4.3 Aplicación de las Curvas IDF	19
4.4 Estudios realizados en torno a las Curvas IDF	20

5. METODOLOGÍA	24
5.1 Etapas del Estudio	24
5.1.1 Revisión Bibliográfica	24
5.1.2 Recolección de la información requerida	24
5.1.3 Comparación estadística entre las distintas estaciones, para las series originales de intensidades máximas de precipitación	29
5.1.4 Determinación de parámetros e índices para las series de datos originales	33
5.1.5 Comparación Gráfica de las Intensidades Máximas de Precipitación a partir de las Curvas IDF	35
5.1.6 Cálculo de las probabilidades de excedencia para distintas intensidades	36
5.1.7 Análisis de los modelos matemáticos ajustados	37
5.1.8 Presentación de Resultados	38
5.1.9 Análisis de Resultados	39
5.1.10 Conclusiones y Recomendaciones	39
5.2. Materiales	39
6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	40
6.1.- Comparación estadística entre las distintas estaciones, para las series originales de intensidades máximas de precipitación	40
6.1.1 Comparación a través de la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney	41
6.1.2 Determinación de parámetros e índices para las series de datos originales	44
6.2 Comparación Gráfica de las Intensidades Máximas de Precipitación a partir de las Curvas IDF	46

6.2.1 Cálculo de las probabilidades de excedencia para distintas intensidades	53
6.3 Análisis de los modelos matemáticos ajustados	55
6.3.1 Análisis de las expresiones matemáticas ajustadas para el mismo periodo de retorno	57
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
7.1 Análisis del comportamiento de las series de datos originales	61
7.2 Análisis de las intensidades máximas de precipitación en 1 hora, para los periodos de retorno de 5 y 100 años.	68
7.2.1 Análisis latitudinal	68
7.2.2 Análisis longitudinal	69
7.2.3 Análisis altitudinal	71
7.3 Análisis de las Probabilidades de excedencia para distintas intensidades	72
7.4 Influencia de los embalses y lagos en el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación	73
7.5 Análisis de los modelos matemáticos ajustados	76
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
8.1 Conclusiones	80
8.2 Recomendaciones	82
9. BIBLIOGRAFÍA	83

APÉNDICES

Apéndice 1 Series de intensidades máximas de precipitación para 1 hora

Apéndice 2 Supuestos del Análisis de Varianza

Apéndice 3 Resultados de los valores p para la Prueba U de Mann
Whitney entre Regiones

Apéndice 4 Intersección de Curvas IDF entre Regiones

ANEXOS

Anexo 1 Resumen estadístico para las distintas estaciones

Anexo 1 Ubicación espacial de las estaciones por Región

1.- INTRODUCCIÓN

La vasta y variada geografía de Chile, permite que en el país exista una gran diferencia en cuanto a cantidad y distribución de las precipitaciones, las que aumentan considerablemente de norte a sur del país. En general, las precipitaciones corresponden a la principal aportación de agua a una cuenca y pueden representar tanto beneficios como costos, pues por un lado aportan al desarrollo de una zona, siendo un elemento vital para el asentamiento de poblaciones humanas y, por otro lado, cuando ocurren fenómenos extremos, como precipitaciones elevadas en períodos muy cortos, pueden ocasionar serios problemas.

En este contexto, el conocer el comportamiento de las precipitaciones representa un elemento importante a la hora de realizar estudios hidrológicos; ello, porque un incremento en el monto de las precipitaciones, resulta en un aumento en el volumen de escorrentía y por consiguiente en un mayor caudal.

Los eventos extremos, con intensidades de precipitación muy altas, son poco frecuentes, pero cuando ocurren pueden provocar desastres tales como inundaciones, las que pueden ser generadas por colapsos en los sistemas de drenaje urbano o desbordes de ríos; y también deslizamientos de laderas en casos más severos. Estos problemas se pueden mitigar o evitar con un buen diseño de obras hidráulicas, los que requieren del conocimiento de las intensidades máximas de precipitación (Espíldora, 1971; Mintegui y López, 1990; Llamas, 1993, Willems 2000)

Una forma de caracterizar las precipitaciones, lo constituye la intensidad de precipitación, que representa la cantidad de lluvia caída en función del tiempo, expresada normalmente en mm/h. En este sentido, se puede relacionar dicha

intensidad con la frecuencia con que ocurre y con la duración a través de técnicas estadísticas que relacionan estas tres variables, obteniéndose así las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (Curvas IDF), las que están construidas en base a intensidades máximas. Luego las Curvas IDF, juegan un rol importante, al permitir establecer intensidades de diseño, asociadas a un periodo de retorno y a una determinada duración de lluvia.

En este marco y como una forma de contribuir a la adecuada utilización de los recursos hídricos, es que el Departamento de Gestión Forestal y Ambiental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Talca, junto con la Dirección General de Aguas (DGA), se plantearon como objetivo construir Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia para distintas estaciones distribuidas entre la IV y VII Regiones del país.

Actualmente estas estaciones cuentan con sus respectivas Curvas IDF, así como también con las expresiones matemáticas que las modelan y por ello, la presente memoria pretende analizar el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación, para las cinco regiones en estudio, las que comprenden un total de 31 estaciones pluviográficas. Con ello se espera determinar algún patrón de conducta que permita explicar el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación en parte de la zona árida y semiárida de Chile.

2.- OBJETIVOS

2.1.- Objetivo General.

Contribuir a un mayor conocimiento de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (Curvas IDF), en zonas áridas y semiáridas de Chile, ubicadas entre las regiones IV y VII, y su comportamiento en base a su distribución espacial.

2.2.- Objetivos Específicos.

- Determinar la existencia de relaciones entre intensidades máximas de precipitación, duración y frecuencia con respecto a la latitud, longitud y altitud.
- Establecer análisis comparativos entre las intensidades máximas de precipitación de las zonas áridas y semiáridas del país.

3.- ANTECEDENTES GENERALES

3.1.- Descripción de las Zonas Áridas y Semiáridas.

En el planeta, los ambientes áridos y semiáridos son extremadamente diversos y varían en función de distintos factores, tales como la ubicación geográfica, el relieve, el suelo, la flora, la fauna y las actividades humanas, entre otras (FAO, 1989). Por ello, es difícil establecer una definición práctica para estos tipos de ambientes. Sin embargo, un elemento común para estas zonas, es la carencia de agua en cantidades suficientes como para satisfacer necesidades básicas (Pizarro, 1999).

Esta carencia de agua, puede ser representada a través del índice de aridez, que corresponde al cociente entre la precipitación y la evapotranspiración potencial ($I = P/ETP$). De esta forma, se define como zona árida a aquella donde el valor del índice de aridez se encuentra entre 0,03 y 0,20 y como zona semiárida, a aquella donde el índice fluctúa entre 0,20 y 0,50 (FAO, 1989).

Otra característica de los ambientes áridos y semiáridos, lo constituye el alto grado de desertificación que presentan estas zonas. Este concepto, fue definido en la Conferencia de Nairobi en 1977, como “el conjunto de factores geológicos, climáticos, biológicos y humanos que provocan la degradación de la calidad física, química y biológica de los suelos de las zonas áridas y semiáridas poniendo en peligro la biodiversidad y la supervivencia de las comunidades humanas” (UNCOD, 1977).

3.2.- Situación de las Zonas Áridas y Semiáridas de Chile.

Según el MINAGRI, citado por Benedetti y Valdebenito (1997) las zonas áridas y semiáridas de Chile comprenden una superficie aproximada de 16,5 millones de hectáreas, lo que representa un 22% de la superficie total del país. La zona árida se distribuye desde la Región de Tarapacá hasta la Región de Atacama. Por otro lado, la zona semiárida se extiende desde la cuenca del río Copiapó, hasta el río Itata, en la Región del Bio Bio.

Estas Regiones concentran al 70% de la población del país, es decir 10.581.500 habitantes aproximadamente según el CENSO del año 2002, de las cuales, el 56% de ellas vive en un medio rural (INE, 2005).

En el país, la zona árida presenta una pluviometría anual que fluctúa entre 1 y 200 mm, donde la disponibilidad de agua se ve disminuida por las altas temperaturas y tasa de radiación. En cambio, la pluviometría de la zona semiárida fluctúa entre 200 y 1000 mm, y se caracteriza por presentar períodos de sequía de hasta 8 meses, los que se ven alternados con intensas lluvias, que se caracterizan por un alto grado de torrencialidad.

La vegetación nativa en los sectores áridos, se caracteriza por ser escasa y compuesta principalmente por hierbas anuales y arbustos pequeños. En tanto, en las zonas semiáridas es más variada, representada por hierbas, arbustos y árboles (FAO, 1989).

3.2.1.- Región de Coquimbo.

Dentro de las Regiones en estudio destaca la IV Región de Coquimbo, ubicada entre los 29°20' y 32°15' de latitud sur, la que comprende una superficie de 4.068.729,8 de hectáreas, equivalente al 5,4% de la superficie total del país. Se encuentra conformada por tres provincias, Elqui con 1.696.267,4 ha, Limarí con 1.358.612,9 ha y Choapa con 1.013.849,5 ha.

Del total de la superficie regional, el 77,5% corresponde a praderas y matorrales, el 17,8% a áreas desprovistas de vegetación y el 4,1% a terrenos agrícolas. Según CONAF – CONAMA VI Región (1999), la Región cuenta con 1.610,1 ha de bosque nativo, el que se caracteriza por dos tipos forestales: Esclerófilo que representa el 99,9% y el Siempreverde con un 0,1%. Además presenta 1.839,9 ha de plantaciones y 64,7 ha con bosque mixto.

Esta Región se caracteriza por la presencia de cordones montañosos que se orientan en sentido Oeste – Este, los que se extienden hasta las planicies litorales, dando paso a tres importantes valles transversales: el Elqui, el Limarí y el Choapa, los cuales por sus características edafoclimáticas permiten el desarrollo de la actividad agropecuaria (CONAMA, 2005). Cuenta además con otras unidades de relieve como la Cordillera de los Andes, caracterizada por alturas uniformes y por la ausencia de volcanes; y el Litoral Costero, que presenta alturas inferiores a los 600 m.s.n.m., compuesto por amplias terrazas marinas. (http://www.gorecoquimbo.cl/descargas/edr/cap2_2.pdf)

En cuanto al clima, la Región es considerada como de transición entre las zonas áridas y semiáridas, presentando climas tales como estepa costero o nuboso, que se encuentra a lo largo de toda la costa; estepa cálido al interior, por

sobre los 800 m.s.n.m. y templado frío de altura, que se localiza por sobre los 3.000 m de altitud (DMC, 2005).

Las precipitaciones en la zona son escasas, variando desde 150 a 350 mm al año, presentando además períodos secos de 8 a 9 meses. Por ello, el aporte de agua en períodos estivales proviene principalmente de la Cordillera de los Andes, lugar donde nacen los tres principales ríos de la Región, el Elqui, que abarca una superficie de 9.657 Km² y un caudal de 7,13 m³/s; el Limarí, con una superficie de 11.760 Km² y un caudal de 7,34 m³/s y el Choapa, que cuenta con una superficie de 8.124 Km² y un caudal de 8,73 m³/s. Estos ríos son los que definen los valles transversales y presenta un régimen de alimentación mixto.

Por otra parte, la Región de Coquimbo dispone de algunos embalses: el Puclaro con 200 millones de m³ y La Laguna con 40 millones de m³, los que son abastecidos por el río Elqui; Recoleta con 100 millones de m³, Cogotí con 150 millones de m³ y La Paloma con 740 millones de m³, que son abastecidos por el río Limarí y permiten el riego de cultivos en el valle y el funcionamiento de la central hidroeléctrica Los Molles; el embalse Corrales, que presenta una capacidad de 50 millones de m³ y es abastecido por el río Illapel y el embalse Culimo, de 10 millones de m³ de capacidad, abastecido por el río Choapa.

3.2.2.- Región de Valparaíso.

La V Región de Valparaíso, perteneciente a la zona central del país se localiza entre los 32°02' y los 33°57' de latitud sur. Abarca una superficie de 1.603.144,5 hectáreas, que corresponde al 2,2% de la superficie total del país, distribuidas en seis provincias, Petorca con 460.781,2 ha, San Felipe con

265.516,8 ha, Quillota con 165.780,6 ha, Los Andes con 251.815,2 ha y San Antonio con 151.963,9 ha.

En relación a la categoría de uso del suelo que presenta la Región, CONAF – CONAMA V Región (1999) señala que el 59,6% pertenece a Praderas y Matorrales, el 13,9% a Áreas Desprovistas de Vegetación y el 11,5% a Terrenos Agrícolas . La superficie de Bosque Nativo presente en la zona corresponde a 95.312,9 ha, distribuidas principalmente entre las provincias de Valparaíso, San Antonio y Quillota, siendo el tipo forestal más importante el Esclerófilo, que representa al 98,3% del total de Bosque Nativo, seguido por el Siempreverde con 1,0% y el Roble – Hualo con 0,7%. Por otra parte las plantaciones y bosque mixto comprenden superficies de 65.012,8 ha y 149,6 ha respectivamente.

El relieve de la zona, se caracteriza por una gran variabilidad, pues en el extremo norte de la Región, se observan las últimas manifestaciones de los valles transversales, representados por los valles de los ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua, mientras que hacia el sur se distinguen tres unidades de relieve, la Cordillera de los Andes, que puede sobrepasar los 5.000 m.s.n.m.; la Depresión Intermedia, que hace su aparición en esta Región y la Cordillera de la Costa (CONAMA, 2005).

El clima de la zona, al igual que su relieve, es muy variado. Esto se debe a que la Región de Valparaíso se encuentra inserta en una zona de transición entre el norte y el centro del país, lo que ocasiona que al norte del río Aconcagua, se observe la presencia del clima de estepa cálido, mientras que en el resto de la Región, el clima que prima es el mediterráneo, el que se caracteriza por presentar estaciones bien definidas. Es así como a lo largo de la costa el clima predominante es el mediterráneo templado costero; hacia el interior se encuentra

el clima mediterráneo templado cálido y en la Cordillera de los Andes, por sobre los 3.000 m de altura, se encuentra el clima frío de altura (DMC, 2005).

En cuanto a las precipitaciones medias anuales, éstas presentan un aumento, si se compara con la Región anterior, siendo de 150 mm en el extremo norte y de 250 mm al interior, mientras que a lo largo del sector costero éstas pueden superar los 450 mm, Además, se puede destacar la gran presencia de cursos de agua en la zona, siendo los principales ríos el Aconcagua, que presenta una superficie de 7.163 Km² y un caudal medio de 33,0 m³/s; La Ligua con una superficie de 1.900 Km² y un caudal medio de 1,10 m³/s y el río Petorca con 2.669 Km² de superficie y un caudal medio de 39,0 m³/s. Esto ríos tienen su origen en la Cordillera de los Andes, por lo que presentan un régimen de alimentación mixta. Esta Región, también cuenta con algunos embalses como el Embalse Lliu Lliu y el Lago Peñuelas, los que tienen una capacidad de 2 y 95 millones de m³ respectivamente (CONAMA, 2005).

3.2.3.- Región Metropolitana.

La Región Metropolitana, se ubica entre los 32°55' y los 34°19' de latitud. Comprende una superficie de 1.550.657,8 ha, que representa un 2,0% del territorio nacional. Está compuesta por 6 provincias, Chacabuco con 208.293 ha, Santiago con 204.291,7 ha, Cordillera con 557.465,6 ha, Melipilla con 406.773,8 ha, Talagante con 60.366,6 ha y Maipú con 113.467,1 ha. En esta Región, se encuentra la ciudad de Santiago, que además de ser la capital regional es la capital del país.

Según CONAF – CONAMA Región Metropolitana (1999), las principales categorías de uso de suelo presentes en la Región corresponden a Praderas y

Matorrales, que cubren 611.436,2 ha, seguidas de Áreas desprovistas de Vegetación, con 435.6118,3 ha y los Terrenos para uso Agrícola que abarcan 256.857,6 ha. En cuanto a la superficie de Bosque Nativo presente en la Región, ésta comprende 93.454 ha, donde el tipo forestal más importante corresponde al Esclerófilo, representado por un 92,9%, seguido por Roble – Hualo con un 7% y finalmente por Ciprés de Cordillera, con solo un 0,1%. A su vez, las Plantaciones Forestales y el Bosque Mixto comprenden superficies de 4.884,7 ha y 72,7 ha respectivamente.

El relieve que presenta esta zona, se caracteriza por la presencia de tres unidades bien definidas: la Cordillera de la Costa, con alturas sobre los 2.000 m.s.n.m.; la Depresión Intermedia, abarca una longitud de 80 km en sentido Norte-Sur, donde se encuentra la Cuenca de Santiago que corresponde al sector más urbanizado del país, y finalmente la Cordillera de los Andes, la que cuenta con sectores donde las alturas superan los 5.000 m.s.n.m. (CONAMA, 2005).

En ésta Región destaca la presencia de dos tipos de clima; el templado mediterráneo cálido con lluvias invernales y una estación seca prolongada entre 7 y 8 meses, que se desarrolla casi en toda la Región y el clima frío de altura, que se localiza en la Cordillera de los Andes por sobre los 3.000 m de altura (DMC, 2005).

Por otra parte, las precipitaciones alcanzan un promedio anual de 350 mm y van en disminución desde la costa hacia el interior, para luego aumentar en la Cordillera de los Andes. Una característica relevante de las precipitaciones de esta Región, y en general en toda la zona central del país, es la gran irregularidad que se observa entre un año y otro, presentándose periodos muy secos y otros extremadamente lluviosos.

En relación a la hidrología de la Región, el principal curso de agua corresponde al río Maipo, que presenta una hoya de 15.380 kilómetros cuadrados y un caudal medio anual de 92,3 m³/seg. Su régimen de alimentación es mixto, presentando dos crecidas anuales; una en invierno, provocada por las precipitaciones y otra en primavera, por los deshielos cordilleranos. Además, presenta aportes de los ríos Mapocho, Yeso y Colorado (CONAMA, 2005).

3.2.4.- Región del Libertador General Bernardo O'Higgins

La VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, se localiza entre los 34° y los 35° de latitud sur. Presenta una superficie de 1.629.614 ha, que representa al 2,2% de la superficie total del país. Se encuentra conformada por 3 provincias: Cardenal Caro, con 331.624,9 ha; Cachapoal con 733.019,1 ha y Colchagua con 564.970 ha.

De la superficie regional, el 36,3% está cubierto por Praderas, seguido de Terrenos Agrícolas con un 26,5% y Áreas Desprovistas de Vegetación con un 16,2%. Además la Región cuenta con 117.798,3 ha de Bosque Nativo, siendo el tipo forestal más importante el Esclerófilo, representado por un 82,4%, seguido por el Roble-Hualo, con 15,5% y Ciprés de la Cordillera con un 2,1%. También cuenta con 100.930 ha de Plantaciones Forestales, de las cuales 0,7% pertenecen a Bosque Mixto (CONAF- CONAMA VI Región, 1999).

En relación al relieve, esta Región se caracteriza por presentar cuatro unidades de relieve bien definidas: las Planicies Litorales, de gran extensión entre la costa y la unidad siguiente; la Cordillera de la Costa, con altitudes que alcanzan los 2000 m.s.n.m.; la Depresión Intermedia, que abarca desde Angostura de Paine, hasta Angostura de Pelequén, conformando la cuenca de Rancagua y

finalmente la Cordillera de los Andes, que presenta altitudes entre los 3.000 a 4.000 m.s.n.m. (CONAMA, 2005).

En cuanto al clima, es posible distinguir tres tipos; el templado nuboso, que predomina en el litoral; el templado mediterráneo cálido con estación seca prolongada, característico de la Depresión Intermedia; y por sobre los 3.500 m.s.n.m. se observa la presencia del clima frío de altura y la presencia de nieves eternas (DMC, 2005).

Por otra parte, las precipitaciones alcanzan un promedio de 563 mm anuales y presentan un aumento a medida que se avanza hacia el sur. Éstas a su vez, son mayores en la costa y en la Cordillera de los Andes, debido al relieve que no permite la entrada a los vientos húmedos oceánicos, Además el sistema hidrográfico de esta Región se encuentra conformado por el río Rapel, el que presenta como afluentes a los ríos Cachapoal y el Tinguiririca, todos de origen andino, dando origen al embalse Rapel, en el sector denominado la Junta (CONAMA, 2005).

3.2.5.- Región del Maule

La VII Región del Maule se localiza entre los 34° 50' y los 36° de latitud sur y presenta una superficie de 3.035.593,1 ha, las que representan un 4,4% de la superficie total del país. Está conformada por 4 provincias: Curicó, con 729.675,7 ha; Talca, con 995.520,4 ha; Cauquenes, con 302.420,8 ha y Linares, con 1.007.976,2 ha.

En cuanto a la categoría de uso de suelo que presenta la zona, el 27,0% de la superficie está cubierto por Praderas y Matorrales, seguido por Bosques con un

26,2% y Terrenos Agrícolas con 23,4%. De la superficie de Bosque, 370.329 ha corresponden a Bosque Nativo, donde los tipos forestales más importantes son el Roble-Raulí-Coihue, con un 42,8% y Roble-Hualo con un 40%, seguido por los tipos Esclerófilo, Lengua, Ciprés de la Cordillera y Siempreverde, con 11,1%; 3,7%; 2,1% y 0,2% respectivamente. Además cuenta con 413.335,5 ha de Plantaciones y 12.292,2 ha de Bosque Mixto (CONAF – CONAMA VII Región , 1999).

Esta Región también presenta cuatro unidades de relieve bien definidas, a saber, Las Planicies Litorales, que alcanzan los 200 m de largo; la Cordillera de la Costa, que a diferencia de la Región anterior, se presenta baja con alturas que no superan los 900 m de altura; la Depresión Intermedia, que se caracteriza por su gran extensión y la Cordillera de los Andes, en la que se observa gran presencia de vulcanismo (CONAMA, 2005).

El clima de la Región pertenece al templado mediterráneo. Así, se puede observar que en la costa predomina el clima templado mediterráneo costero, el que presenta temperaturas moderadas todo el año; el interior se caracteriza por la presencia del clima templado mediterráneo cálido y en la Precordillera de los Andes, por bajo los 2.000 m de altura, se da un clima templado mediterráneo de altura, además del clima frío de altura en la Cordillera de los Andes (DMC, 2005).

En lo que a precipitaciones se refiere, éstas varían entre 500 mm al año en el Norte de la Región, hasta los 1270 mm al Sur. Además, esta zona cuenta con dos sistemas hidrográficos: el río Mataquito y el río Maule, ambos de origen andino. El primero se ubica al Norte de la Región y presenta una hoya de 6.200 Km², con un caudal medio de 153 m³/s, siendo los ríos Teno y el Lontué sus principales afluentes; el segundo se ubica al Sur y presenta una hoya de 20.300 km², con un caudal medio de 467 m³/s y tiene como afluentes a los ríos Puelche, Los Cipreses, Claro, Melado y Loncomilla (CONAMA, 2005).

4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1.- Características de las precipitaciones en Chile.

En Chile, las precipitaciones se caracterizan por presentar cierto grado de torrencialidad, principalmente en las zonas áridas y semiáridas. En el norte del país, cada cierto tiempo, ocurren aguaceros capaces de generar serios problemas a la población, incluso aluviones (Gobierno de Chile, 2004).

El comportamiento de las precipitaciones se ve afectado por diversos factores, entre ellos la latitud y la altitud, aunque esta última es considerada como secundaria con relación a la primera, por la gran variedad de climas que abarca el país, producto que se extiende entre los 17°30' y los 56°30' de latitud sur en Sudamérica y hasta los 90° de latitud sur, si se considera el Territorio Antártico Chileno. También se debe considerar la influencia marítima presente a lo largo de todo el país y la longitud asociada a la altura del relieve, representada por la Cordillera de la Costa y la de los Andes, esta última con alturas que superan los 5.000 y 6.000 m.

Para evaluar adecuadamente el comportamiento de las precipitaciones, Monsalve (1999) señala que es necesario conocer las relaciones entre cuatro características fundamentales de éstas: la intensidad, la duración, la frecuencia y su distribución.

4.1.1.- Intensidad de precipitación y duración.

Las lluvias intensas son aquellas que registran un gran volumen de agua precipitada en un breve espacio de tiempo. Este tipo de precipitación, puede causar perjuicios materiales y humanos considerables (<http://www.cprm.gov.br/geo/chuvas.html>, 2005).

Para Chow *et al* (1994), la intensidad de precipitación corresponde a las diferencias sucesivas de las medidas de precipitación acumuladas (dP), divididas por el intervalo de tiempo (dt).

Por otra parte, el mismo autor señala que, la intensidad máxima se determina calculando las intensidades corrientes, pertenecientes a una serie de datos para un intervalo de tiempo determinado, para luego seleccionar el valor máximo de ese conjunto de datos. Remenieras (1971), señala que la observación simple, muestra que la intensidad de precipitación es mayor mientras más corta es su duración.

En cuanto a la duración de un evento de precipitación, Pereyra *et al* (2004), la definen como el tiempo que transcurre desde que se inicia la precipitación hasta que ésta cesa.

Para Mintegui y Robredo (1993), citado por Román (2003), uno de los principales problemas para determinar la intensidad de precipitación es la falta de disponibilidad de pluviógrafos, aparatos que proporcionan datos con intervalos de tiempo muy cortos. Debido a esta situación, lo que se utiliza normalmente son pluviómetros, que miden las alturas totales para intervalos grandes, generalmente 24 horas, asumiendo con esto, que el comportamiento de la intensidad en ese intervalo de tiempo es constante.

4.1.2.- Frecuencia y Periodo de Retorno.

Otra variable en estudio corresponde a la frecuencia, la que según Coras *et al* (2001), es la repetición de eventos de características similares en intensidad y duración. Esta definición va en directa relación con el periodo de retorno, el que se define como el número de años promedio que transcurre para que un evento sea igualado o excedido (Linsley *et al*, 1977).

Pizarro, *et al* (1986), definen al periodo de retorno (T) como el inverso de la probabilidad de ocurrencia de un evento x, el que se expresa de la siguiente forma

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)}$$

Para los mismos autores, uno de los principales problemas a la hora de diseñar obras de ingeniería, es la determinación del periodo de retorno, el que se debe basar en criterios tanto económicos como los relacionados con la vida útil de la obra, la protección de la vida humana, el tipo de estructura y la facilidad de reparación de la obra, entre otros.

Para Stappung (1999), el periodo de retorno para el diseño de sistemas de evacuación de aguas lluvias, dependerá del grado de seguridad ante las inundaciones que requiera la ciudadanía, del comportamiento de las precipitaciones, de los caudales involucrados y de la consecuencia de que éstos excedan la capacidad de las obras, así como también el costo asociado a las mismas. En este sentido, el período de retorno considerado será mayor, cuanto mayor sea la importancia y la repercusión social, ecológica y económica de la obra. Por ello, la necesidad de disponer de amplios períodos de retorno contrasta con la disponibilidad de series de datos climatológicos, por lo que es necesario recurrir a estimaciones estadísticas.

4.2.- Definición de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).

En relación a las Curvas IDF, Nanía (2003) señala que, son curvas que relacionan la intensidad de la lluvia con su duración, donde para cada periodo de retorno, se tiene una curva diferente.

Una definición similar es la que entrega Benítez, citado por Abarza (2001), quien afirma que estas curvas corresponden a la representación gráfica de la relación que existe entre la intensidad y la duración, asociado a la frecuencia o periodo de retorno de la precipitación.

Témez (1978) por su parte las define como, aquellas curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno.

Una definición más detallada es la entregada por Mintegui y López (1990), los que señalan que las Curvas IDF representan a las duraciones en las abscisas y a la altura o intensidad de precipitación en las ordenadas, donde cada curva representada corresponde a una frecuencia (o periodo de retorno), de tal forma que las gráficas de estas curvas representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los puntos de una misma curva a un idéntico periodo de retorno.

La Figura 4.1 muestra gráficamente la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia o periodo de retorno. En ella se observa que la intensidad decrece a mayor duración y su vez, para una tormenta de cualquier duración se tendrá mayor intensidad a mayor período de retorno. Las curvas intensidad – duración – frecuencia, son una de las herramientas más útiles para el diseño

hidrológico de caudales máximos, cuando se utilizan modelos lluvia-escorrentía como los hidrogramas unitarios o el método racional (Nanía, 2003).

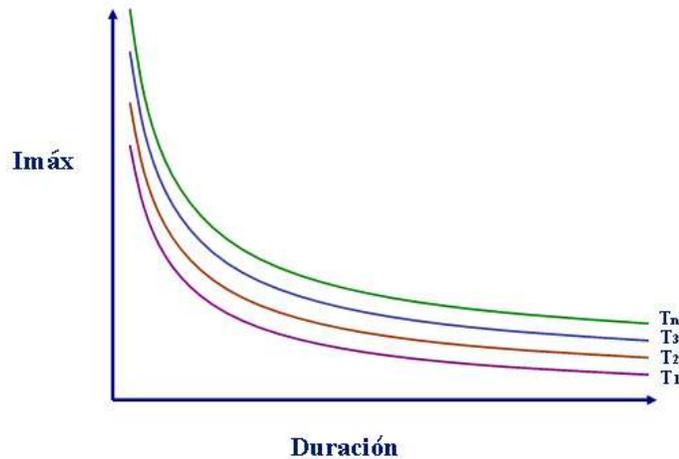


FIGURA 4.1 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de estas curvas, es necesario realizar análisis de frecuencias de lluvias intensas. En este sentido, la distribución más utilizada es la de valores extremos tipo I o de Gumbel (Chow *et al* 1988, Varas 1988; Mintegui y Robredo, 1993; Fernández, 1995; Bedient y Huber, 1992; Llamas, 1993; Maidment, 1993).

Mintegui y López (1990), citados por Pavez (2004), plantean que esta distribución ha sido empleada con buenos resultados en el estudio de eventos meteorológicos de valores máximos diarios y anuales, obteniéndose así, ajustes precisos.

Es importante señalar que la construcción de las Curvas IDF se realiza en base a los datos provenientes de pluviogramas de una determinada estación. Asimismo, las intensidades que se obtienen para cada duración, derivados del

análisis realizado a los pluviogramas, son características para cada zona. (López Cadenas, 1998).

4.3.- Aplicación de las Curvas IDF

Entre las variadas aplicaciones que se le pueden dar a las Curvas IDF, destaca la construcción de las tablas de uso práctico. Estas permiten estimar las intensidades máximas de precipitación para distintas duraciones y periodos de retorno, relacionando la intensidad de precipitación de 1, 2, 4...12 h, con la intensidad de 24 h, puesto que las precipitaciones diarias son las más comunes de obtener, permitiendo así extrapolar estas relaciones a zonas donde no se cuenta con datos pluviográficos (Abarza, 2001).

Para Willems (2000), citado por Pereyra (2004), las Curvas IDF son herramientas ampliamente utilizadas en el área de ingeniería, ya sea para la planificación, el diseño y la ejecución de proyectos hidráulicos, así como también para el control de avenidas máximas.

Espíldora (1971), indica que el conocimiento de estas curvas es imprescindible para el diseño de numerosas obras hidráulicas de control y evacuación de crecidas, siendo muy utilizadas en la construcción de sistemas de alcantarillado y colectores de aguas lluvias de sectores urbanos, así como también, en sistemas de drenajes de caminos y de aeropuertos. Esto es posible, pues conocidas las curvas IDF, se pueden obtener las intensidades de diseño específicas para cada zona, las que permiten el dimensionamiento de dichas obras (Asociación Catalana de Ingeniería Sin Fronteras, 2002).

Por otra parte, Román (2003) señala que estas curvas también son utilizadas en estudios de erosión y para el diseño de obras de conservación de suelos, tales como zanjas de infiltración, canales de desviación, diques y otras obras destinadas al control de la erosión y recuperación de suelos degradados, en las que se hace necesario conocer las intensidades máximas de precipitación, para así poder dimensionar dichas obras. En este sentido, Pizarro *et al* (2005), recomiendan utilizar una intensidad de 1 hora para la construcción de zanjas de infiltración, con un periodo de retorno de acuerdo al horizonte de planificación asociado a la plantación forestal, valores que se obtienen de tales curvas.

4.4.- Estudios realizados en torno a las Curvas IDF

Es importante destacar que en el último tiempo se han generados grandes desastres provocados por precipitaciones intensas en periodos de tiempo muy cortos, los que van desde inundaciones provocadas por colapsos en los sistemas de drenajes urbanos, hasta aluviones y socavamientos de caminos, como el ocurrido en Ensenada (XI Región), en el año 1995, con pérdidas de vidas humanas. A pesar de todos estos problemas y de conocer las ventajas de un buen diseño hidrológico, a nivel nacional son escasos los estudios desarrollados en torno a las curvas IDF.

Espíldora (1971), citado por Abarza (2001), elaboró las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para algunas ciudades chilenas, a saber, Santiago, Chillán, Talcahuano y Valdivia. En este estudio se obtuvieron coeficientes generalizados de duración y frecuencia, los que fueron contrastados con el estudio realizado por Bell (1969), citado por Llamas (1993), que permiten calcular lluvias de otras duraciones e igual período de retorno, conociendo la lluvia de una hora de duración y 10 años de período de retorno. Estos factores son válidos para

duraciones de lluvia entre 5 minutos y 2 horas, y para períodos de retorno entre 2 y 100 años.

Por otra parte Durán (1989), citado por De Fraja (1993), generó las curvas IDF para la ciudad de Los Ángeles, a partir de los datos de la estación del mismo nombre, proporcionados por la Dirección General de Aguas.

Por su parte, el mismo autor señala que para las ciudades de Concepción-Talcahuano, se han desarrollado dos trabajos para obtener sus respectivas curvas IDF. El primero fue desarrollado por Varas y Sánchez en el año 1983, los que calcularon estas curvas para dichas ciudades, utilizando la información de la estación Carriel Sur de la Dirección Meteorológica de Chile. Mientras que el segundo estudio estuvo a cargo de Celis en 1984, el que generó curvas en base a la estación meteorológica Bellavista, dependiente del Departamento de Física de la Universidad de Concepción.

Entre los estudios más recientes, destacan los realizados por Abarza (2001), quién generó una serie de curvas IDF para seis estaciones pluviográficas de la Región del Maule; Román (2003) quien confeccionó las curvas IDF para cinco estaciones pluviográficas de la Región Metropolitana; Pavez (2004), quien también construyó curvas para otras seis estaciones de la Región del Maule; Macaya (2004), que generó curvas IDF para cuatro estaciones de la Región de Valparaíso y para tres estaciones de la Región del Gral. Libertador Bernardo O'Higgins y Cornejo (2004), que determinó dichas curvas para siete estaciones de la Región de Coquimbo. En todos estos casos, la elaboración de las curvas se hizo en base a bandas pluviográficas proporcionadas por la Dirección General de Aguas (DGA); mientras que la metodología utilizada fue la propuesta por Témez (1978), el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno, con

el propósito de graficar la relación entre las tres variables, es decir, intensidad, duración y frecuencia.

En países como Ecuador, las Curvas IDF han sido utilizadas en la prevención de flujos de lodo y escombros, comúnmente conocidos como aluviones. Esto se realiza por medio de la interpretación de eventos históricos, las que en conjunto con el análisis de estas curvas han permitido determinar puntos de riesgo, dentro de las distintas microcuencas que rodean a la ciudad de Quito. (Zevallos, 1996).

Una particularidad de las Curvas IDF, es que se pueden expresar como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de las intensidades de precipitación en una gráfica (Chow *et al*, 1994).

El planteamiento de las primeras relaciones matemáticas, que modelan a dichas curvas, data desde el inicio de los años treinta del siglo pasado, y fueron realizadas por Sherman en 1931 y Bernard en 1932 (Pereyra *et al*, 2004). Para Remenieras (1971), estos modelos han conducido a numerosos investigadores del mundo a generar diversas expresiones matemáticas que simulan las curvas IDF, las que se presentan a continuación:

$$I = \frac{KT^m}{(D+b)^n}, \text{ Modelo Propuesto por Sherman, (1931)}$$

$$I = \frac{KT^m}{D^n}, \text{ Modelo propuesto por Bernard, (1932)}$$

$I = \frac{a}{D+b}$, Modelo propuesto por Linsley *et al*, (1949), para duraciones entre 5 y 20 minutos.

$I = \frac{c}{D^n}$, Modelo propuesto por Linsley *et al*, (1949), para duraciones superiores a 60 minutos.

$I = \frac{K}{D^n + b}$, Modelo propuesto por Wenzel, (1982)

$I = \frac{KT^m}{D^n + b}$, Modelo Propuesto por Chow *et al*, (1994)

$I = K \left\{ \frac{m - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{(D + b)^n} \right\}$, Modelo propuesto por Koutsoyiannis *et al*, (1998)

Donde a, c, K, m, n y b son parámetros adimensionales, T es periodo de retorno, D la duración e I la intensidad máxima de precipitación.

5.- METODOLOGÍA

5.1.- Etapas del Estudio.

5.1.1.- Revisión Bibliográfica.

En esta etapa se recopiló información relacionada con el tema en estudio, de donde se obtuvieron los marcos teóricos tratados en esta memoria. La información bibliográfica fue extraída de textos de hidrología y estadística, así como también de revistas científicas y otras publicaciones que aportaron información relevante para este estudio. Toda esta información fue complementada con documentos provenientes de Internet.

5.1.2.- Recolección de la Información Requerida.

La información necesaria para la realización de esta memoria se obtuvo a través del proyecto ejecutado por el Departamento de Gestión Ambiental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Talca, en conjunto con la Dirección General de Aguas (DGA), para la determinación de las Curvas IDF en parte de la zona árida y semiárida del país, que comprende desde la IV a la VII Regiones del país.

En total se cuenta con 31 estaciones pluviográficas, 7 de las cuales se encuentran en la Región de Coquimbo, 4 en la Región de Valparaíso, 5 en la Región Metropolitana, 3 en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y

12 en la Región del Maule. Estas estaciones son detalladas en la tabla 1, con su nombre, coordenadas geográficas y la serie de años con que cuenta cada una.

Tabla N°1: Coordenadas geográficas y número de años de las series de datos.

Región	Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Serie (años)	Años
Coquimbo	Rivadavia	29°58'	70°34'	25	1976 - 2001
	Embalse La Paloma	30°41'	71°02'	40	1962 - 2002
	Embalse Cogotí	31°00'	71°05'	33	1966 - 2002
	Illapel	31°38'	71°11'	27	1976 - 2002
	La Tranquilla	31°54'	70°40'	34	1966 - 2002
	Los Cóndores	32°07'	71°19'	22	1978 - 2002
	Quelón	32°09'	71°10'	27	1973 - 2002
Valparaíso	Hacienda Pedernal	32°05'	70°48'	10	1978 - 2001
	Quillota	32°54'	71°13'	12	1979 - 2002
	Embalse Lliu-Lliu	33°06'	71°13'	14	1979 - 2002
	Lago Peñuelas	33°09'	71°32'	21	1974 - 2001
Metropolitana	Embalse Rungue	33°02'	70°54'	16	1984 - 2000
	Cerro Calán	33°23'	70°32'	17	1983 - 2000
	Los Panguiles	33°26'	71°00'	15	1985 - 2000
	Pirque	33°40'	70°36'	17	1984 - 2000
	Melipilla	33°42'	71°13'	17	1984 - 2000
Lib. Gral. Bernardo O'Higgins	Rengo	34°24'	70°52'	26	1970 - 2002
	Central las Nieves	34°29'	70°45'	27	1971 - 2002
	Convento Viejo	34°46'	71°06'	21	1972 - 2002
Maule	Los Queñes	34°59'	70°48'	15	1988 - 2002
	Potrero Grande	35°10'	71°05'	15	1988 - 2002
	Pencahue	35°23'	71°48'	17	1982 - 1998
	Talca	35°26'	71°38'	17	1982 - 1998
	San Javier	35° 35'	71° 39'	15	1988 - 2002
	Colorado	35°37'	71°16'	14	1982 - 1998
	Melozal	35°44'	71°48'	17	1982 - 1998
	Embalse Ancoa	35°55'	71°17'	15	1988 - 2002
	Parral	36°11'	71°50'	17	1982 - 1998
	Embalse Digua	36°15'	71°32'	15	1988 - 2002
	Embalse Bullileo	36°17'	71°16'	16	1982 - 1998
	San Manuel	36°21'	71°38'	7*	1996 - 2002

* Para la estación San Manuel se seleccionaron 2 intensidades máximas por año, completando una serie de 14 datos.

Cada una de estas estaciones cuenta con sus respectivas Curvas IDF, obtenidas a través del ajuste a la función de Gumbel de cada serie de dato, para distintas duraciones y periodos de retorno, estableciendo así, una familia de 9 curvas para cada una de ellas, con periodos de retorno de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75 y 100 años, para duraciones que varían entre 1 y 24 horas. Además, cada familia de curvas cuenta con un ajuste a un modelo matemático (tabla 2), que responden a la siguiente expresión:

$$I = \frac{kT^m}{D^n}$$

Donde I corresponde a la intensidad de precipitación en mm/h, T al período de retorno expresado en años, D a la duración en minutos y k , m y n a los parámetros de regresión.

Tabla 2. Modelos matemáticos ajustados para las 31 estaciones pluviográficas.

Región	Estación	Ubicación Geográfica		Modelo Matemático	R ²
		Latitud	Longitud		
Coquimbo	Rivadavia	29°58'	70°34'	$I = \frac{40,565T^{0,2275}}{D^{0,4577}}$	97,3%
	Embalse la Paloma	30°41'	71°02'	$I = \frac{73,161T^{0,2288}}{D^{0,5125}}$	99,8%
	Embalse Cogotí	31°00'	71°05'	$I = \frac{53,275T^{0,2287}}{D^{0,4542}}$	98,2%
	Illapel	31°38'	71°11'	$I = \frac{62,933T^{0,2163}}{D^{0,2190}}$	97,0%
	La Tranquilla	31°54'	70°40'	$I = \frac{48,050T^{0,2126}}{D^{0,4842}}$	99,4%
	Los Cóndores	32°07'	71°19'	$I = \frac{35,662T^{0,2426}}{D^{0,4108}}$	98,0%
	Quelón	32°09'	71°10'	$I = \frac{73,146T^{0,1916}}{D^{0,5430}}$	99,2%

Tabla 2. Continuación. Modelos matemáticos ajustados para las 31 estaciones pluviográficas.

Región	Estación	Ubicación Geográfica		Modelo Matemático	R ²
		Latitud	Longitud		
Valparaíso	Hacienda Pedernal	32°05'	70°48'	$I = \frac{33,857T^{0,1561}}{D^{0,2890}}$	96,5%
	Quillota	32°54'	71°13'	$I = \frac{62,292T^{0,2132}}{D^{0,4488}}$	92,8%
	Embalse Lliu-Lliu	33°06'	71°13'	$I = \frac{77,895T^{0,1866}}{D^{0,3802}}$	96,0%
	Lago Peñuelas	33°09'	71°32'	$I = \frac{92,835T^{0,1988}}{D^{0,3915}}$	94,7%
Metropolitana	Embalse Rungue	33°02'	70°54'	$I = \frac{36,48T^{0,1781}}{D^{0,3547}}$	98,9%
	Cerro Calán	33°23'	70°32'	$I = \frac{74,32T^{0,1662}}{D^{0,4495}}$	97,6%
	Los Panguiles	33°26'	71°00'	$I = \frac{31,18T^{0,2323}}{D^{0,3360}}$	96,8%
	Pirque	33°40'	70°36'	$I = \frac{32,35T^{0,1760}}{D^{0,3432}}$	98,4%
	Melipilla	33°42'	71°13'	$I = \frac{139,67T^{0,2228}}{D^{0,5925}}$	99,1%
Libertador General Bernardo O'Higgins	Rengo	34°24'	70°52'	$I = \frac{68,682T^{0,1375}}{D^{0,4379}}$	90,0%
	Central las Nieves	34°29'	70°45'	$I = \frac{37,144T^{0,1458}}{D^{0,3015}}$	97,8%
	Convento Viejo	34°46'	71°06'	$I = \frac{72,088T^{0,1268}}{D^{0,4297}}$	98,6%

Tabla 2. Continuación. Modelos matemáticos ajustados para las 31 estaciones pluviográficas.

Región	Estación	Ubicación Geográfica		Modelo Matemático	R ²
		Latitud	Longitud		
Maule	Los Queñes	34°59'	70°48'	$I = \frac{68,345T^{0,1694}}{D^{0,4020}}$	99,1%
	Potrero Grande	35°10'	71°05'	$I = \frac{83,313T^{0,1822}}{D^{0,4269}}$	98,3%
	Pencahue	35°23'	71°48'	$I = \frac{63,694T^{0,1641}}{D^{0,4698}}$	99,3%
	Talca	35°26'	71°38'	$I = \frac{35,205T^{0,1953}}{D^{0,3812}}$	96,8%
	San Javier	35° 35'	71° 39'	$I = \frac{25,309T^{0,1724}}{D^{0,3620}}$	73,3%
	Colorado	35°37'	71°16'	$I = \frac{71,210T^{0,1391}}{D^{0,4005}}$	96,0%
	Melozal	35°44'	71°48'	$I = \frac{59,923T^{0,2160}}{D^{0,4381}}$	98,2%
	Embalse Ancoa	35°55'	71°17'	$I = \frac{61728T^{0,1465}}{D^{0,3647}}$	97,2%
	Parral	36°11'	71°50'	$I = \frac{62,461T^{0,1766}}{D^{0,4270}}$	98,8%
	Embalse Digua	36°15'	71°32'	$I = \frac{78,086T^{0,1832}}{D^{0,4182}}$	98,0%
	Embalse Bullileo	36°17'	71°16'	$I = \frac{57,890T^{0,1118}}{D^{0,3258}}$	99,0%
San Manuel	36°21'	71°38'	$I = \frac{52,472T^{0,1817}}{D^{0,3715}}$	97,7%	

5.1.3.- Comparación estadística entre las distintas estaciones, para las series originales de intensidades máximas de precipitación.

En una primera etapa, se trató de determinar estadísticamente si existían diferencias significativas entre las distintas Regiones, con respecto a las intensidades máximas de precipitación y para diferentes duraciones; pero como generalmente las intensidades correspondientes a las duraciones más pequeñas son las más altas y además las que pueden generar mayores complicaciones, se determinó trabajar con la duración de 1 hora. De este modo, para la realización de la comparación estadística entre las distintas Regiones, fue necesario, en primer lugar, establecer si las series de datos podían ser comparadas a través de un análisis de varianza (ANDEVA). Para ello, las series de datos debían cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad.

El ANDEVA requiere que los datos estén normalmente distribuidos. Esto significa que las observaciones dentro de cada grupo a comparar deben seguir una distribución normal. La forma teórica de la distribución normal se muestra en la figura 5.1, que corresponde a un histograma de frecuencia.



Figura 5.1: Histograma de Frecuencia con distribución normal

La prueba de normalidad de los datos, se hizo a través del test de Shapiro-Wilks, para un nivel de significancia de 0,05, usando el paquete estadístico Statgraphics 5.1. La toma de decisión se basó en la siguiente afirmación:

- Si el valor $p < 0,05$, los datos no se distribuyen normalmente.
- Si el valor $p \geq 0,05$, los datos se distribuyen normalmente.

Por otra parte, la homocedasticidad u homogeneidad de varianza, corresponde al supuesto más importante del ANDEVA, porque es más sensitivo a desviaciones de este supuesto que a desviaciones de normalidad. Sin embargo, pequeñas desviaciones de homogeneidad de varianza tampoco afectarán los resultados.

El supuesto de homocedasticidad se verificó a través del test de Bartlett, Esta prueba se basa en comparar la varianza más grande de todos los grupos, contra la sumatoria de las varianzas de todos los grupos. La hipótesis para este test son:

$$H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2 = \dots \sigma^2_n$$

$$H_0: \sigma^2_i \neq \sigma^2_j, \text{ para algún par } (i,j)$$

La decisión se basó en la siguiente afirmación:

- Si el valor $p < 0,05$, existe diferencia estadísticamente significativa entre las varianzas, para un nivel de confianza de 95%.
- Si valor $p \geq 0,05$, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las varianzas, para un nivel de confianza de 95%.

Dado que en varias oportunidades no se cumplió tanto, con el supuesto de homocedasticidad, como con el de normalidad, fue necesario hacer la comparación a través de pruebas no paramétricas.

Las pruebas no paramétricas o de distribución libre son una alternativa cuando los datos no cumplen con los supuestos de ANDEVA, donde normalmente se usa la mediana como medida de localización. La mayoría de las pruebas no paramétricas, para comparar muestras independientes (grupos), están basadas en la transformación de los datos originales a rankings o rangos ordenados. Es decir, en vez de realizar las comparaciones sobre las observaciones originales, éstas primero deben ser transformadas a rangos desde el menor al mayor dato observado (<http://www.bio.puc.cl/cursos/bio242a/Clase9.doc>).

Para ello se aplicó el test de Kruskal-Wallis, que corresponde al test alternativo al análisis de varianza cuando no se cumple con los supuestos del ANDEVA. Esta prueba, como ya se mencionó, se basa en la transformación de los datos a rangos, ordenándolos de menor a mayor valor, a través de todos los grupos a comparar y asignando el valor medio para resolver las igualdades o empates, por lo que la hipótesis no está referida a medias, sino que a medianas.

Para determinar si existe o no diferencia entre las medianas de las estaciones pertenecientes a cada Región, la decisión se basó en la siguiente afirmación:

- Si el valor $p < 0,05$, existe diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de las estaciones, para un nivel de confianza de 95%.

- Si valor $p \geq 0,05$, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de las estaciones, para un nivel de confianza de 95%.

Para saber qué estaciones son las que difieren, se aplicó la prueba U de Mann-Whitney, que tiene como objetivo determinar si dos muestras independientes provienen o no de la misma población; como también forma parte del conjunto de pruebas no paramétricas, no requiere de los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas (Mason y Lind, 1995).

La prueba U de Mann-Whitney se basa en una combinación de las n_a y n_b observaciones, para formar un solo conjunto de $n_a + n_b$ observaciones ordenadas en orden creciente de magnitud. Posteriormente se asigna un rango a cada observación en la secuencia ordenada, que comienza con un rango 1 y termina con un rango $n_a + n_b$. Si las muestras aleatorias provienen de poblaciones con la misma distribución, se espera que los rangos se encuentren lo suficientemente dispersos. De otra forma, debe esperarse que los rangos de las observaciones en cada muestra se encuentren muy agrupados en los extremos. (Canavos, 1987).

La prueba U de Mann-Whitney, presenta 2 situaciones; una para muestras pequeñas ($n \leq 10$) y otra para muestras grandes ($n > 10$). Como en este estudio las muestras eran superiores a 10 datos, se aplicó el segundo procedimiento.

Según Mendenhall y Sincich (1997), la prueba U de Mann-Whitney se define como:

$$UA = n_a \times n_b + n_a \times \frac{(n_a + 1)}{2} - Ra$$

$$UB = n_a \times n_b + n_b \times \frac{(n_b + 1)}{2} - Rb$$

Donde n_a y n_b es el número de observaciones en la muestra A y B respectivamente, y Ra y Rb , corresponden a la suma de los rangos para ambas muestras.

La hipótesis nula (H_0), plantea que las distribuciones de frecuencia relativas de las poblaciones A y B son iguales.; y la Hipótesis alternativa (H_1), establece que las distribuciones de frecuencias relativas de las poblaciones son distintas. Así, la decisión se basó en la siguiente afirmación:

- Si el valor $p > 0,05$, no se rechaza H_0
- Si el valor $p \leq 0,05$, se rechaza H_0

5.1.4.- Determinación de parámetros e índices para las series de datos originales.

En esta etapa se calculó el promedio aritmético, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación, para los datos originales, con el fin de establecer algún comportamiento de las intensidades máximas de precipitación.

También se determinaron ciertos índices, para tratar de explicar el comportamiento de las intensidades. En primer lugar se trató de relacionar la intensidad máxima ($ImáxE$), con la mínima de la misma estación ($ImínE$), a través de la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{ImáxE}{ImínE}$$

Donde λ indica cuantas veces es superada la intensidad menor por la mayor de cada estación.

La misma relación se hizo con la intensidad máxima de la Región ($I_{máxR}$) con respecto a la intensidad mínima de la estación ($I_{mínE}$), a través de la siguiente expresión:

$$\chi = \frac{I_{máxR}}{I_{mínE}}$$

En este caso, χ representa las veces en que la intensidad mínima de cada estación es superada por la intensidad máxima registrada en cada Región.

Otra relación que se trabajó, estuvo orientada a relacionar la intensidad máxima encontrada en el conjunto de todas las estaciones estudiadas ($I_{máxT}$), con la estación mínima de cada estación ($I_{mínE}$). Ésta se puede apreciar en la expresión siguiente:

$$\varepsilon = \frac{I_{máxT}}{I_{mínE}}$$

Con este índice se pretende entregar la diferencia que se presenta entre el valor mínimo de cada estación, con el valor máximo registrado en todas las regiones. Así se pretende establecer qué tan variable es el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación.

Finalmente, se relacionó la intensidad máxima con la mínima de cada estación, de la siguiente forma:

$$\delta = \frac{I_{máxE} - I_{mínE}}{I_{mínE}}$$

Esta relación indica cuántas veces supera la diferencia entre la intensidad máxima y la mínima, al valor de intensidad mínima encontrado en cada estación.

Estos parámetros e índices fueron aplicados a las series completas y a los 5 valores máximos de cada estación. Esta decisión se tomó porque, se observó que en la mayoría de las estaciones, existe gran diferencia si se realizan estos cálculos para el total de la serie o para los 5 valores máximos.

5.1.5.- Comparación Gráfica de las Intensidades Máximas de Precipitación a partir de las Curvas IDF.

La comparación gráfica se hizo a partir de las Curvas IDF, para los periodos de retorno de 5 y 100 años y para la duración de 1 hora, y en función de la distribución geográfica de las estaciones. Así, se realizó una comparación latitudinal, donde las estaciones fueron ubicadas en estricto sentido de Norte a Sur.

Otra comparación gráfica se realizó en función de la longitud, donde fue necesario evaluar el comportamiento de dichas intensidades por Región administrativa estudiada y no considerando el conjunto de todas las estaciones, dadas las características de Chile continental, que en promedio abarca 4.329 km de largo y sólo 177 km de ancho, y donde además se distinguen distintas unidades de relieve, entre ellas los Valles Transversales, característicos del norte del país y las Planicies Litorales, la Cordillera de la Costa, la Depresión Intermedia y la Cordillera de los Andes, en la zona central y sur de éste. En este caso las estaciones fueron ubicadas en sentido Oeste – Este.

Por otra parte, también se realizó una comparación en función de la altitud a la que se encuentran las estaciones, donde las estaciones fueron ubicadas de menor a mayor altitud.

Es importante destacar que junto con las intensidades máximas de precipitación, también fueron graficadas las precipitaciones medias anuales, con el fin de ver si ambas variables presentan comportamientos similares.

5.1.6.- Cálculo de las probabilidades de excedencia para distintas intensidades.

El Cálculo de la probabilidad de excedencia se hizo en base a la función de distribución de Gumbel, que se representa por la siguiente expresión:

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

Donde:

X = Valor a asumir por la variable aleatoria

μ y σ = Parámetros a estimar en función de la muestra

e = Base de los logaritmos neperianos

De esta forma, la probabilidad de excedencia queda definida como:

$$F(x) = P[\varepsilon > X] = 1 - \left(e^{-e^{-\sigma(x-\mu)}} \right)$$

La probabilidad de excedencia fue calculada para cada estación y para las intensidades de 15, 20, 25, 30 y 35 mm/h.

5.1.7.- Análisis de los modelos matemáticos ajustados.

Cada estación, además de contar con las curvas IDF ajustadas a la función de Gumbel, también cuentan con sus respectivos modelos matemáticos, representados por la siguiente expresión:

$$I = \frac{kT^m}{D^n}$$

Donde:

I = Intensidad máxima, expresada en mm/h.

T = Período de retorno, expresado en años.

D = Duración de la precipitación, expresada en horas.

k, m, n = Constantes obtenidas mediante análisis de regresión lineal múltiple.

En base a esto, se hizo un análisis de dichas expresiones matemáticas a partir de la intersección de las duraciones entre las distintas estaciones, en base a la siguiente expresión:

$$D^{(n2-n1)} = \frac{k2}{k1} * T^{(m2-m1)}$$

Donde

D : Duración en mm/h

T : Periodo de retorno

$n1, k1$ y $m1$: Parámetros estación 1

$n2, k2$ y $m2$: Parámetros estación 2

Este análisis se hace con el fin de determinar el comportamiento que presentan las intensidades a diferentes duraciones, a partir de la intersección entre estaciones en algún punto de sus respectivas curvas, dentro del rango para las cuales fueron determinadas las Curvas IDF, es decir entre 1 y 24 horas. Este análisis, se hizo solamente para el periodo de retorno de 100 años.

La figura 5.2 muestra la forma teórica de esta comparación, con el fin de establecer la existencia de puntos en común a partir de la superposición de curvas de las distintas zonas de estudio.

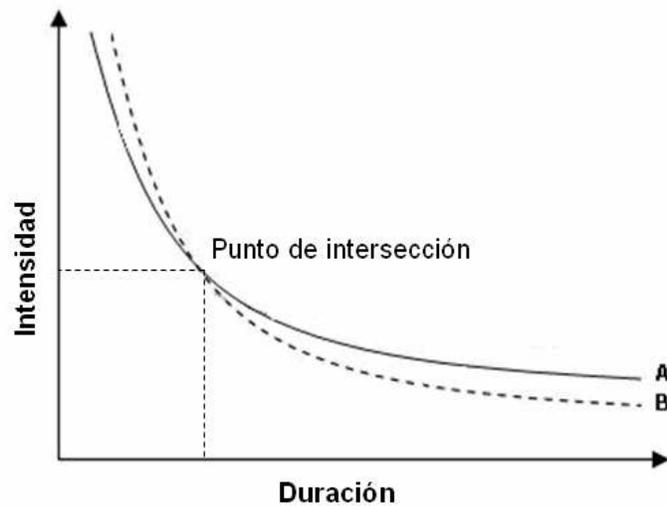


Figura 5.2. Intersección de Curvas IDF para las diferentes estaciones

5.1.8. Presentación de Resultados.

En este capítulo se entregan los resultados que se obtuvieron, en forma de tablas y gráficos, para la comparación estadística entre las distintas estaciones; la determinación de los parámetros e índices en las series originales; la comparación gráfica realizada de las intensidades máximas; el cálculo de las probabilidades de excedencia; y el análisis a los modelos matemáticos ajustados a las curvas.

5.1.9. Análisis de Resultados.

En este capítulo se analizaron los resultados obtenidos, con el propósito de entender de mejor manera el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación, en las cinco Regiones que comprende este estudio. Además se analiza el efecto que provocan los cuerpos de agua, como lagos y embalses sobre las intensidades máximas de precipitación.

5.1.10. Conclusiones y Recomendaciones.

Finalmente y en base a los objetivos planteados, los resultados obtenidos y el análisis realizado a ellos, en este punto se establecieron las conclusiones y las recomendaciones pertinentes.

5.2. Materiales.

Para la realización de este estudio, se utilizaron los siguientes elementos:

- Curvas Intensidad Duración Frecuencia de 31 estaciones pluviográficas pertenecientes a cinco Regiones de Chile, y sus respectivos modelos matemáticos.
- Equipos computacionales (PC, impresora).
- Programas computacionales como Microsoft Word, Microsoft Excel y Statgraphics 5.1.

6.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1.- Comparación estadística entre las distintas estaciones, para las series originales de intensidades máximas de precipitación.

Es importante mencionar que no todas las estaciones presentan igual número de años para sus series de datos. Así, se puede destacar que la serie más pequeña es de 10 años, perteneciente a la estación Hacienda Pedernal en la V Región; mientras que la serie más larga es de 40 años y pertenece a la estación Embalse La Paloma, en la IV Región (ver apéndice 1).

Para la realización de la comparación de las intensidades máximas de precipitación entre las distintas estaciones y para la duración de 1 hora, primero fue necesario comprobar si las series de datos de cada estación presentaban una distribución normal y si existía homogeneidad entre sus varianzas, para que así, pudieran ser analizadas con pruebas paramétricas a través de un Análisis de Varianza (ANDEVA). Los resultados de estos test se presentan en el apéndice 2.

Sólo en 6 de las estaciones no se cumplió con el supuesto de normalidad, pero dado que tampoco se cumplió con el supuesto de homocedasticidad, condición que corresponde a uno de los supuestos más importantes para la realización de un Análisis de Varianza, se tomó la decisión de realizar la comparación estadística a través de pruebas no paramétricas. Para ello, se utilizó la prueba de contrastes de Kruskal – Wallis, para determinar si existe igualdad entre las medianas de las distintas estaciones. La tabla 3 resume los resultados de esta prueba para cada región.

Tabla 3: Resultados de la Prueba de Kruskal-Wallis para las distintas Regiones.

Región	Estación	Rango Promedio	Valor P	Decisión
Coquimbo	Rivadavia	76,12	0,100511	No existe diferencia entre estaciones de la Región
	Embalse La Paloma	123,46		
	Embalse Cogotí	108,96		
	Estación Illapel	98,57		
	La Tranquilla	97,68		
	Los Cóndores	108,89		
Valparaíso	Quelón	108,16	0,0000587	Si existe diferencia entre estaciones de la Región
	Hacienda Pedernal	17,10		
	Quillota	15,04		
	Embalse Lliu-Lliu	36,25		
Metropolitana	Lago Peñuelas	37,81	0,115297	No existe diferencia entre estaciones de la Región
	Embalse Rungue	41,53		
	Cerro Calán	53,94		
	Los Panguiles	36,27		
	Melipilla	33,24		
Libertador General Bernado O'Higgins	Pirque	41,91	0,228466	No existe diferencia entre estaciones de la Región
	Rengo	31,67		
	Central las Nieves	40,41		
Maule	Convento Viejo	40,98	1,06803E-12	Si existe diferencia entre estaciones de la Región
	Los Queñes	120,70		
	Potrero Grande	121,83		
	Pencahue	57,56		
	Talca	40,18		
	San Javier	50,38		
	Melozal	98,61		
	Colorado	136,70		
	Embalse Ancoa	80,50		
	Parral	134,87		
	Embalse Digua	108,07		
San Manuel	138,63			
Embalse Bullileo	57,90			

6.1.1.- Comparación a través de la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney.

Para determinar cuales fueron las estaciones que presentaron diferencias entre ellas, con respecto a sus medianas, se utilizó la Prueba U de Mann Whitney. Esta prueba combina dos muestras, ordenando los valores de menor a mayor y comparando la media de los rangos de ambas muestras en los datos combinados, para un nivel de significancia (α) de 0,05. En las tablas 4, 5, 6, 7 y 8 se entregan

los resultados del valor probabilístico para esta prueba entre las estaciones de cada región; las comparaciones entre regiones se presentan en el apéndice 3.

Tabla 4: Comparación de medianas entre estaciones de la IV Región.

	E. La Paloma	E. Cogotí	Illapel	La Tranquilla	Los Cóndores	Quelón
Rivadavia	0,00502063	0,039588	0,180969*	0,132559*	0,0714033*	0,0400719
E. La Paloma		0,318352*	0,118794*	0,0635602*	0,306396*	0,224378*
E. Cogotí			0,513109*	0,43297*	0,999994*	0,994064*
Illapel				0,988404*	0,494225*	3,5528E-06
La Tranquilla					0,540093*	0,407586*
Los Cóndores						0,856302*

* No existe diferencia significativa, para $\alpha=0,05$

Tabla 5: Comparación de medianas entre estaciones de la V Región.

	Quillota	E. Lliu-Lliu	L. Peñuelas
H. Pedernal	0,644108*	0,00281832	0,00164114
Quillota		0,000746785	0,000465299
E. Lliu-Lliu			0,601652*

* No existe diferencia significativa, para $\alpha=0,05$

Tabla 6: Comparación de medianas entre estaciones de la Región Metropolitana.

	C. Calán	Los Panguiles	Melipilla	Pirque
E. Rungue	0,0973776*	0,634843*	0,234274*	0,98561*
C. calan		0,0540284*	0,0158907	0,143173*
Los Panguiles			0,879909*	0,484633*
Melipilla				0,277786*

* No existe diferencia significativa, para $\alpha=0,05$

Tabla 7: Comparación de medianas entre estaciones de la VI Región.

	C. las Nieves	C. Viejo
Rengo	0,107224*	0,19904*
C. las Nieves		0,802949*

*No existe diferencia significativa, para $\alpha=0,05$

Tabla 8: Comparación de medianas entre estaciones de la VII Región.

	P. Grande	Pencahue	Talca	Melozal	Colorado	E. Ancoa	Parral	E. Digua	San Manuel	E. Bullileo
Los Queñes	0,966894*	0,00141387	0,000057169	0,000333989	0,19032*	0,372404*	0,0328277	0,395051*	0,431995*	0,332673*
P. Grande		0,00141387	3,24332E-05	0,000249357	0,169044*	0,394946*	0,0298589	0,395051*	0,358981*	0,384407*
Pencahue			0,234213*	0,641784*	0,0153905	5,30857E-05	0,202379*	0,000146774	0,00578763	0,0000196
Talca				0,863158*	0,0004409	6,34606E-06	0,0131058	6,94979E-06	0,00063693	2,8055E-06
San Javier				0,438722*	0,0173382	6,22E-05	0,264971*	4,3645E-05	0,0113228	1,1374E-05
Melozal					0,0037525	0,000108257	0,0537141*	0,000136568	0,00425581	5,9027E-05
Colorado						0,0307037	0,218409*	0,0290367	0,420901*	0,00730762
E. Ancoa							0,00302241	0,835664*	0,137694*	0,984215*
Parral								0,00461917	0,103499*	0,002787
E. Digua									0,155814*	0,905551*
San Manuel										0,0807158*

* No existe diferencia significativa, para $\alpha=0,05$

6.1.2.- Determinación de parámetros e índices para las series de datos originales.

Con la finalidad de tratar de explicar en parte el comportamiento de las intensidades máximas, se determinaron algunos parámetros, como la media de los valores (\bar{X}), la desviación estándar (S) y el coeficiente de variación (CV); así como también algunos índices, los que fueron descritos en la metodología. Estos valores fueron calculados para la serie completa y para los primeros 5 valores de intensidad máxima de cada estación, para la duración de 1 hora, los que se presentan en las tablas 9 y 10 respectivamente.

Tabla 9: Parámetros e índices para las series completas por estación en 1 hora.

Región	Estaciones	\bar{X} (mm/h)	S (mm/h)	CV (%)	$\frac{I_{máx}E}{I_{mín}E}$	$\frac{I_{máx}R}{I_{mín}E}$	$\frac{I_{máx}T}{I_{mín}E}$	$\frac{I_{máx} - I_{mín}}{I_{máx}}$
Coquimbo	Rivadavia	5,8**	3,1	53,3*	22,2*	34,3*	64,2*	21,2*
	E. La Paloma	8,9	4,6	51,9	13,3	13,7	25,7	12,3
	E. Cogotí	8,0	4,0	49,7	8,2	8,2	15,4	7,2
	Illapel	7,2	3,6	49,5	8,3	10,3	19,3	7,3
	La Tranquilla	7,0	3,2	45,5	9,4	12,9	24,1	8,4
	Los Cóndores	7,6	3,5	46,0	13,6	18,7	35,0	12,6
	Quelón	7,5	2,9	39,1	7,1	9,4	17,5	6,1
Valparaíso	Hda. Pedernal	10,4	3,1	30,3	2,7	4,5	5,7	1,7
	Quillota	10,3	3,9	38,1	3,2	5,2	6,6	2,2
	E. Lliu-Lliu	16,4	4,9	29,8	2,4	3,1	3,9	1,4
	Lago Peñuelas	17,7*	6,3	35,5	3,6	3,6	4,5	2,6
Metropolitana	E. Rungue	9,5	3,0	31,4	3,6	8,2	8,2	2,6
	Cerro Calán	11,2	3,3	29,3	2,9	5,7	5,7	1,9
	Los Panguiles	8,6	3,4	39,1	5,5	14,3	14,3	4,5
	Melipilla	9,6	8,0*	82,9	13,3	13,3	13,3	12,3
	Pirque	9,5	2,9	30,1	3,2	8,0	8,0	2,2
Lib. Gral. Bernado O'Higgins	Rengo	11,4	3,2	28,1	2,8	2,8	5,0	1,8
	Central las Nieves	12,0	2,4	19,6	2,7	3,5	6,3	1,7
	Convento Viejo	12,5	3,5	28,1	2,5	2,8	4,9	1,5

* Valor máximo

** Valor mínimo

Tabla 9: Continuación. Parámetros e índices para las series completas por estación en 1 hora.

Región	Estaciones	\bar{X}	S	CV	$\frac{I_{\text{máx}}E}{I_{\text{mín}}E}$	$\frac{I_{\text{máx}}R}{I_{\text{mín}}E}$	$\frac{I_{\text{máx}}T}{I_{\text{mín}}E}$	$\frac{I_{\text{máx}} - I_{\text{mín}}}{I_{\text{míx}}}$
		(mm/h)	(mm/h)	(%)				
Maule	Los Queñes	15,5	4,7	29,9	2,6	2,6	3,9	1,6
	Potrero Grande	15,7	4,8	30,3	2,6	2,6	3,9	1,6
	Pencahue	10,2	3,0	29,1	3,0	4,9	7,3	2,0
	Talca	9,2	2,3**	24,8	2,4	4,4	6,5	1,4
	Melozal	10,2	4,0	39,1	3,9	4,4	6,5	2,9
	San Javier	10,4	2,4	23,5	2,0	3,7	5,5	1,0
	Colorado	13,9	4,6	33,1	2,8	2,8	4,1	1,8
	E. Ancoa	16,5	3,5	21,3	2,2	2,4	3,6	1,2
	Parral	12,1	3,7	30,4	2,9	3,9	5,7	1,9
	E. Digua	16,8	4,5	26,7	2,2	2,2	3,3**	1,2
	E. Bullileo	16,4	2,9	17,8**	1,9**	2,2**	3,3**	0,9**
San Manuel	14,4	4,5	31,3	3,2	3,6	5,4	2,2	

* Valor máximo

** Valor mínimo

Tabla 10: Parámetros e índices para los 5 valores máximos por estación en 1 hora.

Región	Estaciones	\bar{X}	S	CV	$\frac{I_{\text{máx}}E}{I_{\text{mín}}E}$	$\frac{I_{\text{máx}}R}{I_{\text{mín}}E}$	$\frac{I_{\text{máx}}T}{I_{\text{mín}}E}$	$\frac{I_{\text{máx}} - I_{\text{mín}}}{I_{\text{míx}}}$
		(mm/h)	(mm/h)	(%)				
Coquimbo	Rivadavia	10,1**	1,9	18,5	1,5	2,3*	4,3*	0,5
	E. La Paloma	17,5	2,5	14,5	1,4	1,5	2,8	0,4
	E. Cogotí	15,0	3,4	22,9	1,7	1,7	3,2	0,7
	Illapel	12,8	2,5	19,6	1,6	2,0	3,7	0,6
	La Tranquilla	12,2	2,0	16,8	1,5	2,1	3,9	0,5
	Los Cóndores	12,1	1,8	15,0	1,4	2,0	3,7	0,4
	Quelón	12,1	2,0	16,8	1,5	1,9	3,6	0,5
Valparaíso	Hda. Pedernal	12,5	3,1	24,7	1,7	2,0	3,7	0,7
	Quillota	13,3	4,5	33,9	1,9	2,1	3,9	0,9
	E. Lliu-Lliu	21,8	1,4	6,6	1,2	1,0	1,9	0,2
	Lago Peñuelas	26,1*	3,6	13,6	1,4	0,9**	1,7**	0,4
Metropolitana	E. Rungue	12,6	2,7	21,6	1,7	2,1	3,9	0,7
	Cerro Calán	15,3	2,4	15,9	1,5	1,6	3,0	0,5
	Los Panguiles	12,3	1,6	13,2	1,4	1,9	3,5	0,4
	Melipilla	17,1	12,2*	71,3	3,9*	2,1	3,9	2,9*
	Pirque	12,9	1,7	13,4	1,3	1,8	3,3	0,3
Lib. Gral. Bernado O'Higgins	Rengo	16,3	3,1	18,8	1,5	1,4	2,7	0,5
	Central las Nieves	15,4	0,6**	4,1	1,1**	1,4	2,7	0,1**
	Convento Viejo	17,4	1,4	7,9	1,2	1,3	2,4	0,2

* Valor máximo

** Valor mínimo

Tabla 10: Continuación. Parámetros e índices para los 5 valores máximos por estación en 1 hora.

Región	Estaciones	\bar{X}	S	CV	$\frac{ImáxE}{ImínE}$	$\frac{ImáxR}{ImínE}$	$\frac{ImáxT}{ImínE}$	$\frac{ImáxE - ImínE}{ImáxE}$
		(mm/h)	(mm/h)	(%)				
Maule	Los Queñes	21,0	3,0	14,5	1,5	1,2	2,2	0,5
	Potrero Grande	20,9	4,0	19,4	1,5	1,2	2,3	0,5
	Pencahue	13,4	1,5	11,4	1,3	1,7	3,2	0,3
	Talca	11,7	1,9	16,0	1,4	2,0	3,8	0,4
	Melozal	14,7	4,9	33,4*	2,3	2,0	3,8	1,3
	San Javier	13,0	1,3	9,7	1,2	1,8	3,3	0,2
	Colorado	18,1	5,5	30,4	1,9	1,5	2,8	0,9
	E. Ancoa	20,4	1,8	8,7	1,3	1,1	2,1	0,3
	Parral	16,8	2,3	13,4	1,4	1,5	2,9	0,4
	E. Digua	22,0	3,1	14,3	1,3	1,1	2,0	0,3
	E. Bullileo	20,0	1,8	8,8**	1,2	1,4	2,6	0,5
San Manuel	19,1	3,7	19,3	1,5	1,1	2,1	0,2	

* Valor máximo

** Valor mínimo

En general, se observa que la variabilidad de los datos de las estaciones ubicadas al norte de la zona de estudio, es mayor a la de las estaciones ubicadas más al sur. Así, para las series completas los mayores coeficientes de variación se registraron en la Región de Coquimbo y lo mismo ocurre para los índices. Sin embargo, cuando se consideran sólo los 5 valores máximos de cada serie, los coeficientes de variación (CV) no presentan muchas diferencias entre ellos.

6.2.- Comparación Gráfica de las Intensidades Máximas de Precipitación a partir de las Curvas IDF.

A partir de los datos provenientes de las Curvas IDF de las estaciones comprendidas entre la IV y la VII Regiones, se realizó una comparación de las intensidades máximas de precipitación, para la duración de 1 hora y entre los periodos de retorno (T) de 5 y 100 años (tabla 11). Esto, con el fin de determinar si existe algún patrón de conducta que permita caracterizar las intensidades a partir de la latitud, longitud y altitud. Para la latitud, las estaciones fueron ordenadas en

estricto sentido Norte – Sur; para la comparación longitudinal las estaciones fueron ordenadas por región, dadas las características geográficas de Chile; y para la comparación altitudinal, el conjunto de estaciones fueron ordenadas de menor a mayor altitud.

Tabla 11: Altitud, coordenadas geográficas e intensidades máximas de precipitación en 1 hora para los periodos de retorno de 5 y 100 años.

Estaciones	Altitud (m.s.n.m.)	Coordenadas Geográficas (Latitud y Longitud)		Intensidad de precipitación 1 hora (mm/h)	
				T=100	T=5
Rivadavia	850	29°58'	70°34'	15,4	7,9
E. La Paloma	430	30°41'	71°02'	27,5	19,0
E. Cogotí	650	31°00'	71°05'	20,4	10,8
Illapel	290	31°38'	71°11'	18,4	9,8
La Tranquilla	975	31°54'	70°40'	17,1	9,3
Los Cóndores	260	32°07'	71°19'	18,5	10,1
Quelón	960	32°09'	71°10'	16,8	9,7
Hda. Pedernal	1100	32°05'	70°48'	20,2	12,6
Quillota	130	32°54'	71°13'	22,6	13,1
E. Lliu-Lliu	300	33°06'	71°13'	31,8	19,9
Lago Peñuelas	360	33°09'	71°32'	37,4	22,2
E. Rungue	750	33°02'	70°54'	18,8	11,6
Cerro Calán	900	33°23'	70°32'	21,5	13,6
Los Panguiles	250	33°26'	71°00'	19,2	11,0
Pirque	670	33°40'	70°36'	18,4	11,5
Melipilla	200	33°42'	71°13'	34,7	15,4
Rengo	310	34°24'	70°52'	21,4	13,7
C. las Nieves	720	34°29'	70°45'	19,4	13,7
Convento Viejo	245	34°46'	71°06'	23,5	15,0
Los Queñes	723	34°59'	70°48'	30,1	18,9
Potrero Grande	450	35°10'	71°05'	30,7	19,1
Pencahue	110	35°23'	71°48'	19,6	12,4
Talca	110	35°26'	71°38'	16,3	10,8
San Javier	115	35° 35'	71° 39'	18,0	12,1
Colorado	470	35°37'	71°16'	28,2	17,2
Melozal	90	35°44'	71°48'	22,7	13,1
E. Ancoa	430	35°55'	71°17'	23,4	12,2
Parral	160	36°11'	71°50'	23,7	14,8
E Digua	380	36°15'	71°32'	30,9	20,1
E. Bullileo	600	36°17'	71°16'	25,6	18,5
San Manuel	270	36°21'	71°38'	28,5	17,6

Fuente: Elaboración propia, basada en la información del proyecto “Determinación de las Curvas IDF en parte de la zona árida y semiárida del país”.

Por otro lado, se trató de establecer si las intensidades máximas de precipitación presentaban algún comportamiento similar al que se observa con las precipitaciones medias anuales. Para ello, se compararon las precipitaciones medias anuales de 25 años de cada estación, con sus respectivas intensidades máximas (tabla 12).

Tabla 12: Coordenadas geográficas y precipitación media anual de cada estación.

Estaciones	Coordenadas Geográficas (Latitud y Longitud)		Precipitación media anual (mm)
Rivadavia	29°58'	70°34'	114,4
E. La Paloma	30°41'	71°02'	163,4
E. Cogotí	31°00'	71°05'	191,1
Illapel	31°38'	71°11'	193,3
La Tranquilla	31°54'	70°40'	273,3
Los Cóndores	32°07'	71°19'	256,8
Quelón	32°09'	71°10'	323,1
Hda. Pedernal	32°05'	70°48'	287,1
Quillota	32°54'	71°13'	356,0
E. Lliu-Lliu	33°06'	71°13'	579,0
Lago Peñuelas	33°09'	71°32'	746,0
E. Rungue	33°02'	70°54'	425,4
Cerro Calán	33°23'	70°32'	441,1
Los Panguiles	33°26'	71°00'	359,9
Pirque	33°40'	70°36'	466,5
Melipilla	33°42'	71°13'	395,9
Rengo	34°24'	70°52'	529,8
C. las Nieves	34°29'	70°45'	827,5
Convento Viejo	34°46'	71°06'	695,0
Los Queñes	34°59'	70°48'	1357,1
Potrero Grande	35°10'	71°05'	1107,1
Pencahue	35°23'	71°48'	631,4
Talca	35°26'	71°38'	658,2
San Javier	35° 35'	71° 39'	769,3
Colorado	35°37'	71°16'	1407,3
Melozal	35°44'	71°48'	752,4
E. Ancoa	35°55'	71°17'	146,0
Parral	36°11'	71°50'	984,0
E Digua	36°15'	71°32'	1488,2
E. Bullileo	36°17'	71°16'	2133,4
San Manuel	36°21'	71°38'	1478,1

Fuente: Elaboración propia, basada en la información entregada por la Dirección General de Aguas (DGA).

En la figura 6.1 se muestran las gráficas de las intensidades máximas de precipitación, para los periodos de retorno de 5 y 100 años, junto con las precipitaciones medias anuales de cada estación, en función de la latitud, ordenadas de Norte a Sur.

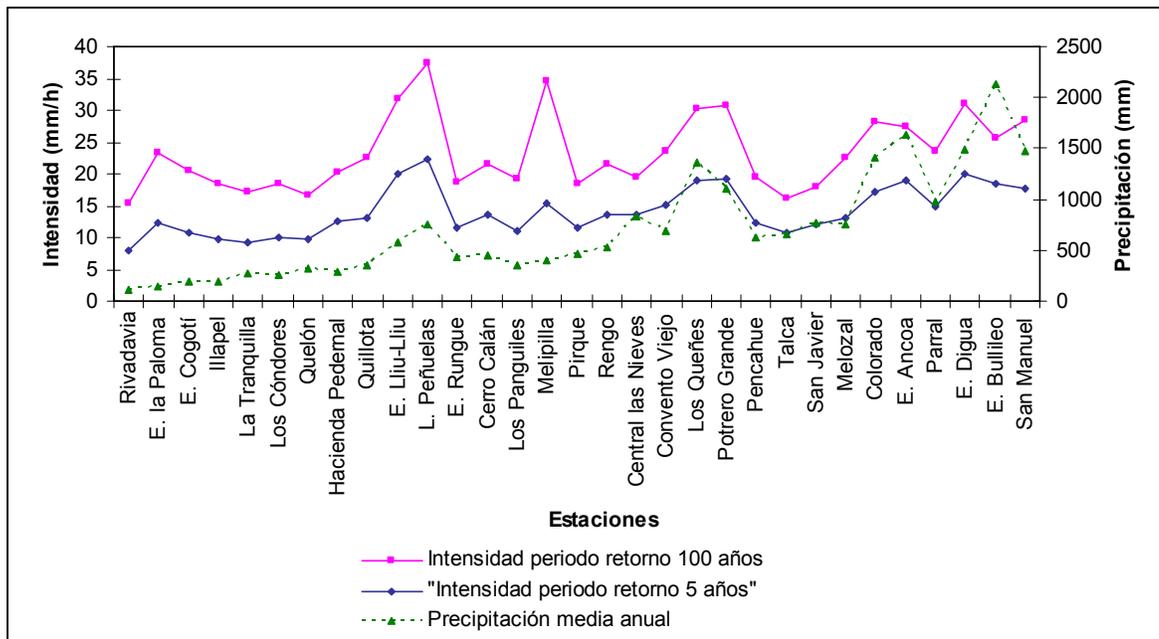


Figura 6.1: Comportamiento Latitudinal de las intensidades y las precipitaciones medias anuales

En las figuras 6.2 a la 6.6, se muestran las gráficas de las intensidades máximas de precipitación, para la duración de 1 hora y para periodos de retorno de 5 y 100 años, así como también la precipitación media anual, para las estaciones pertenecientes a las Regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, Libertador General Bernardo O'Higgins y Maule, respectivamente, en función de la longitud, distribuidas en sentido Oeste – Este.

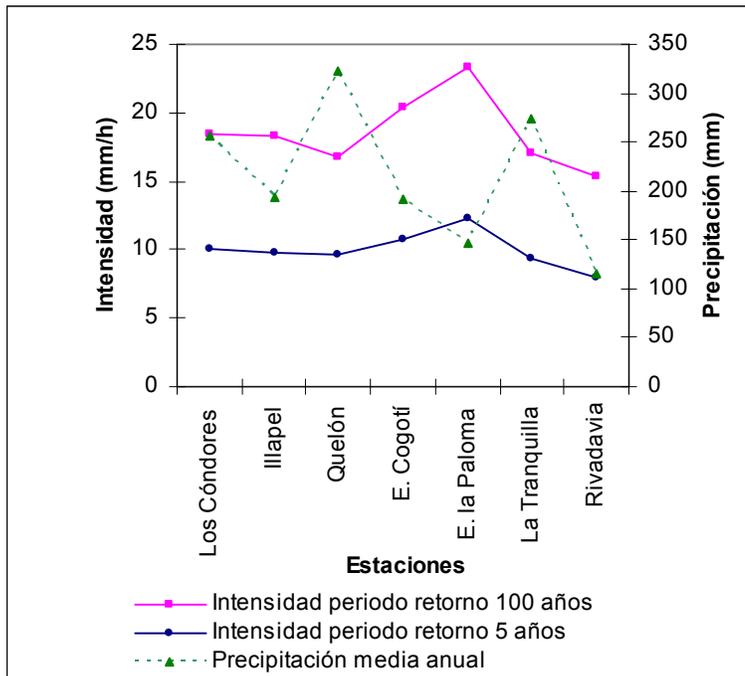


Figura 6.2: Comportamiento longitudinal de las intensidades y las precipitaciones medias anuales para la Región de Coquimbo

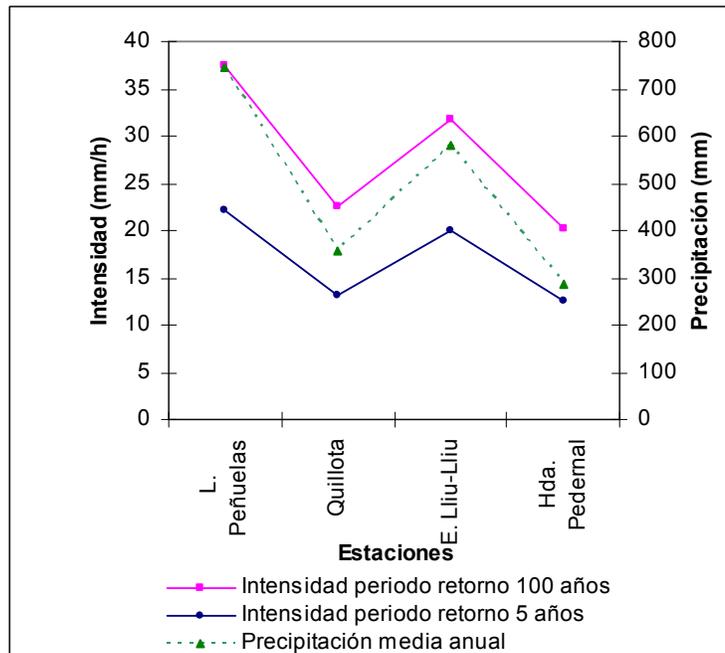


Figura 6.3: Comportamiento longitudinal de las intensidades y las precipitaciones medias anuales para la Región de Valparaíso

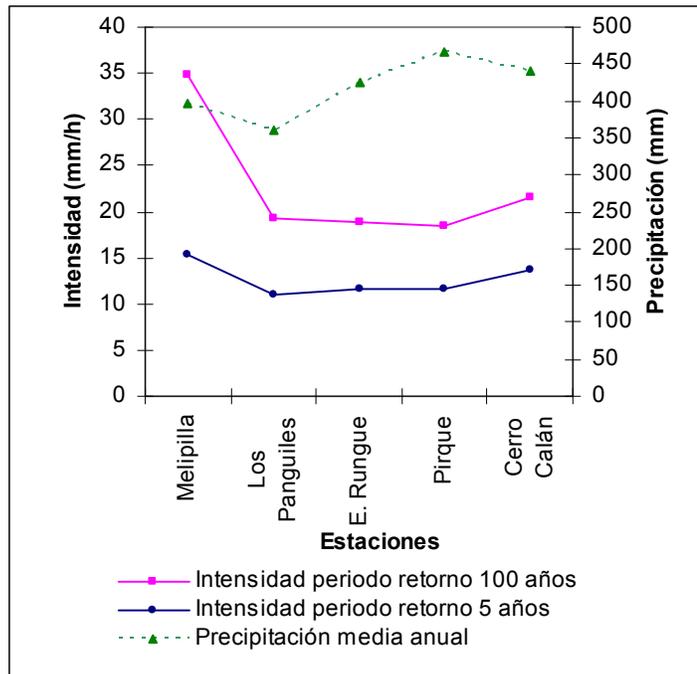


Figura 6.4: Comportamiento longitudinal de las intensidades y las precipitaciones medias anuales para la Región Metropolitana.

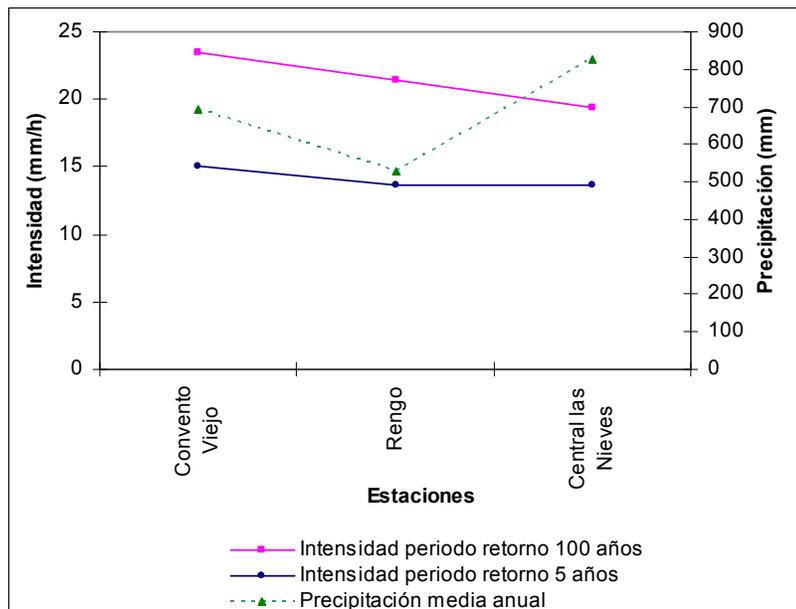


Figura 6.5: Comportamiento longitudinal de las intensidades y las precipitaciones medias anuales para la Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins.

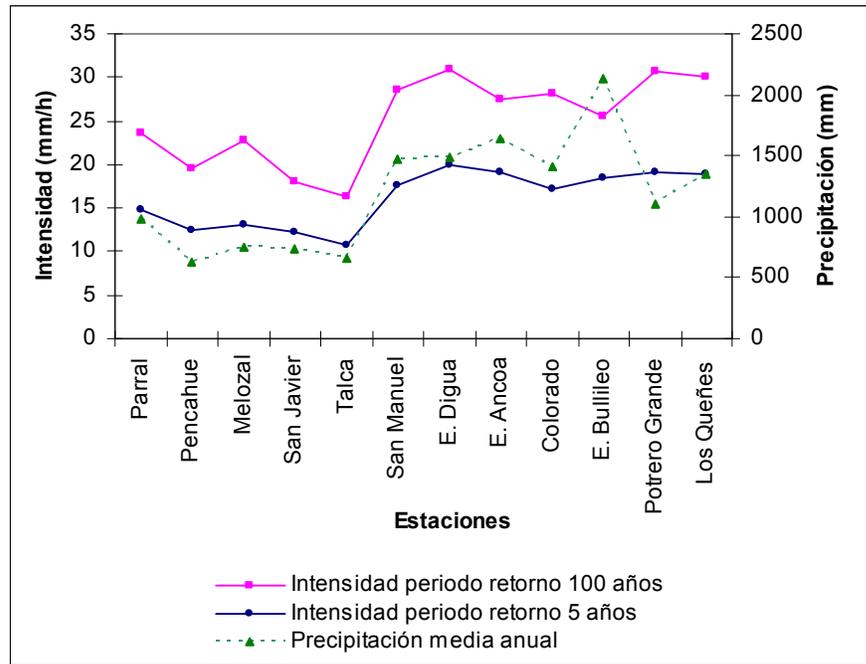


Figura 6.6: Comportamiento longitudinal de las intensidades y las precipitaciones medias anuales para la Región del Maule.

Por su parte, la figura 6.7 muestra la gráfica que relaciona a las intensidades máximas de precipitación, con la precipitación media anual, para las estaciones ordenadas en función de la altitud, de menor a mayor valor.

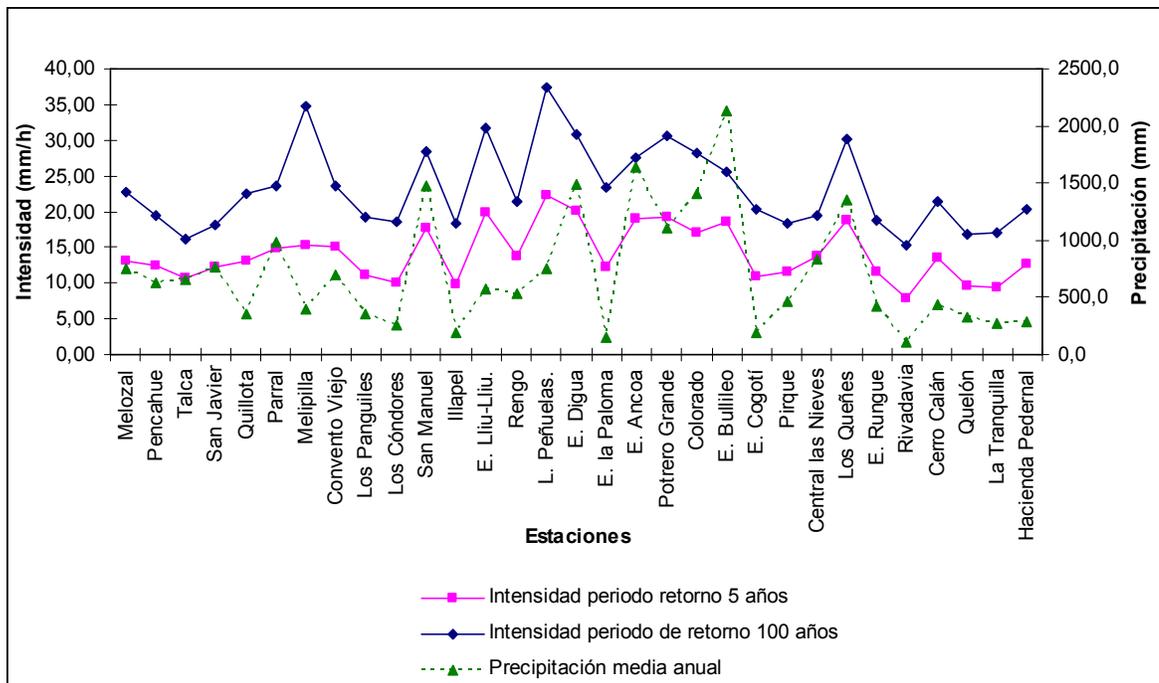


Figura 6.7: Comportamiento en función de la altitud de las intensidades y las precipitaciones medias anuales

6.2.1.- Cálculo de las probabilidades de excedencia para distintas intensidades.

Otros de los análisis realizados a las intensidades a partir de las Curvas IDF, corresponde al cálculo de la probabilidad de excedencia para las intensidades de 15 y 25 mm, los que se presentan a la tabla 13.

Estos valores son derivados de la función de distribución de Gumbel, donde la probabilidad de excedencia se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$F(x) = P[\varepsilon > X] = 1 - \left(e^{-e^{-\sigma(x-\mu)}} \right)$$

Donde

X : Valor a asumir por la variable aleatoria.

μ y σ : Parámetros a estimar

e : Base de los logaritmos neperianos.

Tabla 13: Parámetros y Probabilidad de excedencia para distintas intensidades.

Estaciones	Parámetros		Probabilidad de Excedencia (%)	
	μ	δ	15 mm	25 mm
Rivadavia	4,38	0,418	1,2	0,0
Embalse La Paloma	6,82	0,278	9,8	0,6
Embalse Cogotí	6,19	0,324	5,6	0,2
Illapel	5,59	0,360	3,3	0,1
La Tranquilla	5,60	0,400	2,3	0,0
Los Cóndores	6,00	0,369	3,5	0,1
Quelón	6,22	0,435	2,2	0,0
Hacienda Pedernal	8,95	0,408	8,1	0,1
Quillota	8,52	0,327	11,3	0,5
Embalse Lliu-Lliu	14,23	0,262	55,8	5,8
Lago Peñuelas	14,87	0,204	62,3	11,9*
Embalse Rungue	8,14	0,430	5,1	0,1
Cerro Calán	9,73	0,390	12,0	0,3
Los Panguiles	7,11	0,380	4,9	0,1
Melipilla	6,04	0,160	21,2	4,7
Pirque	8,19	0,450	4,6	0,1
Rengo	9,94	0,401	12,3	0,2
Central las Nieves	10,94	0,546	20,3	0,6
Convento Viejo	10,93	0,365	10,3	0,1

* Valor máximo

Tabla 13: Continuación. Parámetros y Probabilidad de excedencia para distintas intensidades.

Estaciones	Parámetros		Probabilidad de Excedencia (%)	
	μ	δ	15 mm	25 mm
Los Queñes	13,45	0,276	47,9	4,1
Potrero Grande	13,57	0,269	49,4	4,5
Pencahue	8,89	0,431	6,9	0,1
Talca	8,13	0,566	2,0	0,0
San Javier*	9,29	0,526	4,9	0,0
Melozal	8,39	0,322	11,2	0,5
Colorado	11,79	0,280	33,4	2,4
Embalse Ancoa	14,90	0,365	61,9	2,5
Parral	10,46	0,348	18,6	0,6
Embalse Digua	14,81	0,286	61,2	5,3
San Manuel	12,35	0,285	37,5	2,7
Embalse Bullileo	15,12	0,439	65,2*	1,3

* Valor máximo

Estos valores representan la probabilidad de que un valor X de intensidad sea superado; de este modo, la probabilidad más alta de que sean superados los 15 mm, es para la estación Embalse Bullileo, con un valor de 65,2%, mientras que el valor más alto para la intensidad de 25 mm, es para la estación Lago Peñuelas, con un valor de probabilidad de 11,9%, es decir existe un 11,9% de probabilidad de que en dicha estación presente una intensidad superior a los 25 mm.

6.3.- Análisis de los modelos matemáticos ajustados.

Como ya se mencionó, las Curvas IDF de cada estación cuentan con sus respectivas expresiones matemáticas, las que permiten modelarlas y facilitar su uso. Estas expresiones responden a la siguiente forma:

$$I = \frac{kT^m}{D^n}$$

Donde:

I = Intensidad máxima, expresada en mm/h.

T = Período de retorno, expresado en años.

D = Duración de la precipitación, expresada en horas.

k, m, n = Constantes obtenidas mediante análisis de regresión lineal múltiple.

La tabla 14 muestra el resumen de los distintos parámetros para cada estación.

Tabla 14: Valores de los parámetros k, m y n para las distintas estaciones.

Estación	k	m	n
Rivadavia	40,565	0,228	0,458
Embalse La Paloma	73,161	0,229	0,513
Embalse Cogotí	53,275	0,229	0,454
Illapel	62,933	0,216	0,504
La Tranquilla	48,050	0,213	0,484
Los Cóndores	35,662	0,243	0,411
Quelón	73,146	0,192	0,543
Hacienda Pedernal	33,857	0,156	0,289
Quillota	69,292	0,213	0,449
Embalse Lliu-Lliu	77,895	0,187	0,380
Lago Peñuelas	92,835	0,199	0,392
Embalse Rungue	36,475	0,178	0,355
Cerro Calán	74,324	0,166	0,450
Los Panguiles	31,183	0,232	0,336
Melipilla	139,670	0,223	0,593
Pirque	32,349	0,176	0,343
Rengo	68,682	0,138	0,438
Central las Nieves	37,144	0,146	0,302
Convento Viejo	72,088	0,113	0,430
Los Queñes	68,345	0,169	0,402
Potrero Grande	83,313	0,182	0,427
Pencahue	63,694	0,164	0,470
Talca	35,205	0,195	0,381
San Javier	25,309	0,172	0,362
Melozal	59,923	0,216	0,438
Colorado	71,210	0,139	0,401
Embalse Ancoa	61,728	0,147	0,365
Parral	62,461	0,177	0,427
Embalse Digua	78,086	0,183	0,418
Bullileo	57,890	0,112	0,326
San Manuel	52,472	0,182	0,372

A partir de estos valores, se realizó un análisis a las expresiones matemáticas ajustadas para un mismo periodo de retorno, con el fin de determinar la duración a partir de la cual se intersectan las curvas IDF y en donde una de ellas supera a la otra en valor de intensidad.

6.3.1.- Análisis de las expresiones matemáticas ajustadas para el mismo periodo de retorno.

El análisis de las expresiones matemáticas se realizó a través de los valores de las duraciones¹ en las cuales se cruzan o interceptan las distintas estaciones, para el periodo de retorno de 100 años. Las intersecciones de curvas por región se entregan en las tablas 15 a la 19. Las intersecciones de curvas entre las regiones se presentan en el apéndice 4.

Tabla 15: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años en la Región de Coquimbo.

E2 \ E1	Embalse La Paloma	Embalse Cogotí	Illapel	La Tranquilla	Los Cóndores	Quelón
Rivadavia	-	-	-	-	-	2,4**
Embalse La Paloma		3,9*	-	-	10,5*	-
Embalse Cogotí			-	-	-	-
Illapel				-	2,0*	-
La Tranquilla					-	4,1**
Los Cóndores						-
Quelón						

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

¹ Solo se consideraron las duraciones que se encuentran dentro del rango de las Curvas IDF, es decir entre las duraciones de 1 y 24 horas.

Tabla 16: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años en la Región de Valparaíso.

E2 \ E1	Quillota	Embalse Lliu-Lliu	Lago Peñuelas
Hacienda Pedernal	7,6**	-	-
Quillota		-	-
Embalse Lliu-Lliu			-

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 17: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años en la Región Metropolitana.

E2 \ E1	Cerro Calán	Los Panguiles	Melipilla	Pirque
Embalse Rungue	17,1**	-	11,2**	-
Cerro Calán		2,4*	8,5**	-
Los Panguiles			4,9**	-
Melipilla				14,0*

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 18: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años en la Región Libertador Gral. Bdo. O'Higgins

E2 \ E1	Central Las Nieves	Convento Viejo
Rengo	1,1*	-
Central Las Nieves		-
Convento Viejo		

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 19: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años en la Región del Maule.

E2 \ E1	Potrero Grande	Pencahue	Talca	San Javier	Melozal	Colorado	Embalse Ancoa	Parral	Embalse Digua	San Manuel	Embalse Bullileo
Los Queñes	-	-	-	-	-	-	4,3*	-	-	14,9*	4,8*
Potrero Grande		-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,1*
Pencahue			2,7*	-	-	-	-	-	-	-	-
Talca				-	-	-	-	-	-	-	-
San Javier					-	-	-	-	-	-	-
Melozal						2,1*	-	-	-	1,3*	1,6*
Colorado							-	-	-	-	1,4*
Embalse Ancoa								-	-	-	5,3*
Parral									-	-	-
Embalse Digua										-	14,9*
San Manuel											2,2*

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

En las tablas anteriormente expuestas, fueron diferenciadas las situaciones en que la estación 1 (E1) supera en valor a la estación 2 (E2); cuando E2 supera a E1; y cuando las estaciones no presentan intersección de sus curvas, entre las duraciones de 1 hora y 24 horas. Entonces, a modo de ejemplo para la Región de Coquimbo, a partir de la duración 3,9 horas, la estación Embalse Cogotí supera en intensidad a la estación la Embalse La Paloma, mientras que a partir de la duración 4,1 horas, la Estación la Tranquilla supera en valor de intensidad a la estación Quelón. Por otro lado, para las estaciones Rivadavia y Embalse La Paloma, sus curvas IDF no se intersectan en ninguna duración, para el rango establecido entre 1 y 24 horas.

7.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1.- Análisis del comportamiento de las series de datos originales

Como una forma de poder analizar la comparación estadística a través de la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, se determinó trabajar con el porcentaje de pares de estaciones por región que presentaron diferencias significativas entre ellas. Para ello, en la tabla 20 se muestra el número de comparaciones que se hicieron por región y entre regiones; en la tabla 21, el número de pares de estaciones que presentaron diferencias significativas; y en la tabla 22, se entregan los porcentajes de pares de estaciones que presentaron diferencias significativas entre ellas.

Tabla 20. Número de comparaciones de estaciones por región y entre regiones.

Regiones	IV	V	RM	VI	VII
IV	21	28	35	21	84
V		6	20	12	48
RM			10	15	60
VI				3	36
VII					66

Tabla 21. Número de comparaciones de estaciones que presentaron diferencias significativas por región y entre regiones

Regiones	IV	V	RM	VI	VII
IV	4	23	16	21	76
V		4	10	8	24
RM			1	12	38
VI				0	20
VII					35

Tabla 22. Porcentaje de comparaciones de estaciones que presentaron diferencias significativas por región y entre regiones.

Regiones	IV	V	RM	VI	VII
IV	19%	82%	45,7%	100%*	90,9%
V		66,7%	50%	66,7%	50%
RM			10%	80%	63,3%
VI				0%**	55,6%
VII					53,%

* Valor máximo

** Valor mínimo

De esta forma, es posible observar que en la Región de Coquimbo, de 21 comparaciones de estaciones posibles, sólo entre 4 de ellas, existen diferencias significativas, lo que equivale a un 19%. Estas diferencias se presentaron principalmente entre la estación Rivadavia y las estaciones Embalse la Paloma y Embalse Cogotí.

En la Región de Valparaíso, de 6 comparaciones de estaciones posibles, también sólo en 4 pares de estaciones comparadas, se verificaron diferencias significativas, lo que equivale a un 66,7%. En este caso se presentó una marcada diferencia entre las estaciones Embalse Lliu – Lliu y Lago Peñuelas, ubicadas cerca de cuerpos de agua, con las otras dos estaciones, Hacienda Pedernal y Quillota.

Para la Región Metropolitana, en general no se presentaron diferencias entre sus estaciones, salvo entre las estaciones Cerro Calán y Melipilla, lo que equivale sólo a un 10% de las comparaciones hechas. Asimismo, para la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, no se observaron diferencias significativas entre sus tres estaciones.

Por su parte, en la Región del Maule, del total de pares de estaciones comparadas, en 35 comparaciones se evidenciaron diferencias significativas, lo que equivale a un 53%.

Por otro lado, las tres mayores diferencias de las comparaciones entre las regiones en estudio, se presentaron para las estaciones de la Región de Coquimbo con las Regiones de Valparaíso y Libertador General Bernardo O'Higgins, con porcentajes de 82% y 100%, respectivamente; y entre la Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins y la Región del Maule, con un valor de 90,9%. Asimismo, la menor diferencia entre regiones se registró entre la Región de Valparaíso y la Región del Maule, con un 50% de diferencias entre sus respectivas estaciones.

Es importante destacar que, a pesar de existir una gran distancia entre estaciones de las Regiones de Coquimbo y del Maule (más de 700 km en línea recta), existe un 90% de diferencias significativas en las comparaciones hechas para sus respectivas estaciones, lo que indica que en un 10% no se presentaron diferencias significativas entre algunas de sus estaciones, Esto se aprecia entre la estación Embalse la Paloma con las estaciones Talca, Pehuenhue y Melozal; o Embalse Cogotí con Talca; y Los Cóndores con Talca y Melozal.

Para observar de mejor forma el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación, se calcularon una serie de parámetros e índices. Estos fueron determinados para las series completas y para los 5 valores máximos de cada estación. La figura 7.1 muestra los valores de las medias para la duración de 1 hora de las series completas y la media de los 5 valores máximos de cada serie, ordenados de Norte a Sur. En ella, se observa que en general, el comportamiento es similar entre ambas curvas y solo varían en la escala. Asimismo, se denota una leve tendencia a aumentar con la latitud.

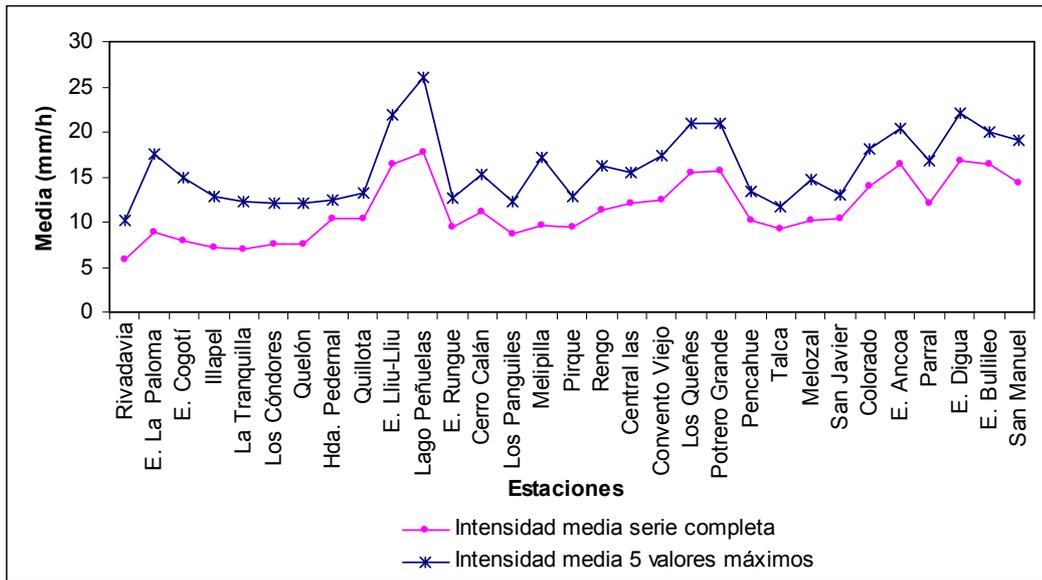


Figura 7.1. Gráfico de intensidades máximas medias para las series completas y los 5 valores máximos, para la duración de 1 hora

Llama la atención que en algunas estaciones existe gran diferencia entre la media de la serie completa y la media de los 5 valores más altos, como se aprecia con la estación Embalse la Paloma, Lago Peñuelas y Melipilla. Para ver el comportamiento de esta variabilidad, en la figura 7.2 se graficó el coeficiente de variación para las series completas y los 5 valores máximos.

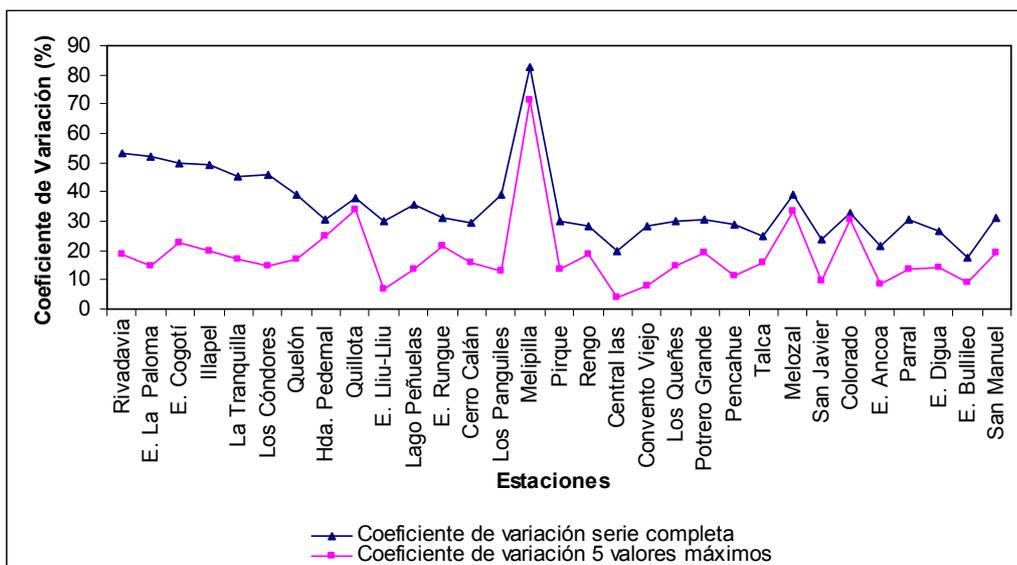
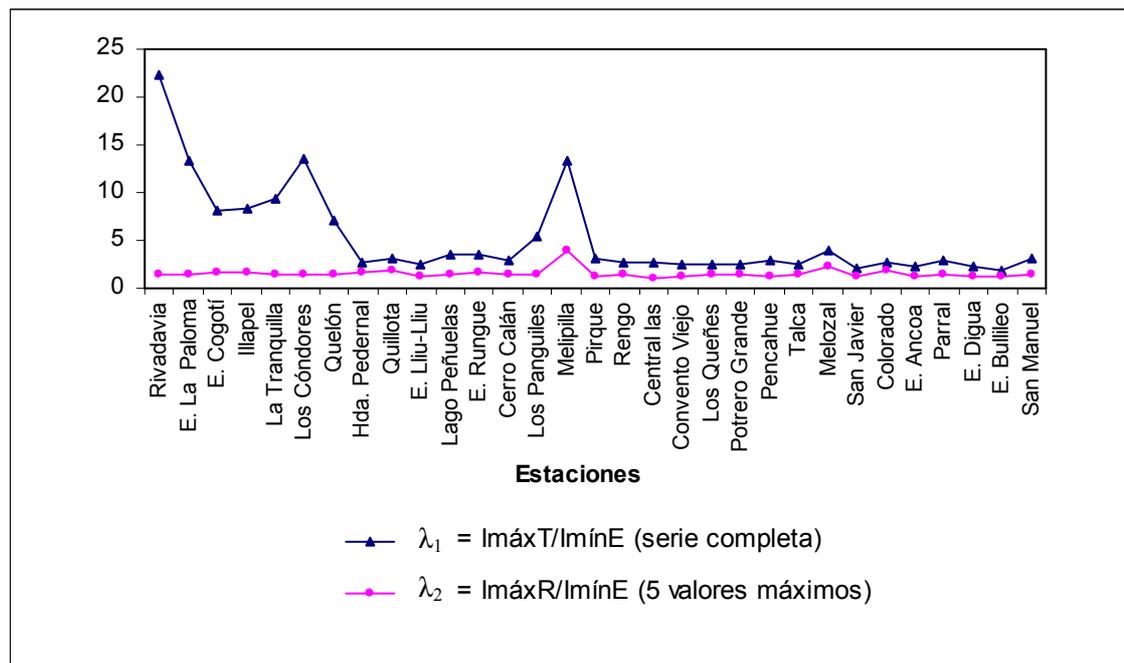


Figura 7.2. Gráfico del coeficiente de variación para las series completas y los 5 valores máximos, para la duración de 1 hora

En la figura anterior, se puede apreciar que para la serie completa, el coeficiente de variación es mayor en las estaciones ubicadas más al Norte y tiende a disminuir a medida que se avanza en latitud. Así, en general, para la Región de Coquimbo, los porcentajes para la serie completa superan en casi todas las estaciones al 45%. Esto demuestra que la variabilidad de las intensidades, es mayor a latitudes menores. Sin embargo, no ocurre lo mismo al considerar sólo los 5 valores máximos de cada serie, donde no es posible apreciar tendencia alguna en su comportamiento.

Para ver las diferencias por estación, en la figura 7.3 se graficó la intensidad máxima por estación, dividido por la intensidad mínima de la estación, para la serie completa (λ_1) y para los 5 valores máximos (λ_2).



7.3. Gráfico de la razón entre la intensidad máxima y mínima de las series completas y los 5 valores máximos, para la duración de 1 hora

En la figura anterior, se ratifica lo observado en la figura 7.2, en que se puede observar que para la serie completa (λ_1), existe gran diferencia entre el valor máximo y el mínimo de cada estación, donde la mayor diferencia se encuentra en la estación Rivadavia, ubicada al norte de la zona de estudio,

donde la intensidad máxima de la estación supera en más de 22 veces a la mínima. Esta conducta, tiende a desaparecer hacia mayores latitudes. En cambio para los 5 valores máximos (λ_2), no existe mayor diferencia entre las máximas y mínimas en ninguna estación.

Para confirmar lo señalado en los párrafos anteriores, en la figura 7.4 se entregan los otros índices calculados a las series completas (ε_1 , χ_1 , δ_1). En general, se repite la tendencia que muestra que en las estaciones ubicadas al norte de la zona de estudio, se presentan los mayores valores. Así, para el cociente entre el máximo regional y el mínimo de la estación de la Región de Coquimbo (χ_1), la mayor diferencia se presentó en la estación Rivadavia, seguida de los Cóncores, con valores superiores a 60 y 30 veces respectivamente. Esto muestra que existe una gran diferencia entre el valor máximo de intensidad obtenido en la Región, con respecto al valor mínimo de cada estación. Lo mismo ocurre para los otros dos índices (ε_1 y δ_1), donde las estaciones Rivadavia y los Cóncores, nuevamente presentan los valores más altos, a las que se le suman la estación Melipilla, ubicada en la Región Metropolitana.

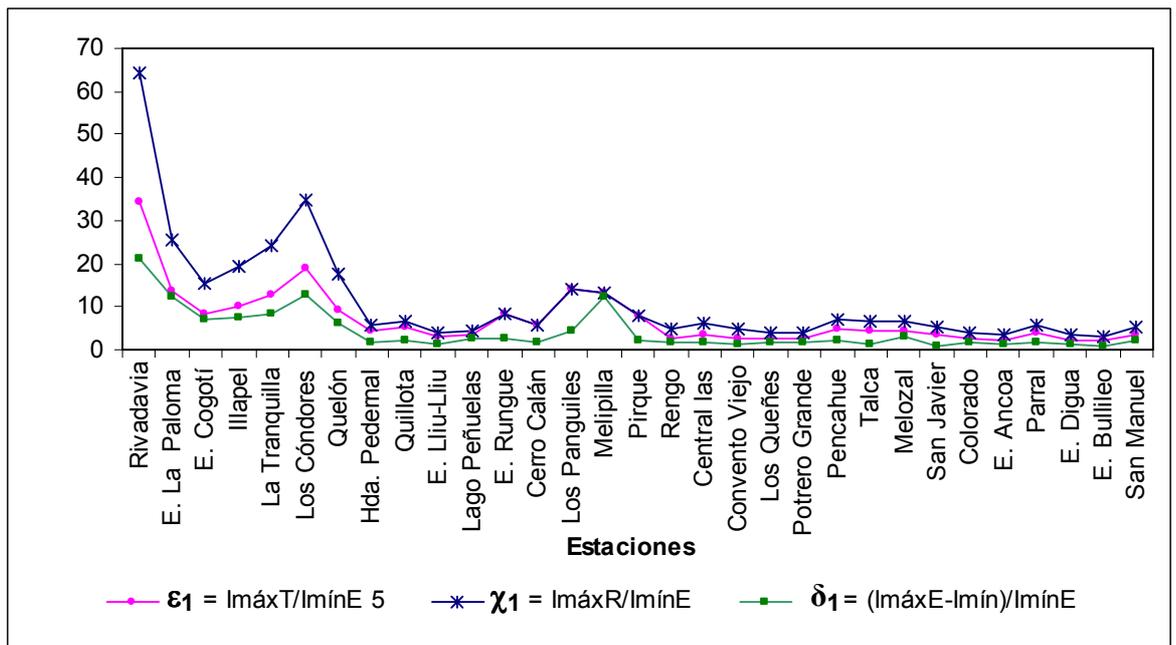


Figura 7.4. Gráfico de índices para las series completas, para la duración de 1 hora

Por otro lado, en la figura 7.5 se presentan los gráficos correspondientes a los mismos índices, pero para los 5 valores máximos (ε_2 , χ_2 , δ_2), donde a diferencia del gráfico anterior, en éste no se observa tendencia alguna, desde un punto de vista latitudinal, entre las tres variables.

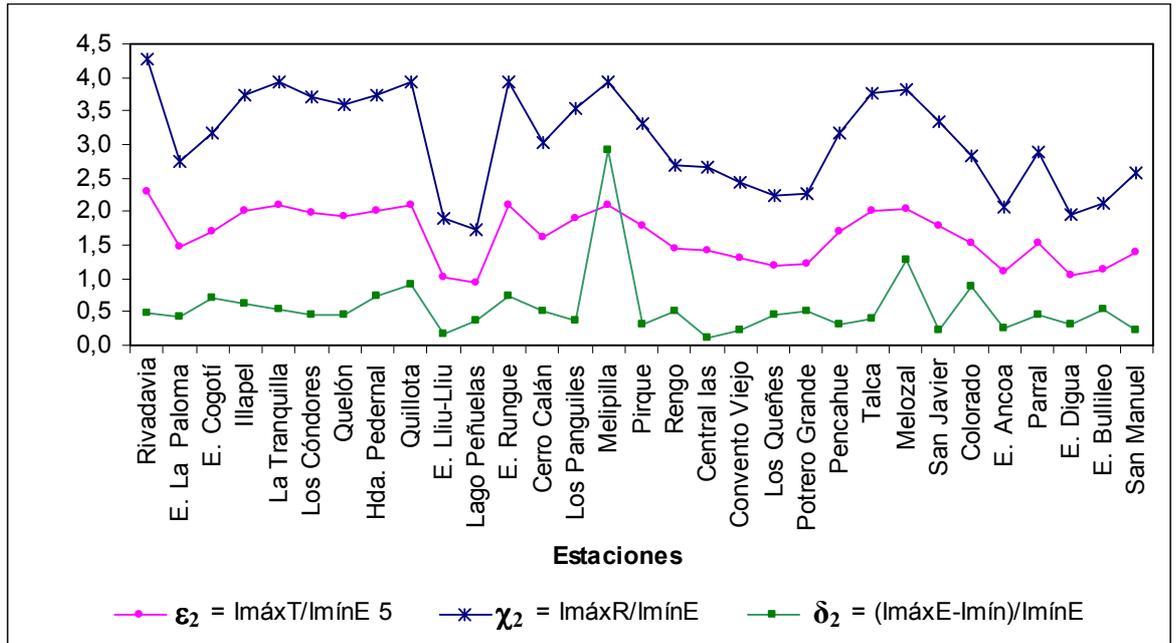


Figura 7.5. Gráfico de índices para los 5 valores máximos

Al analizar la figura 7.5, se observa que no existe mucha diferencia entre los 5 valores máximos, salvo algunas estaciones como Melipilla, que para el índice que denota la diferencia entre el valor máximo y mínimo dividido por el valor mínimo (δ_2), el valor fue superior a 2,5, lo que indica que esta diferencia supera en más de 2,5 veces al valor mínimo de esa estación.

Sin embargo, llama la atención que al considerar los 5 valores máximos, las estaciones ubicadas cerca de cuerpos de agua, como Embalse la Paloma y Embalse Cogotí, ubicadas en la Región de Coquimbo; Embalse Lliu – Lliu y Lago Peñuelas, ubicadas en la Región de Valparaíso; y Embalse Digua y Embalse Bullileo, ubicadas en la Región del Maule, presenten los valores más bajos, en general, para los tres índices. Esto indica que no existe mucha diferencia entre las intensidades máximas de la estación, la máxima regional, la

máxima total y la mínima de dichas estaciones (considerando solo los 5 valores máximos), lo que podría estar indicando que las estaciones cercanas a cuerpos de agua, presentan mayores intensidades que las otras estaciones.

7.2.- Análisis de las intensidades máximas de precipitación en 1 hora, para los periodos de retorno de 5 y 100 años.

7.2.1.- Análisis latitudinal.

En relación al comportamiento de las intensidades máximas de precipitación, éstas tienden a aumentar en forma leve con la latitud, principalmente para el periodo de retorno de 5 años, mientras que para el periodo de retorno de 100 años, el comportamiento tiende a ser más irregular. Asimismo, no se evidencia un comportamiento similar al de las precipitaciones medias anuales. De igual forma, si se comparan las intensidades de estaciones que se encuentran más al norte, como la estación Quelón, en la Región de Coquimbo, con las intensidades de estaciones que se encuentran más hacia el sur, como la estación Talca, ubicada en la Región del Maule, éstas casi no presentan diferencias entre ellas, presentando valores de intensidad de 9,7 mm/h y 10,8 mm/h, respectivamente para el periodo de retorno de 5 años y valores de 16,8 mm/h y 16,3 mm/h, para el periodo de retorno de 100 años, mientras que el valor de la precipitación media anual para la estación Talca, duplica al de la estación Quelón.

Con respecto al comportamiento de las precipitaciones anuales, se observó que existe una gran variación entre los montos, los que van desde 114,4 mm para la estación Rivadavia (29°58' LS), ubicada en la Región de Coquimbo, hasta 2133,4 mm para la estación Embalse Bullileo (36°17' LS), localizada en la Región del Maule, alcanzándose los mayores valores de volumen de precipitación hacia latitudes mayores. Ello responde a que a lo

largo de Chile, es posible distinguir zonas con diferentes cantidades de precipitación; así, la zona centro norte entre La Serena y Santiago, donde el efecto del anticiclón es alterado en época de invierno por la migración hacia el norte de los sistemas frontales, denota precipitaciones menores a 350 mm anuales y la zona centro sur donde en la época de invierno predomina la presencia de los sistemas frontales más activos e intensos, y que manifiesta precipitaciones entre los 500 mm y los 2000 mm anuales (Dirección Meteorológica de Chile, 2004).

7.2.2.- Análisis longitudinal.

Como se mencionó en la metodología, la comparación longitudinal se realizó por región, dadas las características geográficas de Chile. De esta forma, para la Región de Coquimbo las intensidades más altas fueron registradas en las estaciones Embalse Cogotí y Embalse la Paloma, ambas cercanas a cuerpos de agua. Asimismo se observó una tendencia muy leve a disminuir a medida que se avanza en sentido Oeste – Este.

En relación a las precipitaciones medias anuales, éstas no evidenciaron un comportamiento similar con respecto a las intensidades máximas. Del mismo modo, llama la atención que después de la estación Rivadavia, las estaciones Embalse Cogotí y Embalse la Paloma, son las que presentan los montos más bajos de precipitaciones medias anuales, pero a su vez, los valores más altos de intensidad para la Región. Esto podría estar señalando que las intensidades pueden estar influenciadas por los cuerpos de agua, como los embalses y lagos.

Por su parte, en la Región de Valparaíso, las intensidades también presentan una disminución a medida que las estaciones se ubican más hacia el Este, aunque esto es más bien producto de la carencia de estaciones hacia el

Este, porque es sabido que las zonas cordilleranas andinas presentan altas intensidades y mayores montos de precipitación, como se demuestra en la Región del Maule. Pero, a diferencia de la Región de Coquimbo, en ésta las precipitaciones medias anuales manifiestan un comportamiento similar al de las intensidades. Sin embargo, nuevamente las estaciones cercanas a cuerpos de agua, como son el Lago Peñuelas y el Embalse Lliu-Lliu, fueron las que presentaron los mayores valores de intensidades máximas de precipitación en 1 hora, para los periodos de retorno de 5 y 100 años.

Para la Región Metropolitana no se observó una tendencia marcada en el comportamiento de las intensidades para 1 hora. Sin embargo, la estación Melipilla presenta una diferencia muy marcada entre el valor del periodo de retorno de 5 años y el de 100 años, superando en más de 200% el valor del primero. Esto puede deberse a que existe una gran influencia de las fuertes precipitaciones del mes de junio del año 2000, en donde se registraron 71 mm caídos en un día, de los cuales más de la mitad se concentraron en una hora, alcanzándose una intensidad horaria de 38 mm/h (Román, 2003). Por otro lado, a diferencia de la Región anterior, en ésta las precipitaciones presentan un leve aumento en el sentido Oeste – Este.

Una situación parecida, en cuanto al comportamiento de las intensidades, se presentó en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, donde tampoco se observó un patrón determinado para ellas, las que son relativamente similares entre sí, aunque las precipitaciones aumentan en sentido Oeste-Este.

En cambio, para la Región del Maule, que corresponde a la Región con mayor número de estaciones, se distinguen claramente dos conjuntos; uno compuesto por las estaciones ubicadas en la depresión intermedia (Parral, Penco, Melozal, San Javier y Talca), donde las intensidades fluctúan entre 11 y 15 mm/h para el periodo de retorno de 5 años, y 16 y 24 mm/h para los 100 años; y el otro grupo, compuesto por las estaciones San Manuel, Embalse

Digua, Embalse Ancoa, Colorado, Embalse Bullileo, Potrero Grande y Los Queñes, que se ubican preferentemente en el sector precordillerano y cordillerano Andino, con intensidades que oscilan entre 17 y 20 mm/h, para el periodo de retorno de 5 años, mientras que para los 100 años se presentan intensidades entre 26 y 31 mm/h. Aquí, nuevamente algunas de las intensidades más altas fueron registradas en estaciones cercanas a cuerpos de agua, como la estación Embalse Digua, Colorado y Embalse Bullileo. Asimismo las precipitaciones medias anuales, presentaron un comportamiento gráfico similar al que se observó con las intensidades.

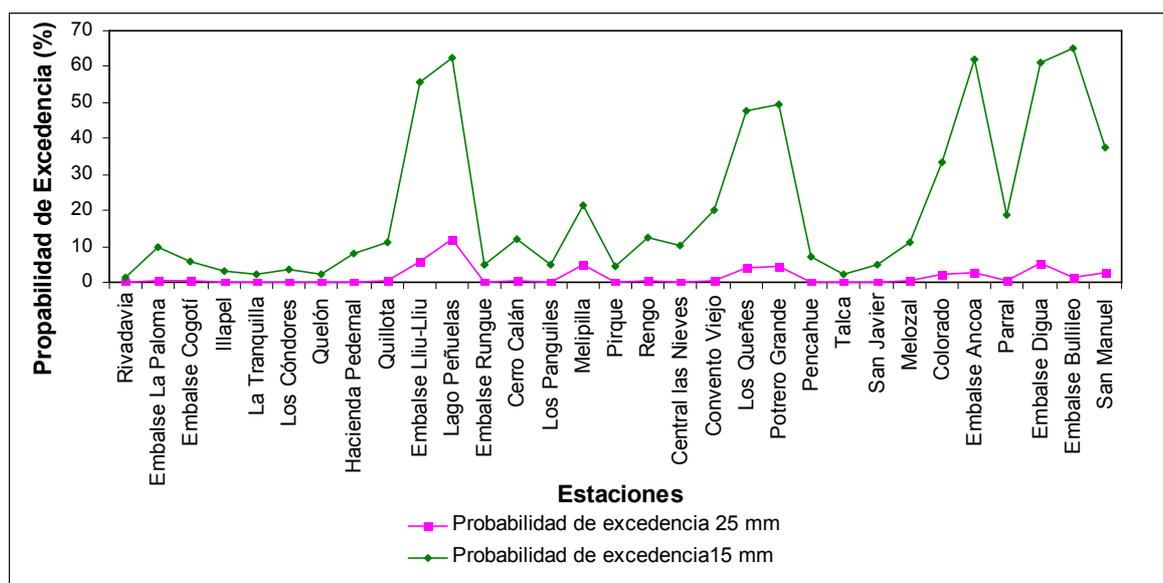
Sin duda, en general, un hecho de alta relevancia que se observó, es que las intensidades más altas registradas en ciertas regiones y especialmente para el periodo de retorno de 100 años, corresponden a estaciones ubicadas cerca de cuerpos de agua, como Embalse La Paloma y Embalse Cogotí (20,4mm/h), pertenecientes a la Región de Coquimbo; Embalse Lliu- Lliu (31,8mm/h) y Lago Peñuelas (37,4mm/h), ubicadas en la Región de Valparaíso; Embalse Digua (28,2mm/h), Colorado (28,2mm/h) y Embalse Bullileo (25,6mm/h), perteneciente a la Región del Maule.

7.2.3.- Análisis altitudinal.

En el análisis altitudinal, se observó que las intensidades máximas de precipitación no presentan tendencia alguna, salvo en un tramo de la curva, correspondiente al periodo de retorno de 5 años, entre las estaciones Talca y Convento Viejo, donde se presenta un leve aumento. En relación a los valores de la precipitación media anual, tampoco se observó alguna tendencia, destacándose que las precipitaciones más bajas se registraron a mayor altitud. Sin embargo, aquellas estaciones son las que se encuentran más al Norte de la zona de estudio, la que se caracteriza por la presencia de cordones montañosos de gran altura y por la presencia de un clima árido y semiárido.

7.3.- Análisis de las Probabilidades de excedencia para distintas intensidades.

Con la finalidad de evaluar cuáles son las estaciones que presentan mayores probabilidades de presentar intensidades máximas altas, se decidió calcular las probabilidades de excedencia para las intensidades de 15 y 25 mm/h. es decir, la probabilidad de que estas intensidades sean superadas. En la figura 7.6, fueron graficadas dichas probabilidades para ambas intensidades, ordenadas de Norte a Sur.



7.6: Probabilidades de excedencia para las intensidades de 15 y 25 mm/h

En la figura anterior se observa que las estaciones que presentan las mayores probabilidades de exceder los 15 mm/h son Embalse Lliu-Lliu y Lago Peñuelas, pertenecientes a la Región de Valparaíso; y las estaciones Los Queñes, Potrero Grande, Embalse Digua y Embalse Bullileo, ubicadas en la Región del Maule, todas con valores superiores al 45%. Asimismo, para la probabilidad de exceder los 25 mm, se tiende a repetir el comportamiento, siendo en general, las mismas estaciones las que presentan las mayores probabilidades, aunque con valores inferiores al 12%.

A través de este análisis, nuevamente se observa que algunas de las estaciones que presentan mayor probabilidad de presentar intensidades altas, son la que se localizan cercanas a cuerpos de agua, como ocurre con el Lago Peñuelas, Embalse Lliu-Lliu, Colorado y Embalse Digua.

7.4.- Influencia de los embalses y lagos en el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación.

Para determinar y comprobar el efecto producido por la presencia de cuerpos de agua, sobre las intensidades máximas de precipitación, se realizó una comparación gráfica, para la duración de 1 hora y los periodos de retorno 5 y 100 años, donde en primer lugar fueron consideradas todas las estaciones en estudio (figura 7.7), ordenadas de Norte a Sur. Posteriormente, fueron eliminadas las estaciones cercanas a cuerpos de agua, como embalses y lagos (figura 7.8).

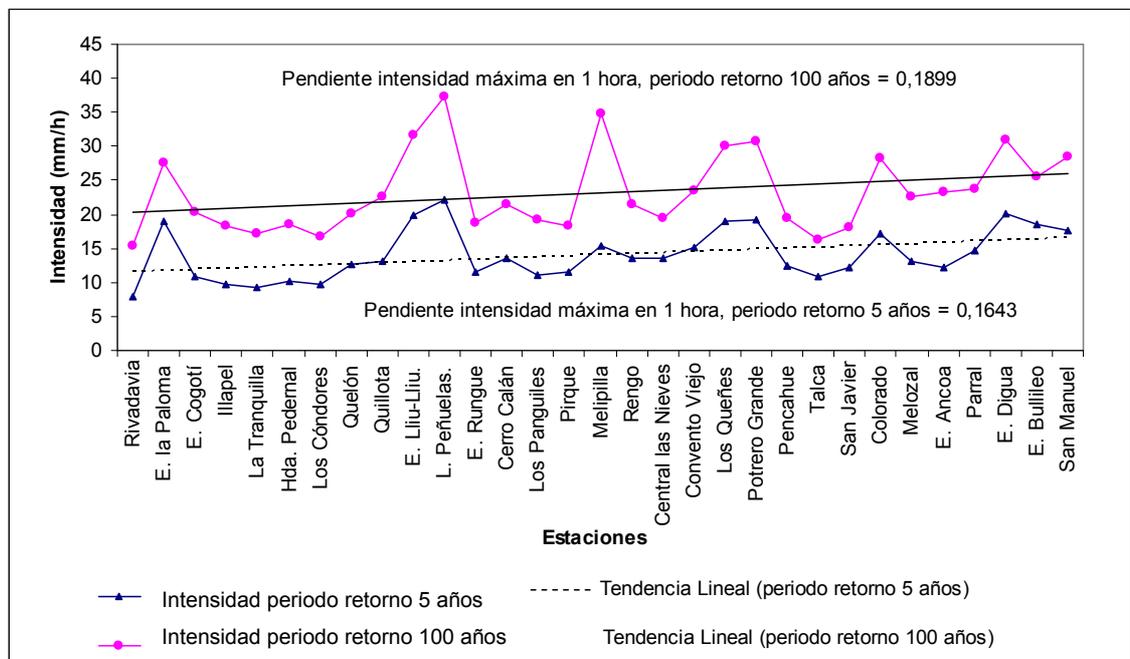


Figura 7.7: Intensidades de precipitación para un periodo de retorno de 100 años, considerando las estaciones cercanas a cuerpos de agua, ya sea lago o embalse.

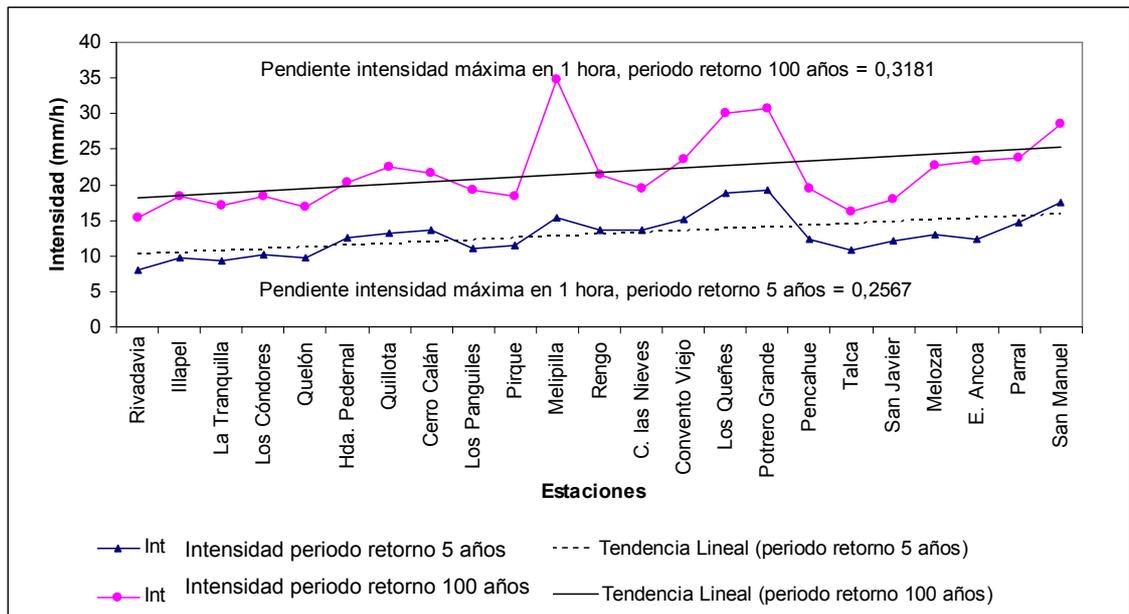


Figura 7.8: Intensidades de precipitación para un periodo de retorno de 100 años, sin considerar las estaciones cercanas a cuerpos de agua.

De los gráficos anteriormente expuestos, se desprende que las intensidades máximas de precipitación asociadas a un periodo de retorno de 100 años, se distribuyen de forma creciente a mayor latitud. Esta situación se hace más evidente para el periodo de retorno de 100 años y es independiente de la presencia o ausencia de cuerpos de agua.

Por otro lado, las pendientes de las rectas con la presencia de embalses fueron menores a la pendiente de la recta en ausencia de cuerpos de agua. Esta diferencia se hizo más evidente para el periodo de retorno de 100 años, que presentó una pendiente de 0,1899 para el conjunto de todas las estaciones (gráfico 7.7) y de 0,3181 al ser eliminadas las estaciones cercanas a cuerpos de agua (gráfico 7.8). Esto lleva a pensar que sí existe una influencia de los cuerpos de agua, sobre las intensidades máximas de precipitación, principalmente en Regiones ubicadas más Norte, como la Región de Coquimbo y de Valparaíso, lo que provoca que la pendiente de la línea de tendencia de las intensidades sea un poco menos drástica.

Para ratificar el efecto que los embalses o lagos, ya sean naturales o artificiales, tienen sobre las intensidades máximas, se graficó para cada región el promedio de todas las estaciones, el promedio de todas las estaciones menos las cercanas cuerpos de agua y el promedio de las estaciones cercanas a lagos y embalses. Estos promedios fueron determinados para la duración de 1 hora, pero para los periodos de retorno de 5 y 100 años (figuras 7.9 y 7.10). En estos gráficos fueron excluidas las Regiones Metropolitana, la que a pesar de presentar una estación cercana a un cuerpo de agua (Embalse Rungue), no es relevante, y la Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins, por no presentar ninguna estación cercana a embalses o lagos en el estudio.

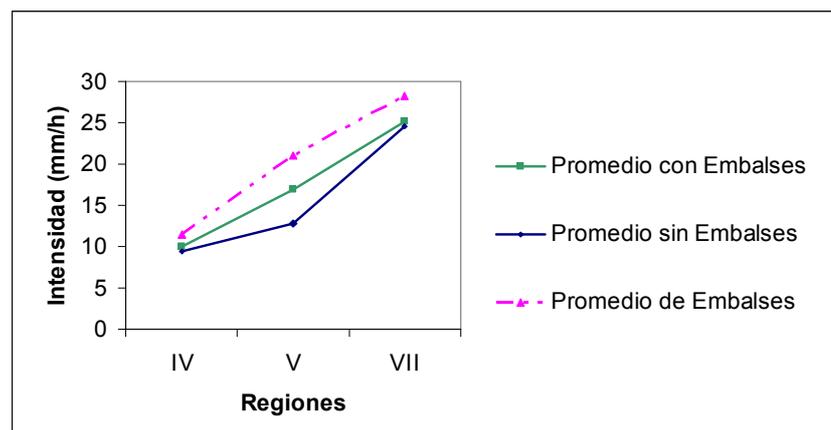


Gráfico 7.9. Promedio regional de las intensidades máximas de precipitación para la duración de 1 hora y periodo de retorno de 5 años

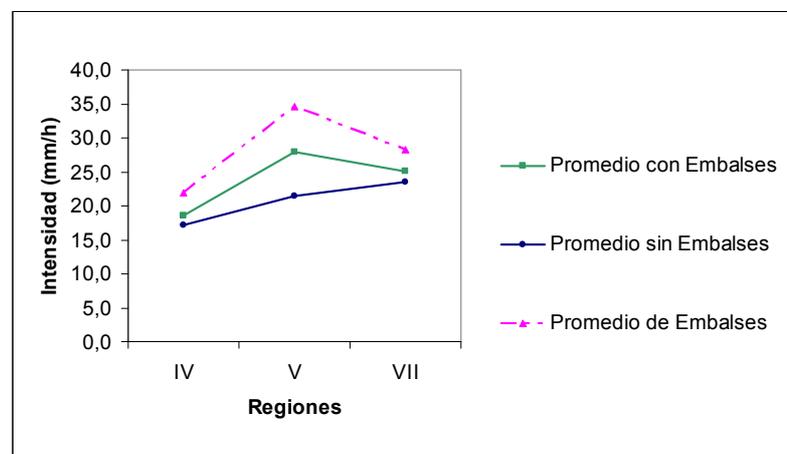


Gráfico 7.10. Promedio regional de las intensidades máximas de precipitación para la duración de 1 hora y periodo de retorno de 100 años

En estos gráficos, se observa claramente que el promedio de los embalses es superior a las otras dos agrupaciones de datos. Además, se observa que para el periodo de retorno de 5 años (figura 7.9), los mayores promedios ocurren en la Región del Maule, mientras que para el periodo de retorno de 100 años (figura 7.10), los promedios más altos están dados para la Región de Valparaíso.

7.5.- Análisis de los modelos matemáticos ajustados.

Como se mencionó en la metodología, a través de los modelos matemáticos, se determinaron las duraciones en que se intersectan las curvas IDF, para distintas estaciones. Asimismo, para cada par de estaciones comparadas, fue posible determinar cual de ellas supera en valor de intensidad a la otra, a partir de la duración de intersección. De este modo, llamó la atención que algunas estaciones que presentan valores bajos de intensidad para 1 hora, posteriormente superen a otra estación con un valor inicial más alto, a partir de la duración en que se cruzan. A modo de ejemplo, en la figura 7.11 se graficaron las curvas IDF de las estaciones Rivadavia y Quelón, de la Región de Coquimbo.

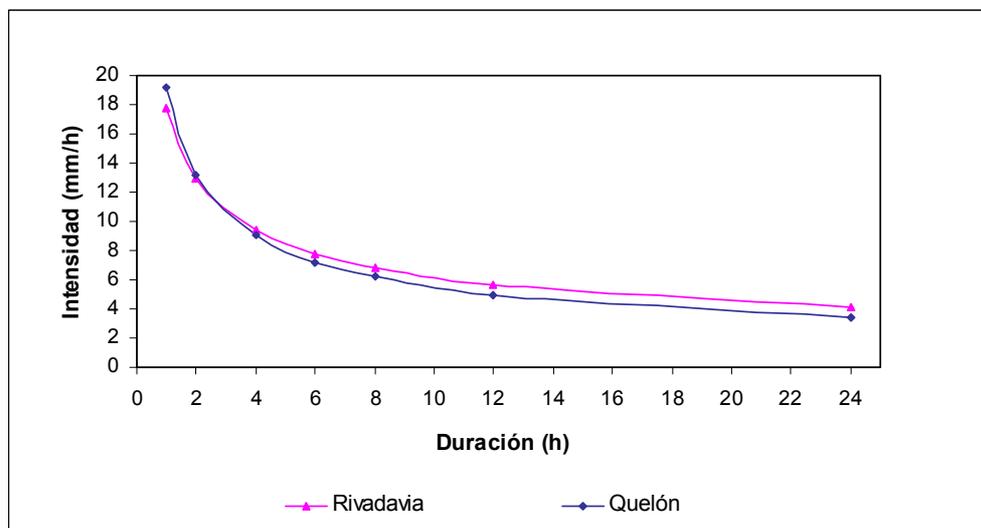


Figura 7.11: Intersección de Curvas IDF para las estaciones Rivadavia y Quelón

A partir de esta gráfica, se observa que la estación Rivadavia presenta un valor de intensidad menor al de la estación Quelón, para la duración de 1 hora; sin embargo, a partir de intersección de las curvas a la duración 2,4 horas, la estación Rivadavia supera en intensidad a la estación Quelón. Esto demuestra que, no necesariamente las estaciones que registran los menores valores de intensidad para 1 hora, seguirán presentando los valores más bajos para otras duraciones.

En relación a esto, se detectó que las estaciones de las Regiones de Valparaíso, Metropolitana, Libertador General Bernardo O'Higgins y Maule, a partir de la duración en que se cruzan con las estaciones de la Región de Coquimbo, las superan en valor de intensidad. Un comportamiento similar ocurre entre la Región de Valparaíso con la Metropolitana donde, en general, las estaciones de la Región de Valparaíso que se intersectan con las estaciones de la Región Metropolitana, también las superan en valor de intensidad, a partir de la duración de intersección. Sin embargo, este comportamiento tan definido no se observó en todos los casos, como por ejemplo entre las intersecciones de las Regiones de Valparaíso y del Maule, o entre las Regiones Metropolitana y Maule, donde sólo un cierto número de estaciones de cada Región, supera en valor a las de la otra Región, a partir del cruzamiento de sus curvas.

Por otra parte, se observó que las mayores intersecciones se produjeron antes de las 12 horas. Para ratificar esto, en la tabla 23 se resumió el número de comparaciones que se hicieron por región y entre regiones, para determinar las duraciones en que se cruzan las curvas IDF. A su vez, en las tablas 24 a la 26 se muestran los porcentajes de estaciones que se intersectaron antes y después de las 12 horas y los porcentajes de estaciones que no se cruzaron en ningún punto de sus respectivas curvas, dentro de los rangos de duraciones establecidas para dichas curvas (entre 1 y 24 horas).

Tabla 23. Número de estaciones comparadas por Región y entre Regiones.

Regiones	IV	V	RM	VI	VII
IV	21	28	35	21	84
V		6	20	12	48
RM			10	15	60
VI				3	36
VII					66

Tabla 24. Porcentaje de estaciones que se intersectan antes de las 12 horas.

Regiones	IV	V	RM	VI	VII
IV	23,8%	10,7%	37,1%	38,1%	6%
V		16,7%	25%	16,7%	16,7%
RM			40%*	46,7%	23,3%
VI				6,7%	8,3%
VII					11,1%

*Valor máximo

Tabla 25. Porcentaje de estaciones que se intersectan después de las 12 horas.

Regiones	IV	V	RM	VI	VII
IV	0%	0%	8,6%	4,8%	3,6%
V		0%	0%	0%	4,2%
RM			20%*	6,6%	1,7%
VI				0%	5,6%
VII					4,5%

*Valor máximo

Tabla 26. Porcentaje de estaciones que no se intersectan

Regiones	IV	V	RM	VI	VII
IV	76,2%	83,3%	54,3%	57,1%	90,4%
V		83,3%	75%	83,3%	79,1%
RM			40%	46,7%	75%
VI				93,3%*	86,1%
VII					84,4%

*Valor máximo

De este modo, al considerar las intersecciones para las estaciones de una misma Región, en general, se confirma que el mayor número de cruzamientos de curvas ocurrieron antes de las 12 horas. Así, para la Región de Coquimbo cuando hubo intersecciones, éstas ocurrieron antes de las 12 horas, con un porcentaje de 23,8%; Asimismo un 76,2% de las estaciones comparadas no se cruzaron en el rango de duración establecido para las curvas IDF. En la Región de Valparaíso, al igual que la Región anterior, todas las intersecciones se registraron antes de las 12 horas con un 16,7% y un 83,3% no se cruzaron. En cambio, en la Región Metropolitana, un 40% se cruzó antes de las 12 horas y un 20 después de dicha hora, mientras que un 40% no se cruzó. Para la Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins, todas las intersecciones ocurrieron antes de las 12 horas, con un porcentaje de 6,7% y un 93,3% no se cruzó. A su vez, en la Región del Maule, un 11,1% se cruzó antes de las 12 horas, un 4,5% después y un 84,4% no se cruzó.

Para las comparaciones entre las estaciones de las distintas Regiones, la situación es similar; también los mayores porcentajes de intersecciones ocurrieron antes de las 12 horas. Así, los porcentajes de intersecciones antes de dicha hora, fluctúan entre 6% entre las estaciones de la Región de Coquimbo y la Región del del Maule, y 46,7% entre las Regiones Metropolitana y Libertador General Bernardo O'Higgins. Asimismo, para la intersección después de las 12 horas, los porcentajes varían desde 0%, entre las estaciones de la Región de Coquimbo con la de Valparaíso, la Región de Valparaíso con la Metropolitana, y la de Valparaíso con la del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins, hasta un 8,6% entre las Regiones de Coquimbo y Metropolitana. Por su parte, las estaciones que no presentaron intersecciones entre sus curvas van desde 46,7% entre las Regiones Metropolitana y del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins, hasta un 90,4% entre la Región de Coquimbo y la del Maule. Esta gran diferencia se debe a, que en general, las estaciones de la Región del Maule, presentan valores de intensidad superiores, para las diferentes duraciones, que la Región de Coquimbo.

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1.- Conclusiones

En función de los resultados obtenidos en el estudio de las intensidades máximas de precipitación, en parte de la zona árida y semiárida del país, es posible plantear las siguientes conclusiones:

- En relación a la comparación estadística, a través de la comparación de medianas, mediante la utilización de la Prueba U de Mann Whitney y como era de esperar, los mayores porcentajes de diferencias ocurrieron entre regiones, principalmente entre la Región de Coquimbo con las Regiones de Valparaíso, Lib. General Bernardo O'Higgins y Maule. Sin embargo, llamó la atención que no existiera diferencia entre algunas estaciones de la Región de Coquimbo, con algunas de las estaciones de la Región del Maule.
- En torno al punto anterior, no necesariamente mayores volúmenes de precipitación generan mayores intensidades, lo que queda de manifiesto al comparar las estaciones de la Región de Coquimbo, con algunas de las estaciones ubicadas más al sur, donde se pudo observar que no existe mucha diferencia en cuanto a los montos de intensidad máxima, independiente del periodo de retorno. Pero, si se comparan las precipitaciones medias anuales, en la zona norte precipita un monto casi tres veces menor que en la zona sur. Ello demuestra que en la zona norte existe una mayor probabilidad de encontrar eventos de alta intensidad.
- Por otro lado, se pudo observar que la variabilidad de las intensidades fue mayor en la Región de Coquimbo, ubicada más al norte de la zona de estudio, donde los coeficientes de variación fluctuaron entre 39,1% y 53,3%; mientras que para la Región del Maule, localizada en el extremo sur de la

zona de estudio, los coeficientes de variación oscilaron entre 17,8% y 39,1%.

- En cuanto al comportamiento latitudinal de las intensidades, éste arroja que éstas se manifiestan con una tendencia levemente ascendente en magnitud, de Norte a Sur.
- En lo que respecta al comportamiento longitudinal, se establecieron tres casos distintos: el primero, que comprende las Regiones de Coquimbo y de Valparaíso, donde se pudo observar que las intensidades disminuyen en sentido longitudinal de Oeste a Este; sin embargo, se debe tener presente que en estas dos Regiones, el número de estaciones es insuficiente, y además los valores más altos de intensidad, para la duración de 1 hora y los periodos de retorno de 5 y 100 años, fueron siempre para las estaciones cercanas a embalses y lagos, a saber Embalse la Paloma, Embalse Cogotí, Lago Peñuelas y Embalse Lliu-Lliu. El segundo caso, abarca a las Regiones Metropolitana y del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins, donde las intensidades máximas, ubicadas en sentido Oeste – Este, casi no evidenciaron diferencias en los valores de intensidad en 1 hora, para los dos periodos de retorno considerados; salvo para el periodo de retorno de 100 años de la estación Melipilla, la que supera considerablemente al resto de las estaciones, El último caso, lo comprende la Región del Maule, donde existe una marcada diferencia entre las estaciones ubicadas en la depresión intermedia con las ubicadas en la precordillera y cordillera andina, donde estas últimas presentan mayores intensidades.
- Finalmente, en casi todas las Regiones, las estaciones cercanas a cuerpos de agua, registraron valores de intensidad superior al resto de de sus estaciones, por lo que se concluye que la presencia de cuerpos de agua, aumenta la magnitud de las intensidades.

8.2.- Recomendaciones

Como una forma de mejorar el estudio se recomienda ampliar el estudio a otras regiones, con el fin de estudiar más detalladamente el comportamiento que se observó en las estaciones cercanas a cuerpos de agua.

En relación a esto, también se podrían comparar las series de datos previo a la construcción de los embalses, con los de su posterior construcción; sin embargo esto es difícil, pues en algunos casos los pluviógrafos fueron instalados a partir del funcionamiento de los embalses, y donde a lo más se podría contar con datos pluviométricos.

Por otro lado, se recomienda estudiar tormentas particulares, instalando pluviógrafos en zonas cercanas a embalses y en áreas más lejanas a los cuerpos de agua, con el fin de analizar la incidencia de estos últimos sobre las intensidades máximas de precipitación.

Finalmente se recomienda agregar al estudio, otras estaciones pluviográficas correspondientes a instituciones como la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), universidades públicas y privadas y diversas instituciones, para ampliar la base de datos.

BIBLIOGRAFÍA

ABARZA, A. 2001. Análisis comparativo de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), en seis estaciones pluviográficas distribuidas en la zona cordillerana andina y del valle central de la VII Región de Chile. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile. 105 p.

ASOCIACIÓN CATALANA DE INGENIERÍA SIN FRONTERAS, 2002. Tecnologías para el abastecimiento y saneamiento de agua en proyectos de cooperación al desarrollo de zonas rurales. Módulo I Abastecimiento. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. España. 63 p.

BEDIENT, P.; HUBER, W. 1992. Hydrology and floodplain analysis. Segunda Edición. Estados Unidos. 692 p.

BENEDETTI S.; VALDEBENITO, G. 1997. Forestación y Silvicultura en Zonas Áridas y Semiáridas de Chile. Visión del Instituto Forestal sobre la investigación para zonas áridas y semiáridas. INFOR - CORFO. Santiago, Chile. 131-134 p.

BERNARD, M.M., 1932. Formulas for rainfall intensities of long durations. Trans. ASCE, Vol. 96, p. 592-624.

CANAVOS, G. 1995. Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y métodos. McGraw - Hill Interamericana. México. 651p.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. 1994. Hidrología Aplicada. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 584 p.

CONAF – CONAMA, 1999, Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Regional de la Primera a la Cuarta Región. Santiago, Chile. 234 p.

CONAF – CONAMA, 1999, Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Regional de la Quinta Región. Santiago, Chile. 141 p.

CONAF – CONAMA, 1999, Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Regional de la Región Metropolitana. Santiago, Chile. 158 p.

CONAF – CONAMA, 1999, Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Regional de la Sexta Región. Santiago, Chile. 107 p.

CONAF – CONAMA, 1999, Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Regional de la Séptima Región. Santiago, Chile. 116 p.

CONAMA. 2005. Disponible en <http://www.conama.cl/portal/1255/channel.html>. Consultada el 10 de Marzo de 2005 (en línea).

CORAS, P.; ARTEAGA, R.; VÁZQUEZ, M.; ALMENGOR, R. 2001. Frecuencia de lluvias máximas, con fines de drenaje superficial local. Edo de Tabasco, México. Disponible en [http://www.met.inf.cu/Memorias/Paginas/rticulos/Extranjeros\(PDF\)/Pablo%20M._Coras2.pdf](http://www.met.inf.cu/Memorias/Paginas/rticulos/Extranjeros(PDF)/Pablo%20M._Coras2.pdf). Consultada el 15 de marzo de 2004 (en línea).

CORNEJO, M. 2004. Determinación gráfica y matemática de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia en siete estaciones pluviográficas de la región de Coquimbo. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. 82 p.

DE FRAJA, E. 1993. Saneamiento de la cuenca hidrológica del río Bío-Bío y del área costera adyacente. Estudio de prefactibilidad. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 600 p.

DMC. DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. Disponible en <http://www.meteochile.cl>. Consultada el 20 de octubre de 2005 (en línea).

ESPÍLDORA, B. 1971. Estimación de curvas intensidad-duración-frecuencia mediante coeficientes generalizados. Memorias I Coloquio Nacional Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Chile. 274 p.

Facultad de Ciencias Biológicas. Pontificia Universidad Católica. Biometría. Disponible en <http://www.bio.puc.cl/cursos/bio242a/Clase9.doc>. Consultada el 10 de Marzo de 2005 (en línea).

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 1989. Arid Zone Forestry, a Guide for Field Technicians. Roma. 143 p.

FERNÁNDEZ, F. 1995. Manual de Climatología Aplicada. Clima, Medio Ambiente y Planificación. Primera Edición. Madrid. España 285 p.

GOBIERNO DE CHILE. Disponible en (http://www.gobiernodechile.cl/canal_regional/geo_nacional_det.asp?id_geo=4). Consultado el 10 de Marzo de 2005 (en línea).

GOBIERNO REGIONAL DE COQUIMBO, disponible en http://www.gorecoquimbo.cl/descargas/edr/cap2_2.pdf). Consultado el 20 de junio de 2005 (en línea).

KOUTSOYIANNIS, D., KOZONIS, D. AND MANETAS, A., 1998. A Mathematical Framework for Studying Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships. Journal of Hydrology. Vol. 206, p. 118-135.

LINSLEY, R. K., KOHLER, M., PAULHUS, J. 1949. Applied Hidrology. McGraw-Hill. New York. 689 p.

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

LLAMAS, J. 1993. Hidrología General. Principios y Aplicaciones. Madrid, España. 635 p.

LÓPEZ CADENAS, F. 1998. Restauración Hidrológico Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. Tragsa, Tragsatec y Ministerio de Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 902 p.

MACAYA, K. 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. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile. 94 p

MAIDMENT, D. 1993. Handbook of hydrology. Editorial Mc Graw-Hill. New York, USA. 1.325 p.

MASON, R.; LIND, D. 1995. Estadística para Administración y Economía. Tercera edición. Editorial Iberoamericana. México D. F., México. 707 p.

MENDENHALL, W.; SINCICH, T. 1997. Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias. Editorial Prentice-Hall. D.F., México. 1182 p.

MINTEGUI, J.; LÓPEZ, F. 1990. La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria – Gasteiz. España. 306 p.

MINTEGUI, J; ROBREDO, J. 1993. Métodos para la estimación de los efectos torrenciales en una cuenca hidrográfica. Madrid, España. 88 p.

MONSALVE, G. 1999. Hidrología en la Ingeniería. Segunda edición. Editorial Alfa Omega S.A. Santa Fé de Bogotá. Colombia. 382 p.

NANÍA, L. 2003. Hidrología Superficial: La Cuenca y los Procesos Hidrológicos. Disponible en http://www.puertosycostas.com/pyc/html/docente/apuntes/Lacuencaaylos_2003.pdf. Consultada el 16 Diciembre de 2004.

PAVÉZ, M. 2004. Determinación gráfica y matemática de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), en seis estaciones pluviográficas de la Región del Maule. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile. 102 p.

PEREYRA, D., PÉREZ J., GÓMEZ L. 2004. Ecuaciones que estiman las curvas intensidad-duración-período de retorno de la lluvia. Revista GEOS. México. Vol. 24, No. 1, p. 46-56.

PIZARRO, R. 1986. Elementos técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal (CONAF). La Serena, Chile. 78 p.

PIZARRO, R. 1999. Análisis de la gestión del agua en zonas áridas y semiáridas: una propuesta de actuación. Rivista Cidob d'Afers internacionals. Vol 45-46. 11-33 p.

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

PROYECTO RIO DE JANEIRO. Disponible en <http://www.cprm.gov.br/geo/chuvas.html>. Consultada el 15 de noviembre de 2005 (en línea).

REMIERAS, G. 1971. Tratado de Hidrología Aplicada. Editores Asociados. Madrid. España. 515 p.

ROMÁN, L. 2003. Análisis comparativo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF) en cinco estaciones pluviográficas de la Región Metropolitana. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile. 105 p.

SHERMAN, C., 1931. Frequency and intensity of excessive rainfall at Boston, Mass. Revista Trans. Am. S.C.E. Vol. 95. p. 951-960.

STAPPUNG, C. 1999. Lluvias de diseño de sistemas de aguas lluvias en Chile. Memorias XIV Congreso Chileno de Hidrología. Santiago, Chile. 512 p.

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

UNCOD, 1977. Draft plan of action to combat desertification. UN Conference on Desertification. UNEP, Nairobi.

VARAS, E.; SÁNCHEZ, S. 1988. Curvas generalizadas de intensidad - duración-frecuencia de lluvias. Hidrología y drenaje vial. Chile. 332 p.

WENZEL, H.G., 1982. Rainfall for urban stormwater design, in Urban Storm Water Hydrology. Water Resources Monograph 7, American Geophysical Union. Washington, D.C., USA. 125-139 p

WILLEMS, P., 2000. Compound intensity – duration – frequency -relationships of extreme precipitation for two season and two storm types. Journal of Hydrology. Vol. 233. 189-205 p.

ZEVALLOS, O. 1996. Ocupación de laderas: Incremento del Riesgo por Degradación Ambiental Urbana en Quito, Ecuador. Disponible en <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/spa/doc8369/doc8369.htm>. Consultada el 7 de abril de 2005 (en línea).

APÉNDICES

APÉNDICE 1

Series de intensidades máximas de precipitación para 1 hora.

Las tablas siguientes, muestran las series de datos correspondientes a las intensidades máximas de precipitación en 1 hora, para cada estación, ordenadas de mayor a menor intensidad.

Tabla 1: Valores de intensidades máximas de precipitación para 1 hora, pertenecientes a las estaciones de la IV Región.

Los Cóndores	Rivadavia	Illapel	Quelón	Embalse Cogotí	La Tranquilla	Embalse la Paloma
15,0	13,3	16,6	15,6	20,6	15,0	20,0
12,6	10,0	13,7	11,8	15,2	13,4	19,5
11,5	9,0	12,3	11,3	14,8	11,4	18,0
11,0	9,0	11,0	10,9	12,3	11,2	15,8
10,4	9,0	10,3	10,7	12,1	9,8	14,0
9,5	8,7	9,2	10,2	11,1	9,6	14,0
9,3	8,0	9,1	10,0	11,0	9,6	12,3
9,0	7,2	9,0	9,8	10,8	9,5	12,3
8,8	7,0	8,7	8,7	10,0	9,4	11,8
8,5	6,2	8,2	7,5	9,3	9,2	11,8
8,2	6,0	8,1	7,5	9,3	9,0	11,4
7,5	6,0	8,0	7,0	9,0	8,8	10,5
6,5	6,0	7,3	6,8	8,8	8,7	10,3
6,3	5,5	7,0	6,7	8,7	8,0	10,1
6,0	5,0	6,0	6,5	7,0	7,9	10,1
5,6	4,5	5,9	6,5	7,0	7,5	9,8
5,6	4,3	5,8	6,5	7,0	7,0	9,7
5,5	3,5	5,5	6,5	6,7	6,5	9,7
3,5	3,3	5,0	6,2	6,6	6,3	9,7
2,5	3,0	4,8	5,5	6,2	6,0	8,8
2,5	3,0	4,5	5,5	5,8	5,3	8,5
1,1	2,9	4,1	5,5	5,7	5,2	8,2
	1,5	4,0	5,1	5,4	5,2	7,9
	1,5	3,4	5,1	5,3	4,8	7,8
	0,6	2,5	5,0	5,3	4,7	7,5
		2,3	3,0	4,9	4,0	7,5
		2,0	2,2	4,8	4,0	7,0
				4,5	4,0	7,0
				4,5	4,0	6,4
				3,8	3,9	5,5
				3,7	3,8	5,0
				3,3	2,5	4,9
				2,5	2,5	4,8
					1,6	3,5
						3,5
						2,9
						2,7
						2,7
						1,7
						1,5

Fuente: Elaboración propia, basada en la información del proyecto "Determinación de las Curvas IDF en parte de la zona árida y semiárida del país".

Tabla 2: Valores de intensidades máximas de precipitación para 1 hora, pertenecientes a las estaciones de la V Región.

Hacienda Pedernal	Quillota	Embalse Lliu- Lliu	Lago Peñuelas
17,8	18,6	23,4	30,3
12,3	17,9	23,2	29,4
11,3	10,5	21,2	25,3
10,6	9,8	20,9	23,4
10,3	9,8	20,2	22,3
10,2	9,2	19,2	22,3
8,6	9,2	17,2	21,6
8,2	8,6	15,1	20,4
7,6	8,3	13,4	19,4
6,7	7,9	13,1	16,7
	7,8	11,3	16,3
	5,8	11,2	16,1
		10,8	15,8
		9,8	13,9
			13,1
			12,9
			12,1
			11,9
			10,1
			9,9
			8,5

Fuente: Elaboración propia, basada en el proyecto “Determinación de las Curvas IDF en parte de la zona árida y semiárida del país”

Tabla 3: Valores de intensidades máximas de precipitación para 1 hora, pertenecientes a las estaciones de la Región Metropolitana.

Los Panguiles	Embalse Rungue	Cerro Calán	Melipilla	Pirque
14,8	17,0	19,2	38,5	15,2
13,2	13,0	15,5	15,0	14,2
11,5	12,0	15,3	12,0	11,7
11,3	11,2	14,0	10,0	11,6
10,9	9,8	12,7	9,8	11,6
9,8	9,7	11,9	8,9	11,2
9,5	9,6	11,5	8,5	10,0
8,2	9,5	10,9	8,1	9,5
7,2	9,5	10,2	7,7	9,3
7,1	9,5	10,0	7,6	9,2
7,0	9,0	9,9	7,3	8,3
6,8	8,1	9,7	7,1	7,7
5,4	7,0	9,1	6,9	7,2
4,0	6,4	8,7	4,8	6,8
2,7	5,7	8,2	4,5	6,5
	4,7	7,1	4,3	6,3
		6,7	2,9	4,8

Fuente: Elaboración propia, basada en la información del proyecto “Determinación de las Curvas IDF en parte de la zona árida y semiárida del país”

Tabla 4: Valores de intensidades máximas de precipitación para 1 hora, pertenecientes a las estaciones de la VI Región.

Convento Viejo	Rengo	Central las Nieves
19,3	21,5	16,2
17,8	16,6	15,6
17,6	14,8	15,4
16,2	14,3	15,1
15,9	14,3	14,5
15,8	13,8	14,3
15,2	13,7	13,8
13,3	13,3	13,2
12,9	12,2	13,2
12,5	11,9	13,1
11,4	11,4	12,4
10,6	10,8	12,3
10,4	10,3	12,3
10,3	10,1	12,1
10,2	9,8	11,6
10,1	9,7	11,5
9,6	9,6	11,1
9,6	9,4	10,4
8,4	9,2	10,2
7,9	9,1	10,2
7,8	9,1	10,2
	8,7	10,1
	8,6	9,8
	8,2	9,8
	7,8	9,7
	7,7	9,6
		6,1

Fuente: Elaboración propia, basada en la información del proyecto "Determinación de las Curvas IDF en parte de la zona árida y semiárida del país"

Tabla 5: Valores de intensidades máximas de precipitación para 1 hora, pertenecientes a las estaciones de la VII Región.

Colorado	San Manuel	Los Queñes	Potrero Grande	Embalse Ancoa	Embalse Digua	San Javier	Embalse Bullileo	Pencahue	Talca	Melozal	Parral
25,6	23,0	25,2	25,7	23,4	25,8	14,2	22,4	15,9	14,3	23,0	19,3
22,3	22,6	22,4	24,8	20,2	25,1	14,0	21,2	13,4	13,1	14,6	18,3
14,8	18,8	20,7	19,0	20,2	20,0	13,4	19,2	13,1	10,8	13,1	16,6
14,1	16,1	19,3	18,0	19,8	19,6	11,8	18,9	12,3	10,2	12,7	16,4
13,6	14,9	17,2	17,0	18,6	19,6	11,5	18,2	12,1	10,2	10,1	13,4
13,0	13,6	15,9	16,5	17,4	18,2	11,4	16,8	12,0	10,0	9,6	12,9
12,6	13,3	14,7	15,9	17,0	15,8	10,9	16,0	12,0	9,5	9,5	12,4
12,5	13,0	14,5	15,5	16,0	15,6	10,9	15,8	11,1	9,4	9,3	12,2
12,3	13,0	14,1	14,0	15,7	15,3	10,0	15,7	11,0	9,2	9,2	11,7
11,7	12,9	14,0	13,6	14,9	14,5	9,8	15,7	10,7	8,5	8,8	10,8
11,1	12,5	13,7	13,0	14,6	14,4	8,6	15,6	9,0	8,2	8,4	10,5
11,1	10,5	11,4	11,4	14,0	13,0	8,0	15,0	8,2	8,2	8,2	10,0
9,9	10,0	10,2	10,8	12,4	12,1	7,3	14,3	8,2	8,1	8,0	9,8
9,3	7,1	10,0	10,5	12,2	11,9	7,0	14,0	6,9	7,8	7,7	8,6
		9,8	10,0	10,8	11,5	7,0	12,5	6,7	6,1	7,6	8,4
							11,7	6,0	6,1	7,4	8,0
								5,3	5,9	5,9	6,7

Fuente: Elaboración propia, basada en la información del proyecto "Determinación de las Curvas IDF en parte de la zona árida y semiárida del país"

APÉNDICE 2

Supuestos del análisis de Varianza

1. Supuesto de Normalidad

A continuación se entregan los resultados de la prueba estadística Shapiro Wilks, para la verificación del supuesto de normalidad, para la duración de 1 hora.

El test de Shapiro-Wilks se basa en la comparación de los cuantiles de la distribución normal ajustada con los cuantiles de los datos.

Tabla 1. Supuesto de Normalidad para la IV Región

Estación	Valor p	Decisión
Rivadavia	0,7049	Se Acepta Ho
Embalse la Paloma	0,1584	Se Acepta Ho
Embalse Cogotí	0,2021	Se Acepta Ho
Estación Illapel	0,3166	Se Acepta Ho
La Tranquilla	0,3125	Se Acepta Ho
Los Cóndores	0,9697	Se Acepta Ho
Quelón	0,1629	Se Acepta Ho

Tabla 2. Supuesto de Normalidad para la V Región

Estación	Valor p	Decisión
Hacienda Pedernal	0,1079	Se Acepta Ho
Quillota	0,0024	Se Rechaza Ho
Embalse Lliu-Lliu	0,1623	Se Acepta Ho
Lago Peñuelas	0,3804	Se Acepta Ho

Tabla 3. Supuesto de Normalidad para la Región Metropolitana

Estación	Valor p	Decisión
Embalse Rungue	0,2879	Se Acepta Ho
Cerro Calán	0,3162	Se Acepta Ho
Los Panguiles	0,9682	Se Acepta Ho
Melipilla	0,000003	Se Rechaza Ho
Pirque	0,7575	Se Acepta Ho

Tabla 4. Supuesto de Normalidad para la VI Región

Estación	Valor p	Decisión
Rengo	0,0042	Se Rechaza Ho
Central las Nieves	0,3855	Se Acepta Ho
Convento Viejo	0,1201	Se Acepta Ho

Tabla 5. Supuesto de Normalidad para la VII Región

Estación	Valor p	Decisión
Los Queñes	0,2958	Se Acepta Ho
Potrero Grande	0,1223	Se Acepta Ho
Pencahue	0,5616	Se Acepta Ho
Talca	0,2812	Se Acepta Ho
San Javier	0,3506	Se Acepta Ho
Melozal	0,0003	Se Rechaza Ho
Colorado	0,0013	Se Rechaza Ho
Embalse Ancoa	0,9374	Se Acepta Ho
Parral	0,3610	Se Acepta Ho
Embalse Digua	0,1242	Se Acepta Ho
San Manuel	0,1810	Se Acepta Ho
Embalse Bullileo	0,0035	Se Rechaza Ho

2. Supuesto de Homocedasticidad de Varianzas.

El supuesto de homocedasticidad de varianzas, se realizó a través de la prueba estadística de Bartlett, el que se aplica para muestras no balanceadas y que presenten un tamaño muestral $n > 10$.

La hipótesis para este test son:

$$H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2 = \dots = \sigma^2_n$$

$$H_0: \sigma^2_i \neq \sigma^2_j, \text{ para algún par } (i, j)$$

El test de Bartlett, presentó un valor $p = 0.0$; como es inferior a 0,05, existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis, para un nivel de confianza del 95,0%.

APÉNDICE 3

Resultados de los valores p para la Prueba U de Mann Whitney, entre Regiones

Las tablas siguientes, muestran la comparación de medianas entre las estaciones de las distintas Regiones.

Tabla 1: Comparación de medianas entre estaciones de la IV y V Regiones.

	H. Pedernal	Quillota	E. Lliu-Lliu	L. Peñuelas
Rivadavia	0,000827546	0,000982794	8,00E-07	3,96E-08
E. la Paloma	0,239283*	0,408995*	3,383E-05	1,0553E-06
E. Cogotí	0,039765	0,0683165*	1,0957E-05	4,88E-07
Illapel	0,015158	0,0175876	3,6158E-06	2,04E-07
La Tranquilla	0,00810318	0,0162553	6,72E-07	1,54E-08
Los Cóndores	0,0509362*	0,0868402*	9,4316E-06	7,16E-07
Quelón	0,0102335	0,0317509	3,5528E-06	1,02E-07

* No existe diferencia significativa, para $\alpha = 0,05$

Tabla 2: Comparación de medianas entre estaciones de la IV Región y la Región Metropolitana.

	E. Rungue	C. Calán	Los Panguiles	Melipilla	Pirque
Rivadavia	0,000531898	1,16619E-05	0,0150195	0,0312625	0,000403102
E. la Paloma	0,663206*	0,0457228	0,932198*	0,656379*	0,600686*
E. Cogotí	0,0634895*	0,00219543	0,28049*	0,594289*	0,0554287*
Illapel	0,0169589	0,000592442	0,176363*	0,347132*	0,0170101
La Tranquilla	0,0101589	0,000124268	0,108196*	0,254556*	0,0108102
Los Cóndores	0,0688226*	0,00280288	0,369523*	0,68125*	0,0720044*
Quelón	0,068281*	0,000642253	0,202589*	0,412194*	0,0358043

* No existe diferencia significativa, para $\alpha = 0,05$

Tabla 3: Comparación de medianas entre estaciones de la IV y VI Regiones.

	Rengo	C. las Nieves	C. Viejo
Rivadavia	2,81E-07	2,56E-08	4,13E-07
E. la Paloma	0,0148898	0,000504768	0,00216164
E. Cogotí	0,000373798	0,000010864	6,77585E-05
Illapel	0,000040987	2,12821E-06	2,13642E-05
La Tranquilla	0,000011492	5,35E-08	2,13809E-06
Los Cóndores	0,000592048	1,34368E-05	0,000123368
Quelón	0,0400719	3,80458E-06	1,60074E-05

* No existe diferencia significativa, para $\alpha = 0,05$

Tabla 4: Comparación de medianas entre estaciones de la V Región y la Región Metropolitana.

	E. Rungue	C. calan	Los Panguiles	Melipilla	Pirque
H. Pedernal	0,413652*	0,546644*	0,279215*	0,0877495*	0,530187*
Quillota	0,907487*	0,206836*	0,39279*	0,115733*	0,859287*
E. Lliu-Lliu	0,000100514	0,003756	0,000267317	0,000222617	0,000352723
L. Peñuelas	3,25122E-05	0,000530729	2,62729E-05	3,70574E-05	0,0000207

* No existe diferencia significativa, para $\alpha = 0,05$

Tabla 5: Comparación de medianas entre estaciones de la V y VI Regiones.

	Rengo	C. las Nieves	C. Viejo
H. Pedernal	0,3771*	0,080842*	0,13338*
Quillota	0,171638*	0,0109901	0,0451744
E. Lliu-Lliu	0,00156536	0,00794385	0,0160534
L. Peñuelas	0,0002048	0,00098421	0,00502501

* No existe diferencia significativa, para $\alpha = 0,05$

Tabla 6: Comparación de medianas entre estaciones de la Región Metropolitana y la VI Región.

	Rengo	C. las Nieves	C. Viejo
E. Rungue	0,0825683	0,000864834	0,00728007
C. calan	0,990081*	0,180751*	0,23439*
Los Panguiles	0,0229605	0,00202798	0,00429078
Melipilla	0,0029894	0,000327381	0,000817087
Pirque	4,00731E-05	0,00352703	0,0078765

* No existe diferencia significativa, para $\alpha = 0,05$

Tabla 7: Comparación de medianas entre estaciones de la IV y VII Regiones.

	Los Queñes	P. Grande	Pencahue	Talca	San Javier	Melozal	Colorado	E. Ancoa	Parral	E. Digua	San Manuel	E. Bullileo
Rivadavia	3,92E-07	3,92E-07	0,00019989	0,0004657	0,0000718	0,0002344	1,67447E-06	2,71E-07	7,2456E-06	3,14E-07	2,975E-06	1,29E-07
E. la Paloma	5,01784E-05	4,09E-05	0,145125*	0,669017*	0,127976*	0,417177*	0,000570251	3,47349E-06	0,00909867	4,17E-06	0,0003265	1,831E-06
E. Cogotí	1,36604E-05	7,76E-06	0,0165225	0,0890728*	0,0083504	0,0291339	5,95825E-05	1,6329E-06	0,0006985	1,824E-06	4,22E-05	4,59E-07
Illapel	3,17238E-06	2,98E-06	0,00555826	0,0187317	0,0035619	0,008598	1,58454E-05	8,02E-07	0,00020554	1,048E-06	2,756E-05	3,62E-07
La Tranquilla	3,61E-07	3,04E-07	0,00201218	0,0173688	0,0035619	0,0090875	3,88568E-06	1,27E-07	3,8297E-05	1,12E-07	4,83E-06	3,53E-08
Los Cóndores	1,20012E-05	6,75E-06	0,0217188	0,144475*	0,0133055	0,0635019*	5,31769E-05	2,04395E-06	0,00078945	1,621E-06	5,33E-05	5,81E-07
Quelón	4,02275E-06	2,13E-06	0,0037984	0,0551394*	0,0015425	0,0113322	1,29658E-05	3,99E-07	0,00011958	3,72E-07	1,216E-05	1,48E-07

* No existe diferencia significativa, para $\alpha = 0,05$

Tabla 8: Comparación de medianas entre estaciones de la V y VII Regiones.

	Los Queñes	P. Grande	Pencahue	Talca	San Javier	Melozal	Colorado	E. Ancoa	Parral	E. Digua	San Manuel	E. Bullileo
H. Pedernal	0,007743	0,003589	0,782199*	0,25794*	0,739121*	0,56354*	0,0138806	0,0006448	0,200285*	0,0005253	0,0128072	0,0003735
Quillota	0,001930	0,001508	0,610413*	0,756322*	0,406237*	0,841956*	0,0042892	0,0007547	0,0800146*	0,0005783	0,00866616	0,0007597
E. Lliu-Lliu	0,710588*	0,694434*	0,0013904	3,9515E-05	0,0024077	0,000304	0,190301*	0,982571*	0,013825	0,776622*	0,280177*	0,884275*
L. Peñuelas	0,386261*	0,44121*	0,0001708	1,2111E-05	0,0002236	8,337E-05	0,0592393*	0,736126*	0,004607	0,712032*	0,162182*	0,645559*

* No existe diferencia significativa, para $\alpha = 0,05$

Tabla 9: Comparación de medianas entre estaciones de la Región Metropolitana y la VII Región.

	Los Queñes	P. Grande	Pencahue	Talca	San Javier	Melozal	Colorado	E. Ancoa	Parral	E. Digua	San Manuel	E. Bullileo
E. Rungue	0,000106	0,00012	0,3869*	0,75919*	0,219965*	0,95686*	0,0015699	2,7600E-05	0,030601	3,2833E-05	0,0008099	1,8732E-05
C. calan	0,006171	0,00386	0,617311*	0,05147*	0,609928*	0,14794*	0,0620405*	0,00035815	0,46942*	0,0003572	0,0275456	0,0001244
Los Panguiles	0,000241	0,00019	0,212491*	0,71961*	0,114583*	0,34505*	0,0016718	2,7943E-05	0,016478	2,5445E-05	0,0010602	7,2321E-06
Melipilla	0,000248	0,00015	0,081824*	0,19628*	0,0614678*	0,12109*	0,0007952	7,3289E-05	0,005265	8,5803E-05	0,0010539	4,0073E-05
Pirque	0,000358	0,00023	0,428135*	0,74337*	0,344912*	0,80940*	0,0027166	1,9739E-05	0,029973	1,6655E-05	0,0014908	4,7459E-06

* No existe diferencia significativa, para $\alpha = 0,05$

Tabla 10: Comparación de medianas entre estaciones de la VI y VII Regiones.

	Los Queñes	P. Grande	Pencahue	Talca	San Javier	Melozal	Colorado	E. Ancoa	Parral	E. Digua	San Manuel	E. Bullileo
Rengo	0,00184998	0,001849	0,364456*	0,364456*	0,464764*	0,0589792*	0,0440441	7,30842E-05	0,518268*	0,0001210	0,0269528	2,2791E-05
C. las Nieves	0,0145685	0,006319	0,0686418*	0,0002691	0,0640831*	0,00211035	0,342577*	0,000133085	0,856484*	0,0004329	0,076078*	1,8238E-05
C. Viejo	0,0673139*	0,031533	0,116185*	0,0021462	0,127373*	0,00821577	0,438566*	0,00474215	0,871692*	0,0055017	0,212657*	0,0041426

* No existe diferencia significativa, para $\alpha = 0,05$

Apéndice 4

Intersección de Curvas IDF entre Regiones

En las tablas 1 a la 10 se presentan las intersecciones de las curvas IDF a partir de los Modelos Matemáticos, entre las regiones en estudio.

Tabla 1: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años entre las Región de Coquimbo y la Región Valparaíso

E2 \ E1	Rivadavia	E. la Paloma	E. Cogotí	Illapel	La Tranquilla	Los Cóndores	Quelón
Hda. Pedernal	-	2,3**	2,0**	1,1**	-	-	-
Quillota	-	-	-	-	-	-	-
E. Lliu-Lliu	-	-	-	-	-	-	-
Lago Peñuelas	-	-	-	-	-	-	-

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 2: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años entre las Región de Coquimbo y la Región Metropolitana

E2 \ E1	Rivadavia	E. la Paloma	E. Cogotí	Illapel	La Tranquilla	Los Cóndores	Quelón
E. Rungue	-	6,0**	7,8**	2,1**	-	2,2**	-
Cerro Calán	-	1,3**	-	-	-	-	-
Los Panguiles	-	1,9**	1,3**	-	-	-	-
Melipilla	-	-	14,6*	-	-	18,5*	-
Pirque	1,2**	8,7**	13,3**	3,3**	0,9**	6,6**	1,4**

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 3: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años entre las Región de Coquimbo y la Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins.

E2 \ E1	Rivadavia	E. la Paloma	E. Cogotí	Illapel	La Tranquilla	Los Cóndores	Quelón
Rengo	-	10,9**	-	1,1**	-	9,4*	-
C. las Nieves	-	2,5**	2,2**	1,1**	-	-	-
Convento Viejo	-	12,8**	-	1,6**	-	4,4*	-

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 4: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años entre las Región de Coquimbo y la Región del Maule.

E2 \ E1	Rivadavia	E. la Paloma	E. Cogotí	Illapel	La Tranquilla	Los Córdoros	Quelón
Los Queñes	-	-	-	-	-	-	-
Potrero Grande	-	-	-	-	-	-	-
Pencahue	-	-	-	12,5**	-	-	-
Talca	-	14,2**	-	4,1**	-	-	1,4**
San Javier	-	-	-	-	14,4**	-	9,6**
Melozal	-	-	-	-	-	-	-
Colorado	-	-	-	-	-	-	-
Embalse Ancoa	-	-	-	-	-	-	-
Parral	-	1,8**	-	-	-	-	-
E. Digua	-	-	-	-	-	-	-
San Manuel	-	-	-	-	-	-	-
Bullileo	-	1,1**	-	-	-	-	-

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 5: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años entre las Región de Valparaíso y la Región Metropolitana

E2 \ E1	H. Pederenal	Quillota	E. Lliu-Lliu	Lago Peñuelas
E. Rungue	-	-	-	-
Cerro Calán	3,0*	-	-	-
Los Panguiles	5,0*	9,1**	-	-
Melipilla	4,9*	3,0*	-	-
Pirque	-	-	-	-

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 6: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años entre las Región de Valparaíso y la Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins.

E2 \ E1	H. Pederenal	Quillota	E. Lliu-Lliu	Lago Peñuelas
Rengo	1,1*	-	-	-
Central las Nieves	-	9,4**	-	-
Convento Viejo	-	-	-	-

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 7: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años entre las Región de Valparaíso y la Región del Maule.

E2 \ E1	H. Pederenal	Quillota	E. Lliu-Lliu	Lago Peñuelas
Los Queñes	14,2*	1,7**	-	-
Potrero Grande	-	-	-	-
Pencahue	-	-	-	-
Talca	-	-	-	-
San Javier	-	-	-	-
Melozal	4,9*	-	-	-
Colorado	6,5*	11,1**	-	-
E. Ancoa	-	2,5**	-	-
Parral	2,8*	-	-	-
E. Digua	-	-	-	-
San Manuel	14,0*	4,0**	-	-
E. Bullileo	-	3,2**	-	-

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 8: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años entre las Región Metropolitana y la Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins.

E2 \ E1	E. Rungue	Cerro Calán	Los Panguiles	Pirque	Melipilla
Rengo	3,9*	-	-	7,2*	-
Central las Nieves	-	3,9**	10**	-	5,7**
Convento Viejo	3,1*	-	-	6*	22,8**

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 9: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años entre las Región Metropolitana y la Región del Maule.

E2 \ E1	E. Rungue	Cerro Calán	Los Panguiles	Melipilla
Los Queñes	-	-	-	2,6**
Potrero Grande	-	-	-	1,2**
Pencahue	1,2*	-	-	-
Talca	-	-	-	20,7**
San Javier	-	-	-	-
Melozal	-	-	4,8*	4,9**
Colorado	-	-	7,8*	4,1**
Embalse Ancoa	-	-	-	2,8**
Parral	-	4,5**	2,1*	7,8**
E. Digua	-	-	-	1,3**
San Manuel	-	-	-	3,3**
E. Bullileo	-	-	-	3,1**

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

Tabla 10: Duración (h) en que existe intersección para el periodo de retorno de 100 años entre las Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins y la Región del Maule.

E2 \ E1	Rengo	C. las Nieves	Convento Viejo
Los Queñes	-	21,1*	-
Potrero Grande	-	-	-
Pencahue	-	-	-
Talca	-	-	17,2**
San Javier	-	-	-
Melozal	-	5,9*	-
Colorado	-	8,7*	-
Embalse Ancoa	-	-	-
Parral	-	3,2*	-
E. Digua	-	-	-
San Manuel	-	-	-
E. Bullileo	-	-	-

* E1 > E2

** E2 > E1

- No existe intersección de las curvas

ANEXOS

Anexo 1

Resumen estadístico para las distintas estaciones

Tabla 1. Resumen estadístico de la Región de Coquimbo.

Estaciones	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación Típica
Rivadavia	25	5,8	6,0	9,40917	3,06744
Embalse la Paloma	40	8,9	8,7	21,3326	4,61872
Embalse Cogotí	33	13,6	7,0	1203,66	34,6938
Illapel	27	7,2	7,0	12,6758	3,5603
La Tranquilla	34	7,0	6,8	10,2746	3,20539
Los Cóndores	22	7,6	7,9	12,1129	3,48036
Quelón	27	7,5	6,7	8,68251	2,94661
Total	208	8,4	7,0	202,577	14,233

Continuación Tabla 1. Resumen estadístico de la Región de Coquimbo.

Estaciones	Error Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Rango	Coefficiente de variación (%)
Rivadavia	0,613487	0,6	13,3	12,7	53,2541
Embalse la Paloma	0,730283	1,5	20,0	18,5	51,8811
Embalse Cogotí	6,03942	2,5	206,0	203,5	255,329
Illapel	0,685181	2,0	16,6	14,6	49,4741
La Tranquilla	0,549721	1,6	15,0	13,4	45,5426
Los Cóndores	0,742015	1,1	15,0	13,9	46,0144
Quelón	0,567075	2,2	15,6	13,4	39,0759
Total	0,986879	0,6	206,0	205,4	168,966

Tabla 2. Resumen estadístico de la Región de Valparaíso.

Estaciones	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación Típica
Hacienda Pedernal	10	10,36	10,25	9,87378	3,14226
Quillota	12	10,2833	9,2	15,3415	3,91682
Embalse Lliu Lliu	14	16,4286	16,15	23,9222	4,89103
Lago Peñuelas	21	17,7	16,3	39,481	6,28339
Total	57	14,5386	12,9	35,8931	5,99109

Continuación Tabla 2. Resumen estadístico de la Región de Valparaíso.

Estaciones	Error Estándar	Mínimo	Máximo	Rango
Hacienda Pedernal	0,993669	6,7	17,8	11,1
Quillota	1,13069	5,8	18,6	12,8
Embalse Lliu Lliu	1,30718	9,8	23,4	13,6
Lago Peñuelas	1,37115	8,5	30,3	21,8
Total	0,793539	5,8	30,3	24,5

Tabla 3. Resumen estadístico de la Región Metropolitana.

Estaciones	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación Típica
Embalse Rungue	16	9,48125	9,5	8,88829	2,98132
Cerro Calán	17	11,2118	10,2	10,8224	3,28973
Los Panguiles	15	8,62667	8,2	11,3721	3,37225
Melipilla	17	9,64118	7,7	63,9201	7,995
Pirque	17	9,47647	9,3	8,13066	2,85143
Total	82	9,71585	9,5	20,6949	4,54917

Continuación Tabla 3. Resumen estadístico de la Región Metropolitana.

Estaciones	Error Estándar	Mínimo	Máximo	Rango
Embalse Rungue	0,745331	4,7	17,0	12,3
Cerro Calán	0,797878	6,7	19,2	12,5
Los Panguiles	0,870712	2,7	14,8	12,1
Melipilla	1,93907	2,9	38,5	35,6
Pirque	0,691574	4,8	15,2	10,4
Total	0,502372	2,7	38,5	35,8

Tabla 4. Resumen estadístico de la Región del Libertador Gral. Bdo. O'Higgins.

Estaciones	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación típica
Rengo	26	11,3808	10,2	10,2544	3,20225
Central las Nieves	27	11,9926	12,1	5,52456	2,35044
Convento Viejo	21	12,5143	11,4	12,3283	3,51117
Total	74	11,9257	11,4	9,06413	3,01067

Continuación Tabla 4. Resumen estadístico de la Región del Libertador Gral. Bdo. O'Higgins.

Estaciones	Error estándar	Mínimo	Máximo	Rango
Rengo	0,628013	7,7	21,5	13,8
Central las Nieves	0,452342	6,1	16,2	10,1
Convento Viejo	0,766199	7,8	19,3	11,5
Total	0,349983	6,1	21,5	15,4

Tabla 5. Resumen estadístico de la Región del Maule.

Estaciones	Frecuencia	Media	Mediana	Varianza	Desviación Típica
Los Queñes	15	15,54	14,5	21,6383	4,6517
Potrero Grande	15	15,7133	15,5	22,7155	4,76608
Pencahue	17	10,2294	11,0	8,84721	2,97443
Talca	17	9,15294	9,2	5,14265	2,26774
Melozal	17	10,1824	9,2	15,869	3,9836

San Javier	15	10,3867	10,9	5,95124	2,43952
Colorado	14	13,85	12,55	21,0042	4,58304
Embalse Ancoa	15	16,48	16,0	12,3174	3,50962
Parral	17	12,1176	11,7	13,5915	3,68667
Embalse Digua	15	16,8267	15,6	20,1521	4,48911
San Manuel	14	14,3786	13,15	20,2449	4,49943
Embalse Bullileo	16	16,4375	15,75	8,5385	2,92207
Total	187	13,3209	12,7	21,3234	4,61772

Continuación Tabla 5. Resumen estadístico de la Región del Maule.

Estaciones	Error Estándar	Mínimo	Máximo	Rango
Los Queñes	1,20106	9,8	25,2	15,4
Potrero Grande	1,2306	10,0	25,7	15,7
Pencahue	0,721404	5,3	15,9	10,6
Talca	0,550008	5,9	14,3	8,4
Melozal	0,966164	5,9	23,0	17,1
San Javier	0,62988	7,0	14,2	7,2
Colorado	1,22487	9,3	25,6	16,3
Embalse Ancoa	0,90618	10,8	23,4	12,6
Parral	0,894149	6,7	19,3	12,6
Embalse Digua	1,15908	11,5	25,8	14,3
San Manuel	1,20252	7,1	23,0	15,9
Embalse Bullileo	0,730518	11,7	22,4	10,7
Total	0,337681	5,3	25,8	20,5

ANEXO 2

Ubicación espacial de las estaciones por Región



Figura 1. Estaciones de la Región de Coquimbo

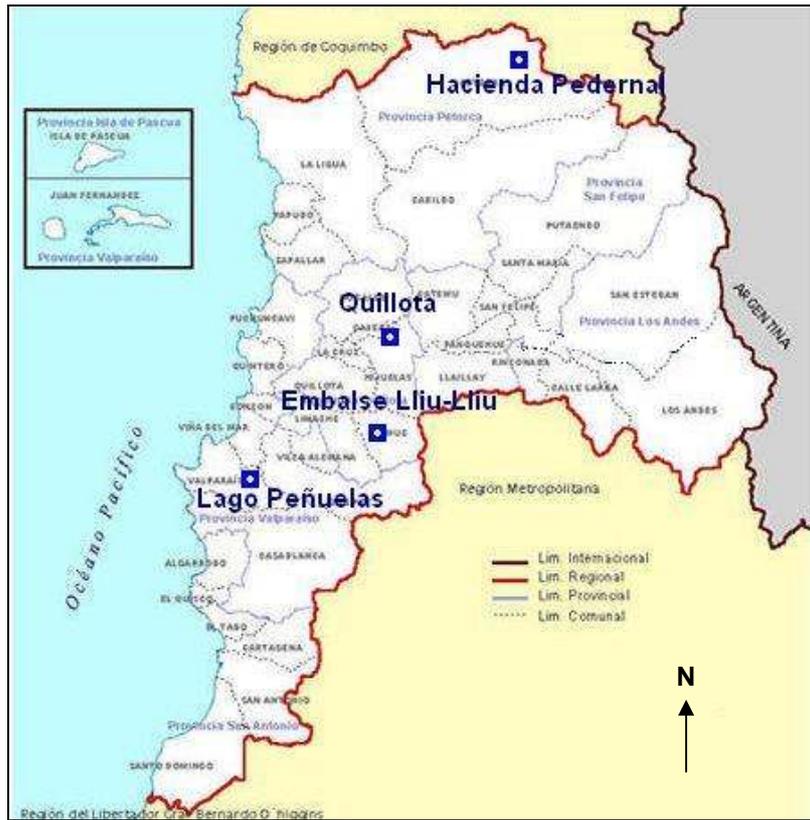


Figura 2. Estaciones de la Región de Valparaíso



Figura 3. Estaciones de la Región Metropolitana



Figura 4. Estaciones de la Región del Libertador Gral. Bdo. O'Higgins



Figura 5. Estaciones de la Región del Maule