



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

VARIACIÓN LATITUDINAL Y ALTITUDINAL DEL ÍNDICE DE
TORMENTA (VALOR K) EN LAS REGIONES METROPOLITANA, MAULE Y
BÍO-BÍO

JUAN ANDRÉS PINO FUENTES
Memoria para optar al título de
INGENIERO FORESTAL

PROFESOR GUÍA: DR. ING. ROBERTO PIZARRO TAPIA

TALCA-CHILE

2013

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mis padres, Carlos y María Elena, por su apoyo incondicional y por la dedicación y cariño entregado hacia mi persona durante todos estos años de estudio. También me gustaría agradecer a mis hermanos, Carlos y Óscar, en conjunto con mi segunda familia, compuesta por mi Tío Miguel y mi primo José, por su preocupación y apoyo en todos los momentos difíciles que he tenido que enfrentar.

Al profesor Dr. Ing. Roberto Pizarro, por tener siempre la palabra adecuada y proporcionarme excelentes consejos, en conjunto con un férreo e indiscutible apoyo, no sólo en lo académico, sino que también en la cotidianidad de la vida.

A mis queridos amigos María Inés y Pablo, con quienes he vivido innumerables situaciones, y que en conjunto, hemos sabido surgir adelante ante la totalidad de los problemas, gracias a un apoyo mutuo e indiscutible.

A mis incondicionales amigos de la Comunidad Pokémon Rancagua, por la incontable cantidad de momentos divertidos y trágicos que hemos pasado juntos semana tras semana, durante ya más de 8 años.

A mis amigos del Centro de Alumnos (CAIFUT), por generar un ambiente de verdadero compañerismo y amistad, avalado en cada enriquecedor momento compartido, tanto a nivel académico como extracurricular.

Por último, quisiera agradecer a Constanza, quien llegó a mi vida hace poco, pero me ha dado el aliento necesario para concluir esta maravillosa etapa. Ojalá te quedes por siempre junto a mi.

RESUMEN

El estudio que se presenta a continuación, tiene por objetivo caracterizar el comportamiento latitudinal y altitudinal del Índice de Tormenta (Valor K) para las duraciones horarias de 0,5, 1, 2, 4, 6 y 12 horas dentro de los periodos de retorno de 5, 50 y 100 años mediante análisis matemático y estadístico. En total se consideraron 47 estaciones pluviográficas y pluviométricas de Chile central, ubicadas en las regiones Metropolitana, Maule y Biobío.

En primera instancia, se analizaron los datos de las estaciones a nivel regional. Posteriormente, se agruparon las estaciones utilizando criterios geográficos (latitud y altura sobre el nivel del mar). Una vez agrupadas las estaciones, se procedió a analizar el comportamiento del Índice de Tormenta a medida que se avanzaba en los intervalos de agrupación, en sentido Norte a Sur para la latitud y desde los 0 m.s.n.m. hacia arriba en cuanto a altitud. Por último, se procedió a crear y utilizar dos indicadores para complementar el análisis.

A partir de los resultados obtenidos, se pudo observar que sí existen comportamientos del Índice de Tormenta a medida que se avanza latitudinal y altitudinalmente. Así por ejemplo, la subregión Maule Sur y la categoría altitudinal Alta presentan los valores promedio más bajos del Índice de Tormenta y marcan el comportamiento del mismo. Se pudo apreciar igualmente que los indicadores no permitieron determinar ningún tipo de comportamiento. Finalmente, el Índice de Tormenta muestra variabilidad latitudinal y altitudinal, pero en un marco de valores que presentan una variabilidad relativa, lo que permitiría el uso del Índice de Tormenta para la extensión geográfica de las intensidades de precipitación y de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.

SUMMARY

The purpose of the following research is to identify, through mathematical and statistical analysis, the latitudinal and altitudinal behavior of the Storm Index (K-Value) for durations of 0.5, 1, 2, 4, 6 and 12 hours, among the return periods of 5, 50 and 100 years. Altogether, 47 Chilean pluviographic and pluviometric stations were considered, which were located in the Metropolitan, Maule and Biobío Regions.

At first, the data belonging to the stations was analyzed at a regional level. Afterwards, the stations were classified by geographic criteria (latitude and height above mean sea level). Once classified, the behavior of the Storm Index was analyzed through grouping intervals from North to South in the case of latitude, and from 0 m.a.m.s.l. upwards in terms of altitude. Finally, two indicators were created and used to complement the analysis.

Based on the obtained results, it could be observed that exist behaviors to the Storm Index through the latitude and altitude. For instance, the sub region corresponding to the “Southern Maule” as well as the altitudinal class “High” show the lowest Storm Index average values and thus define the behavior of such index. Also, it could be seen that the indicators were not able to identify any type of behavior. Finally, the Storm Index shows latitudinal and altitudinal variability, but in an array of values that shows relative variability, which allows the use of the Storm index for the geographical extension of precipitation intensities and Intensity-Duration-Frequency curves.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivo Específico.....	3
3. ANTECEDENTES GENERALES.....	4
3.1. Antecedentes del área de estudio.....	5
3.1.1. Región Metropolitana.....	6
3.1.2. Región del Maule.....	8
3.1.3. Región del Biobío.....	10
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
4.1. Precipitación.....	13
4.2. Intensidad de Precipitación.....	14
4.3. Duración y Frecuencia de las Precipitaciones.....	16
4.4. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF).....	17
4.5. Construcción de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.....	18
4.6. Aplicaciones de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (Curvas IDF).....	20
4.7. Método-K.....	21
4.8. Índice de Tormenta (Valor K).....	22
4.9. Estudios Relacionados.....	23
5. METODOLOGÍA.....	28
5.1. Etapas Metodológicas.....	28
5.1.1. Revisión Bibliográfica.....	28
5.1.2. Recopilación de la Información.....	28
5.1.3. Análisis del comportamiento de los valores K.....	30
5.1.4. Determinación de rangos para la variación Altitudinal y Latitudinal.....	31

5.1.5.	Prueba U de Mann-Whitney.....	33
5.1.6.	Determinación de Indicadores.....	35
5.1.7.	Presentación de Resultados.....	36
5.1.8.	Análisis y Discusión de Resultados.....	36
5.1.9.	Conclusiones y Recomendaciones.....	37
5.2.	Materiales.....	37
6.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	38
6.1.	Valores del Índice de Tormenta.....	38
6.1.1.	Valores Extremos del Índice de Tormenta.....	44
6.1.2.	Variación Latitudinal del Índice de Tormenta.....	46
6.1.3.	Variación Altitudinal del Índice de Tormenta.....	56
6.2.	Prueba U de Mann-Whitney para la Variación Latitudinal y Altitudinal del Índice de Tormenta.....	65
6.2.1.	Prueba U de Mann-Whitney para Variaciones Latitudinales (Subregiones).....	65
6.2.2.	Prueba U de Mann-Whitney para Variaciones Altitudinales.....	67
6.3.	Indicadores.....	70
6.3.1.	Proporción Máximo-Mínimo (PMM).....	70
6.3.2.	Proporción Máximo-Promedio (PMP).....	72
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	75
7.1.	Variación del total de datos del Índice de Tormenta.....	75
7.2.	Variación por categorías de Latitud y Altitud del Índice de Tormenta.....	79
7.3.	Prueba Estadística U de Mann-Whitney.....	85
7.4.	Indicadores.....	86
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
8.1.	Conclusiones.....	88
8.2.	Recomendaciones.....	90
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	92

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Clasificación de lluvias de acuerdo al monto de su intensidad	15
Tabla N°2: Clasificación de las intensidades de precipitación.....	15
Tabla N°3: Descripción de una tabla resumen de Índices de Tormenta.....	22
Tabla N°4: Estaciones y sus coordenadas geográficas.	29
Tabla N°5: Cantidad de estaciones por cada categoría de latitud.	32
Tabla N°6: Cantidad de estaciones por cada categoría de altitud.	32
Tabla N°7: Expresiones matemáticas de cada indicador.	35
Tabla N°8: Valor del Índice de Tormenta para cada estación, por cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.	38
Tabla N°9: Valor del Índice de Tormenta para cada estación, por cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.	40
Tabla N°10: Valor del Índice de Tormenta para cada estación, por cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.	41
Tabla N°11: Valores promedio del Índice de Tormenta para cada duración horaria y para cada periodo de retorno (T) por región.	43
Tabla N°12: Valores en porcentaje del coeficiente de variación del Índice de Tormenta para cada duración horaria y para cada periodo de retorno (T) por región.....	44
Tabla N°13: Valores máximos del Índice de Tormenta para cada duración horaria de cada periodo de retorno.	45
Tabla N°14: Valores mínimos del Índice de Tormenta para cada duración horaria de cada periodo de retorno.	46
Tabla N°15: Estaciones que presentan los valores más altos por cada subregión, para cada duración horaria y para cada periodo de retorno (T).	55
Tabla N°16: Estaciones que presentan los valores más altos por cada categoría altitudinal, para cada duración horaria y para cada periodo de retorno (T)....	63
Tabla N°17: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación latitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 5 años.....	65

Tabla N°18: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación latitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 50 años.....	66
Tabla N°19: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación latitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 100 años.....	66
Tabla N°20: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación altitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 5 años.....	68
Tabla N°21: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación altitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 50 años.....	68
Tabla N°22: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación altitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 100 años.....	69
Tabla N°23: Valor porcentual de los índices interregionales, para cada duración horaria y para cada periodo de retorno.....	75
Tabla N°24: Promedio recalculado del valor K, para cada subregión en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.	80
Tabla N°25: Promedio recalculado del valor K, para cada subregión en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.	80
Tabla N°26: Promedio recalculado del valor K, para cada subregión en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.	80
Tabla N°27: Promedio recalculado del valor K, para cada categoría de altitud en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.	81
Tabla N°28: Promedio recalculado del valor K, para cada categoría de altitud en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.	81
Tabla N°29: Promedio recalculado del valor K, para cada categoría de altitud en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.	81
Tabla N°30: Valor promedio de las medianas de las subregiones Metropolitana y Maule Sur, en conjunto con el promedio y la desviación estándar del total de datos.	85

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 0,5 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.	48
Gráfico N°2: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 1 hora para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.	49
Gráfico N°3: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 2 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.	50
Gráfico N°4: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 4 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.	51
Gráfico N°5: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 6 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.	52
Gráfico N°6: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 12 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.	53
Gráfico N°7: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 0,5 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.	57
Gráfico N°8: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 1 hora para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.	58
Gráfico N°9: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 2 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.	59
Gráfico N°10: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 4 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.	60

Gráfico N°11: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 6 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.....	61
Gráfico N°12: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 12 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.....	62
Gráfico N°13: Valor PMM del total de datos con respecto a cada subregión, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.	71
Gráfico N°14: Valor PMM del total de datos con respecto a cada categoría de altitud, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.	71
Gráfico N°15: Valor PMP del total de datos con respecto a cada subregión, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.	73
Gráfico N°16: Valor PMP del total de datos con respecto a cada categoría de altitud, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.	73
Gráfico N°17: Valor del Coeficiente de Variación por Región para duraciones horarias menores o iguales a 2 horas para cada periodo de retorno.	77
Gráfico N°18: Valor del Coeficiente de Variación por Región para duraciones horarias mayores o iguales a 4 horas para cada periodo de retorno.	77
Gráfico N°19: Valor K máximo de cada subregión, para todas las duraciones horarias y periodos de retorno.	83
Gráfico N°20: Valor K máximo de cada categoría altitudinal, para todas las duraciones horarias y periodos de retorno.....	84

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Caracterización del área de estudio.....	5
Figura N°2: Representación gráfica de las curvas IDF.....	18

APENDICES

I. Valores de cada Estación y Valor Promedio del Índice de Tormenta para cada Subregión o categoría Altitudinal.

- i. Variación Latitudinal
- ii. Variación Altitudinal

II. Valores de los indicadores PMM (Proporción Máximo-Mínimo) y PMP (Proporción Máximo-Promedio).

- i. Variación Latitudinal
- ii. Variación Altitudinal

ANEXOS

I. Ubicación Geográfica de las Estaciones por Región.

- i. Región Metropolitana
- ii. Región del Maule
- iii. Región del Biobío

II. Valores del Índice de Tormenta para cada Estación en Estudio, para todas las Duraciones Horarias y para todos los Periodos de Retorno disponibles.

- i. Región Metropolitana
- ii. Región del Maule
- iii. Región del Biobío

1. INTRODUCCIÓN

Chile es un país que abarca grandes distancias latitudinales, lo que sumado a una alta irregularidad geográfica, tanto de cordillera a mar como de norte a sur, genera la existencia de una alta variabilidad en cuanto a la cantidad y distribución de las precipitaciones. En general, las precipitaciones son las que entregan la mayor parte del recurso agua a las cuencas del país, aportando el caudal a los cursos de agua y a la recarga de acuíferos, constituyéndose en el suministro natural de los ecosistemas (Llamas, 1993). Aravena (2006), hace referencia a que las precipitaciones presentan tanto costos como beneficios, puesto que permiten el desarrollo de una zona, siendo un elemento vital para los asentamientos humanos, pero pueden generar serios problemas cuando ocurren fenómenos extremos, como precipitaciones elevadas en periodos muy cortos.

Bajo este contexto, el conocer el comportamiento temporal y espacial de las precipitaciones es un elemento sumamente importante, pues proporciona información útil a múltiples áreas como la edafología, la climatología, la biología y la antropología, entre otras, pero es en el área de la hidrología donde genera mayor utilidad e interés.

Un elemento que permite caracterizar la cantidad de agua caída, es la intensidad de precipitación, que representa la cantidad de lluvia caída en una unidad de tiempo (mm/h). Dicha cantidad es posible relacionarla con la frecuencia y duración de un evento de manera estadística, dando origen a las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).

Para poder lograr dicha relación, se requiere contar con una cantidad de datos provenientes de series pluviográficas, lo que permite además deducir el patrón de comportamiento de una zona determinada y permitir un análisis y uso posterior. Pero, muchas veces no se dispone de registros continuos de precipitaciones o éstos carecen de información para realizar los análisis de frecuencia requeridos, o bien, solo cuentan con la información pluviométrica (24 horas), lo que dificulta el trabajo (Cereceda, 2008).

Pizarro *et al.* (2001) señalan que existe un método que permite la extrapolación de intensidades máximas horarias a zonas con registros pluviométricos. Este método es llamado Método K, en donde se obtiene un parámetro llamado valor K o Índice de Tormenta, con el cual se estiman los valores de intensidad de precipitación horaria en las estaciones que carecen de ellas. Se ha corroborado que este método es una herramienta útil para dicho objetivo (Cereceda, 2008).

Si bien el objetivo general del método K es permitir la extrapolación de datos, existen pocos estudios con respecto al valor del Índice de Tormenta como alternativa para determinar los comportamientos de las intensidades de precipitación a través del tiempo. Es por ello que esta investigación pretende caracterizar y analizar la variación latitudinal y altitudinal de las intensidades de precipitación, tomando como referencia el valor del Índice de Tormenta.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Contribuir y ampliar los conocimientos sobre los eventos extremos de lluvia mediante el análisis del Índice de Tormenta en las regiones Metropolitana, Maule y Biobío.

2.2. Objetivo Específico

Caracterizar el comportamiento latitudinal y altitudinal del Índice de Tormenta para los períodos de retorno de 5, 50 y 100 años y para las duraciones horarias de 0,5, 1, 2, 4, 6 y 12 horas.

3. ANTECEDENTES GENERALES

Este estudio es parte de uno mayor, relacionado con el proyecto FONDEF “Sistema de Estimación de Eventos Extremos de Lluvia para la Prevención y Mitigación de los Riesgos de Avenidas y Caudales Circulantes en un Contexto de Variabilidad y Cambio Climático”. Este proyecto tiene por objetivo estudiar el comportamiento y la variabilidad de los eventos extremos de precipitación, en conjunto con el establecimiento de metodologías y procesos que permitan prevenir o mitigar los riesgos asociados a eventos extremos de lluvia, bajo condiciones de cambio climático, para 3 regiones de Chile central, a saber, regiones Metropolitana, Maule y Biobío.

Dentro del proyecto, los principales productos que se pretenden alcanzar son las curvas IDF de las estaciones pluviográficas y pluviométricas; la obtención de isolíneas de intensidades de precipitación; la disponibilidad de precipitaciones extremas para duraciones de 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 4, 6, 12 y 24 horas; el contar con un soporte tecnológico para la lectura e interpretación de bandas pluviográficas; el disponer de una interfaz IDF para la disponibilidad pública de la información; y la preparación y difusión de manuales de capacitación y manejo de la Interfaz y de los componentes hidrológicos, matemáticos y estadísticos involucrados. Dichos productos serán transferidos a los mandantes principales del proyecto, públicos y privados, lo que no representa obstáculo para la incorporación de otros actores relevantes en estas materias, ya sea mediante cursos, talleres, libros y seminarios de capacitación.

3.1. Antecedentes del área de estudio

La zona de estudio comprende tres regiones de la Zona Centro y Centro-Sur del país. Dichas regiones son la Región Metropolitana, la Región del Maule y la Región del Bío-Bío.

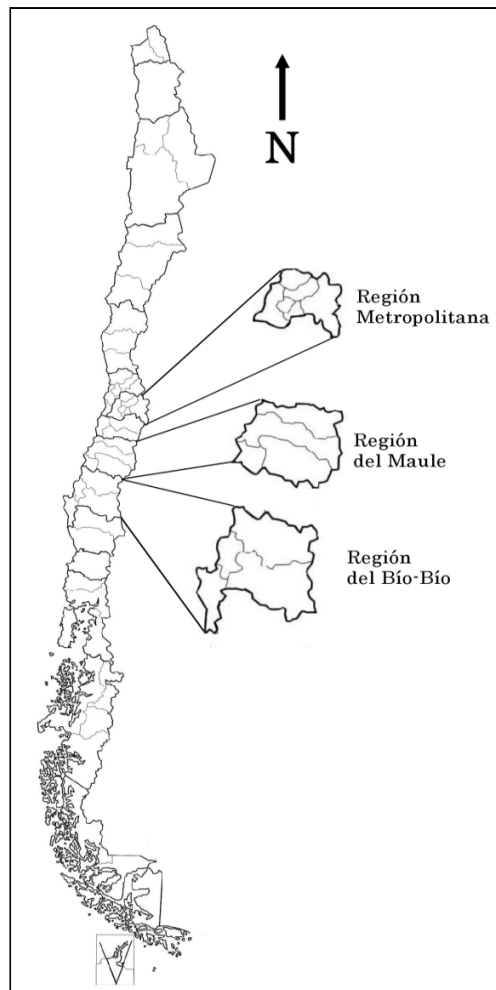


Figura N°1: Caracterización del área de estudio

3.1.1. Región Metropolitana

La Región Metropolitana se ubica entre los 32°55' y los 34°19' de latitud Sur, limitando con la Región de Valparaíso en el Norte y Oeste, con la Región del Libertador General Bernardo O'higgins por el Sur y con la República Argentina por el Este. Tiene una superficie de 15.554,5 Km², representando solo un 2,05% de la superficie nacional continental (BCN, 2012). Su población total según el censo del 2002 es de 6.051.185 habitantes (INE, 2012). Está compuesta por 6 provincias: Chacabuco, Santiago, Cordillera, Melipilla, Talagante y Maipú. Dentro de la región se encuentra la ciudad de Santiago, que además de ser la capital regional, es la capital del país.

El relieve de la Región Metropolitana se caracteriza por presentar tres unidades geográficas claramente definidas y que de Este a Oeste son la Cordillera de los Andes; la Depresión Intermedia y la Cordillera de la Costa. La Cordillera de los Andes se presenta alta y maciza, con alturas sobre 5.000 m.s.n.m., lo cual permite la formación de nieves eternas, proporcionando grandes recursos hídricos. La Depresión Intermedia se extiende por 80 km en sentido norte-sur (Cuenca de Santiago), con una altura media de 520 m.s.n.m. Finalmente, la Cordillera de la Costa se presenta como un cordón compacto en sentido norte-sur, con alturas que superan los 2.000 m.s.n.m. (BCN, 2012).

Las principales categorías de uso de suelo dentro de la región corresponden a Praderas-Matorrales con 715.174,5 ha (46,11%), seguidas de Áreas Desprovistas de Vegetación con 374.022,8 ha (24,12%) y Terrenos Agrícolas con 245.989,8 ha (15,86%). En cuanto a la superficie de bosque nativo en la región, ésta abarca 105.548,1 ha (6,81%), formada en su mayoría por renovales y bosque esclerófilo (CONAF, 2012).

En la región se distinguen dos tipos de clima: el mediterráneo con estación seca prolongada y el mediterráneo con frío de altura. El primero se desarrolla en la mayor parte del territorio regional y su característica principal es la presencia de una estación seca prolongada de 5 a 8 meses y un invierno bien marcado en precipitaciones y con temperaturas extremas que llegan a cero grados. El segundo abarca preferentemente la zona cordillerana de los andes, por sobre los 3.000 metros de altura y se caracteriza por presentar bajas temperaturas y precipitaciones sólidas concentradas en los meses de invierno (DMC, 2012). En cuanto a la temperatura, ésta presenta una media en la región de 13,9 °C, con máximas promedio de 22,1 °C en enero y mínimas promedio de 7,7 °C en julio. A su vez, la precipitación media de la región es de 356,2 mm anual, la cual tiende a disminuir desde la cordillera de la costa hacia la depresión intermedia y vuelve a aumentar hacia la cordillera de los andes, formando líneas bioclimáticas en la región (BCN, 2012).

La hidrografía de la región está constituida por el río Maipo, el cual se origina a los pies del volcán del mismo nombre. Es de régimen mixto, recibiendo en la cordillera tres grandes tributarios, a saber, los ríos Volcán, Colorado y Yeso. En la depresión intermedia, recibe el afluente del río Mapocho. Por último, cuando está por finalizar su curso, recibe el aporte del estero Pangué, el cual al ser de origen cordillerano costero y pluvial, solo aporta en épocas de lluvias (BCN, 2012).

3.1.2. Región del Maule

La Región del Maule se ubica en la zona centro-sur de Chile, entre los 34°41' y los 36°33' de latitud Sur, limitando con la Región del Libertador General Bernardo O'higgins en el Norte, con la Región del Biobío por el Sur, con la República Argentina por el Este y con el Océano Pacífico por el Oeste. Tiene una superficie de 30.469,1 Km², representando el 4,00% de la superficie nacional continental (BCN, 2012). Su población total según el censo del 2002 es de 908.097 habitantes (INE, 2012). Está compuesta por 4 provincias: Curicó, Talca, Linares y Cauquenes, siendo la ciudad de Talca la capital regional.

El relieve en la Región del Maule se caracteriza por presentar cuatro unidades geográficas claramente definidas y que de Este a Oeste son la Cordillera de los Andes, la Depresión Intermedia, la Cordillera de la Costa y las Planicies Litorales. La Cordillera de los Andes presenta alturas inferiores a 4.000 m.s.n.m., además de una actividad volcánica y glaciaria que da origen a lagunas de altura. La Depresión Intermedia se presenta plana, solamente interrumpida por numerosos ríos en sentido este-oeste. La Cordillera de la Costa se presenta como colinas suaves y lomajes, no superando los 900 m.s.n.m. Finalmente, las Planicies litorales tienen un amplio desarrollo con terrazas que alcanzan los 200 metros, con un ancho aproximado de 5 kilómetros, interrumpida solo por ríos que desembocan en el mar (BCN, 2012).

Las principales categorías de uso de suelo dentro de la región corresponden a Praderas-Matorrales con 820.293 ha (27,0%), seguidas de Bosques con 795.230 ha (26,2%) y Terrenos Agrícolas con 710.439 ha (23,4%). El predominio de la categoría Praderas-Matorrales se debe al alto grado de erosión de los suelos de la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, que

en la actualidad solo permite el uso a la actividad pecuaria y forestal (GORE, 2006).

En la región, debido a la poca altura de la cordillera de la costa, se distingue solo un tipo de clima, el templado cálido con estación seca, el cual se caracteriza principalmente por la presencia de una estación seca prolongada de 4 a 5 meses y precipitaciones abundantes y preferentemente frontales en invierno (DMC, 2012). En cuanto a la temperatura, ésta presenta una media en la región de 19 °C, con máximas que en promedio superan los 30°C en verano y mínimas promedio de 7 °C en invierno. A su vez, la precipitación media anual de la región es de 700,2 mm, pero es muy irregular en sentido mar-cordillera, puesto que en la costa supera los 800 mm en las zonas altas, disminuye a 700 mm hacia el sector oriental de la cordillera de la costa y aumenta nuevamente a 720 mm en la depresión intermedia, superando los 1.000 mm en la precordillera y los 2.500 mm en la alta cordillera (BCN, 2012).

La hidrografía de la región está constituida por los ríos Mataquito y Maule. El río Mataquito es de origen mixto y se forma por la unión de los afluentes de los ríos Teno y Lontué en la depresión intermedia, a la altura de la comuna de Sagrada Familia. El río Maule es uno de los principales ríos del país, teniendo como tributarios en su curso superior a los ríos Puelche, Los Cipreses, Claro y Melado. Finalmente, en la Depresión Intermedia, recibe el aporte del río Loncomilla, desembocando en Constitución con un ancho promedio de 200 metros (BCN, 2012).

3.1.3. Región del Biobío

La Región del Biobío se ubica en la zona centro-sur de Chile, entre los 36°00' y los 38°30' de latitud Sur, limitando con la Región del Maule en el Norte, con la Región de la Araucanía por el Sur, con la República Argentina por el Este y con el Océano Pacífico por el Oeste. Tiene una superficie de 37.046,9 Km², representando el 4,21% de la superficie nacional continental (BCN, 2012). Su población total según el censo del 2002 es de 1.861.562 habitantes (INE, 2012). Está compuesta por 4 provincias: Ñuble, Concepción, Biobío y Arauco, siendo la ciudad de Concepción la capital regional.

El relieve en la Región del Biobío presenta cuatro unidades geográficas claramente definidas y que de Este a Oeste son la Cordillera de los Andes, la Depresión Intermedia, la Cordillera de la Costa y las Planicies Litorales. La cordillera de los andes presenta alturas promedio de 2.000 m.s.n.m. y adquiere gran importancia como acumuladora de nieve para alimentar los grandes cursos fluviales de la región. La depresión intermedia se caracteriza por una topografía uniforme, como una llanura que se torna más ondulada hacia el sur del Biobío. La cordillera de la costa presenta un desarrollo dispar, pues en la zona Norte del río Biobío es baja y ondulada, con alturas no superiores a 400 m.s.n.m., mientras que al Sur de éste, se levanta como un macizo de más de 1.500 m.s.n.m. (Cordillera de Nahuelbuta), lo que origina condiciones climáticas únicas. Finalmente, las planicies litorales son homogéneas, caracterizadas por bancos costeros o terrazas, alcanzando los 35 km de ancho en el golfo de Arauco (BCN, 2012).

Las principales categorías de uso de suelo dentro de la región corresponden a Bosques con 2.052.965,7 ha (55,4%), seguidas de Terrenos

Agrícolas con 829.544,2 ha (22,4%) y Praderas-Matorrales 510.969 ha (13,8%). Dentro de la categoría Bosque, un 72,4% (1.228.668,0 ha) corresponde a plantaciones, 24,9% (767.875,0 ha) corresponde a Bosque Nativo Puro y 2,7% (56.422,6 ha) corresponde a Bosque Mixto (CONAF-CONAMA-UaCH, 2009).

En la región, existe una transición climática entre los climas templados de Chile central y los climas más lluviosos del Sur, pudiéndose encontrar tres tipos de climas. El primero de ellos es el templado cálido con estación seca, el cual abarca una pequeña franja en el norte de la Región, desde la costa hasta el límite con Argentina, caracterizándose por una precipitación sobre los 1.000 mm anuales en el sector costero y valles, aumentando a 3.000 mm anuales en sectores cordilleranos y con temperaturas medias de 13°C, con amplitud térmica de 12°C. El segundo clima es el templado con estación seca corta, el cual abarca la mayor parte de la región, también desde la costa hacia la cordillera, caracterizándose por presentar una estación seca menor a 4 meses, con temperaturas medias anuales de 12°C, con amplitudes de 10°C y precipitaciones que varían de 1.000 mm a 3.000 mm anuales en sentido mar a cordillera. El último y tercer clima que se encuentra en la región es el templado lluvioso con influencia mediterránea, el cual abarca el sector costero sur (ladera oriental de la Cordillera de Nahuelbuta) y se caracteriza por una mayor nubosidad y amplitud térmica anual, en conjunto con un aumento de las precipitaciones (DMC, 2012).

La hidrografía de la región está constituida por los ríos Itata y Biobío. El río Itata es de origen mixto, cuyos principales afluentes son el río Ñuble en su parte central y el río Lonquén en su parte inferior. El río Biobío también es de origen mixto, naciendo en la Cordillera Andina de la región de la Araucanía como desaguadero de los lagos cordilleranos Icalma y Galletué. En su curso medio recibe aportes de los ríos Duqueco y Bureo. Ya en la Depresión

Intermedia confluye con el río Vergara. Finalmente, en la costa, recibe el aporte del río Laja, para desembocar en los cerros de Hualpén, al norte de Concepción (BCN, 2012).

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Precipitación

La precipitación se define como un hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Incluye lluvia, llovizna, aguanieve y granizo, pero no neblina y rocío, que son formas de condensación de la humedad (DMC, 2012). Para Llamas (1993), la precipitación corresponde al término general utilizado para denominar el fenómeno físico por el cual el agua cae sobre la superficie terrestre en cualquiera de sus formas: lluvia, nieve, granizo y sus modificaciones. Fernández (1995) las define como la cantidad de agua procedente de las nubes que llega al suelo en estado sólido o líquido y que puede ser caracterizada según su distribución, diferencia climática y régimen pluviométrico. A su vez, para Cuadrat y Pita (2000), el término precipitación expresa todas las formas de humedad caídas directamente en estado líquido y sólido, aunque en general sólo la lluvia y la nieve desprendidas de las masas nubosas contribuyen de un modo significativo a los totales pluviométricos.

Fernández (1995) clasifica las precipitaciones en función del mecanismo de ascenso que determina la condensación por enfriamiento adiabático. Dicha clasificación consta de tres tipos de precipitaciones: Ciclónicas o frontales, Convectivas y Orográficas. Las primeras están asociadas a frentes o borrascas, las segundas están asociadas a corrientes ascendentes y las últimas están asociadas al ascenso forzoso de la masa de aire debido a una barrera montañosa.

Este fenómeno (precipitaciones), junto a las temperaturas, se constituye como el elemento climático que influye de manera directa en la configuración del medio natural, pues condiciona los ciclos agrícolas y la distribución de especies animales y vegetales (Fernández, 1995).

4.2. Intensidad de Precipitación

Chow *et al* (1994) definen la intensidad de lluvia como la tasa temporal de precipitación, la cual se expresa como la profundidad de lluvia por unidad de tiempo, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

P: Profundidad de lluvia (mm).

T_d: Duración (horas).

A simple vista, la intensidad promedio sostenida por la tormenta disminuye a medida que el intervalo de tiempo aumenta (Chow *et al*, 1994). Desde el punto de vista contrario, se muestra que la intensidad de precipitación es mayor a medida que su duración es más corta (Remenieras, 1971). Por otro lado, Aparicio (1997) señala que el valor de T_d que es seleccionado, resulta importante en cuanto a la información de intensidad que proporcionará, pues uno muy grande entregaría poca información, mientras que uno muy pequeño la haría excesiva y difícil de manejar.

Para establecer la intensidad de precipitación máxima de un intervalo de tiempo, primero se deben calcular las intensidades de lluvia corrientes pertenecientes a una serie de datos para un intervalo de tiempo determinado y luego se debe seleccionar el valor máximo de aquel conjunto de datos. (Chow *et al*, 1994).

Existen diversas clasificaciones para intensidades de lluvia de acuerdo a la magnitud de su intensidad. Los cuadros N°1 y N°2 muestran diferentes clasificaciones para la intensidad de precipitación, de acuerdo a su monto de intensidad y a la intensidad propiamente tal, respectivamente. Es importante señalar que estas clasificaciones no son equivalentes, pues fueron elaboradas en países con diferentes características geoclimáticas, como lo son España y México.

Tabla N°1: Clasificación de lluvias de acuerdo al monto de su intensidad.

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

Fuente: Instituto de Meteorología de España.

Tabla N°2: Clasificación de las intensidades de precipitación.

Intensidad	Magnitud (mm/h)	Descripción
Ligera	2,5 o menos	Las gotas son fácilmente identificables, unas de otras; las superficies expuestas secas tardan más de dos minutos en mojarse completamente.
Moderada	2,5 – 7,5	No se pueden identificar gotas individuales y los charcos se forman rápidamente. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo o de otras superficies planas.

Tabla N°2: (Continuación). Clasificación de las intensidades de precipitación.

Intensidad	Magnitud (mm/h)	Descripción
Fuerte	7,5 o más	La visibilidad es bastante restringida y las salpicaduras que se producen sobre la superficie se levantan varias pulgadas.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), México.

4.3. Duración y Frecuencia de las Precipitaciones

Pereyra *et al* (2004), citados por Pizarro *et al* (2007), definen la duración de un evento de precipitación como el tiempo que transcurre desde que se inicia la precipitación, hasta que ésta cesa.

Por otro lado, la frecuencia según Cuadrat y Pita (2000), es el número de años que en promedio han de transcurrir para que se origine un evento de igual magnitud o superior al de referencia. Para Coras *et al* (2001), citados por Pizarro *et al* (2007), corresponde a la repetición de eventos de características similares en intensidad y duración. Esta definición va en directa relación con el período de retorno, el que Linsey *et al* (1997) lo definen como el número de años promedio que transcurre para que un evento sea igualado o excedido. En cambio, Pizarro *et al* (1986) definen al período de retorno (T) como el inverso de la probabilidad de ocurrencia de un evento x, el que se expresa de la siguiente forma:

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

Donde:

T: Periodo de retorno (años).

$P(x > X)$: Probabilidad de excedencia del evento x .

La relación entre estas características, sumadas a la intensidad de precipitación y a la distribución de éstas, permite evaluar adecuadamente el comportamiento de las precipitaciones (Pizarro *et al*, 2007).

4.4. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF)

La mayoría de los autores que han trabajado con curvas IDF, les asignan una definición similar, que es básicamente la representación gráfica de la intensidad con respecto a la duración para un mismo periodo de retorno o frecuencia. Témez (1978) las define como aquellas curvas que resultan de unir puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno. Para Mintegui y López (1990), citados por Vallejos (2010), las curvas IDF representan a las duraciones en las abscisas y a la altura o intensidad de precipitación en las ordenadas, donde cada curva corresponde a una frecuencia o periodo de retorno. Para Bedient y Huber (1992) citados por Vallejos (2010), son representaciones gráficas que muestran la probabilidad de que cierta intensidad media de precipitación pueda ocurrir, dada una determinada duración. Por otro lado, para De Fraja (1993) citado por Pizarro *et al* (2007), corresponden a una metodología que permite estimar el valor de las precipitaciones con distintos intervalos y periodos de retorno, a partir de la información de precipitación diaria registrada en las estaciones pluviométricas.

Las curvas IDF tienen un diseño gráfico característico (Figura N°2), que corresponde a una curva exponencial negativa, en la cual se puede apreciar que la intensidad decrece a mayor duración y a su vez, para una tormenta de cualquier duración, se tendrá mayor intensidad a mayor periodo de retorno (Pizarro *et al.*, 2007).

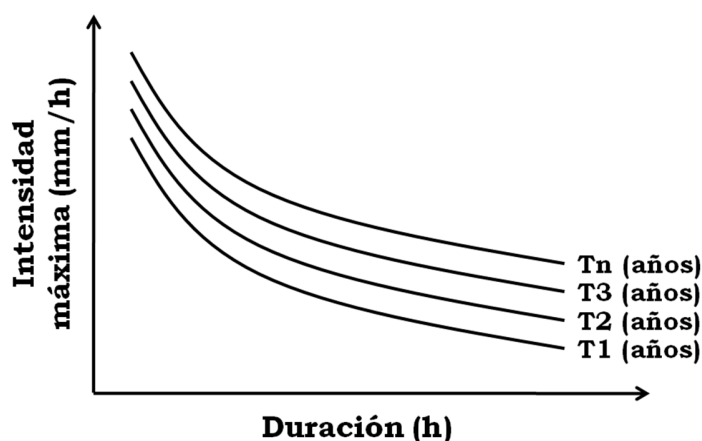


Figura N°2: Representación gráfica de las curvas IDF

4.5. Construcción de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

La construcción de curvas IDF se realiza a partir de datos aportados por los pluviogramas de una determinada estación. López *et al* (1998), citados por Cereceda (2008), señalan que el análisis de estos pluviogramas lleva a obtener expresiones de la altura de precipitación en función de la duración, los cuales son característicos de cada zona.

Existen diversos métodos para construir curvas IDF, los que han sido propuestos por varios autores. Pereyra *et al* (2004), citados por Cereceda

(2008), hacen referencia a que las primeras relaciones matemáticas que modelan dichas curvas datan desde el inicio de los años treinta del siglo veinte y fueron realizadas por Sherman en 1931 y Bernard en 1932.

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

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

En estas ecuaciones, K, m, n y b son constantes que se obtienen de un análisis de regresión múltiple e I, D y T corresponden a la intensidad de duración (mm), la duración (horas) y el periodo de retorno (años), respectivamente.

Aparicio (1997) plantea que existen dos métodos para la construcción de curvas IDF: el de Intensidad-Periodo de Retorno y el de Intensidad-Duración-Período de Retorno. El primero relaciona las dos variables para cada duración por separado mediante una función de probabilidad hidrológica, mientras que el segundo, análogo a Sherman y Bernard, relaciona las tres variables en una familia de curvas cuya ecuación es:

$$I=K*T^m / (D+C)^n$$

Donde K, m, n y C son constantes que se obtienen de un análisis de regresión múltiple e I, D y T corresponden a la intensidad de precipitación, la duración y el periodo de retorno, respectivamente.

Chow *et al* (1994) plantean dos formas de trabajar con las curvas: la primera es utilizando un análisis de frecuencia de lluvias, considerando para ello una función de distribución de probabilidad para valores extremos; mientras que la segunda es expresar las curvas IDF como ecuaciones.

Otra forma de determinar las curvas IDF, fue la propuesta por Témez (1978), el cual relaciona las intensidades de precipitación ocurridas en intervalos de diferente duración y para los distintos periodos de retorno, graficando la relación entre las variables intensidad, duración y frecuencia.

4.6. Aplicaciones de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF)

Pizarro *et al.* (2007) señalan que a partir de las curvas IDF, es posible obtener intensidades de diseño fundamentales para el dimensionamiento de numerosos proyectos de control y evacuación de crecidas, proyectos de alcantarillado y colectores de aguas lluvias, así como sistemas de drenaje de caminos y aeropuertos. Dicha importancia es remarcada por Chow *et al* (1994), indicando que uno de los primeros pasos que se deben seguir en muchos proyectos de diseño hidrológico, es determinar los eventos de lluvia que serán utilizados.

Linsley *et al* (1988), señalan que la hidrología debe recurrir al estudio de la probabilidad o frecuencia, con la cual un determinado caudal o volumen puede ser igualado o excedido, ya que en la construcción de una determinada obra, dicho aspecto influirá directamente en los costos y en la duración de la misma.

Para Viessman *et al* (2002), citados por Vallejos (2010), las curvas IDF son usadas en el diseño de obras que captan agua proveniente de las tormentas, así como en la construcción de reservorios de agua. Tales diseños están basados en la estimación de los peores casos de lluvias intensas en

intervalos de tiempo dados. De esta forma es posible analizar varias tormentas de distintas duraciones, para encontrar los eventos más críticos de manera de poder seleccionar las frecuencias en los diseños.

Finalmente, Román (2003) señala que las curvas IDF son de gran ayuda en la construcción de obras de control de erosión y recuperación de suelos degradados. Su utilización se incluye en obras como zanjas de infiltración, canales de desviación, diques y otro tipo de obras destinadas al control de procesos erosivos en laderas y el control de cárcavas.

4.7. Método-K

Pizarro *et al* (2001) indican que existe un método que permite la construcción de las curvas IDF en estaciones pluviométricas, el cual es denominado Método-K o Índice de Tormenta. Este método relaciona la intensidad a una duración i para distintos periodos de retorno, los cuales son asociados a una precipitación de 24 horas para el mismo periodo de retorno. Dicho parámetro se define como:

$$K = I_{dj} / I_{24j}$$

Donde I_{dj} es la intensidad de precipitación horaria para la duración i y periodo de retorno j , e I_{24j} es la intensidad de precipitación para una duración de 24 horas y el mismo periodo de retorno.

Las tablas con el parámetro K calculado, permiten la extrapolación a zonas o estaciones que carezcan de registros pluviográficos (estaciones

pluviométricas). Para realizar la extrapolación, se asume que el comportamiento de la curva IDF de la estación pluviográfica es similar a la pluviométrica, debiendo multiplicar la precipitación de 24 horas de la estación a un determinado periodo de retorno por el factor K ligado a una nueva duración horaria. Así:

$$I_d = K * I_{24}$$

Dadas las características del método, la relación sólo es posible en estaciones con similares características climatológicas (Pizarro *et al*, 2001).

4.8. Índice de Tormenta (Valor K)

El Índice de Tormenta o valor K del Método-K para cada periodo de retorno se obtiene, como ya se ha señalado, como un coeficiente entre la intensidad de precipitación horaria obtenida en la curva IDF y la intensidad de precipitación de 24 horas de duración, todo para un mismo periodo de retorno. Generalmente, se expresa en una tabla resumen:

Tabla N°3: Descripción de una tabla resumen de Índices de Tormenta.

Duración (horas)	Periodo de retorno				
	1	2	3	...	n
1	$I_{(1,1)}/I_{(1,24)}$	$I_{(2,1)}/K_{(2,24)}$	$I_{(3,1)}/I_{(3,24)}$...	$I_{(n,1)}/I_{(n,24)}$
2	$I_{(1,2)}/K_{(1,24)}$	$I_{(2,2)}/K_{(2,24)}$	$I_{(3,2)}/K_{(3,24)}$...	$I_{(n,2)}/K_{(n,24)}$
...
24	$I_{(1,24)}/I_{(1,24)}$	$I_{(2,24)}/I_{(2,24)}$	$I_{(3,24)}/I_{(3,24)}$...	$I_{(n,24)}/I_{(n,24)}$

Donde $I_{(n,m)}$ es la intensidad del periodo de retorno “n” para una duración horaria “m”.

4.9. Estudios Relacionados

A nivel nacional, no existen estudios propiamente tales de la variación del valor K, sino que existen estudios sobre evaluación, construcción y/o comparación de métodos para curvas IDF. Dentro de los estudios de construcción de curvas IDF, se analizan indirectamente los valores K obtenidos. Es importante señalar que un número importante de estos estudios están en la Escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad de Talca, a modo de memorias de título de pregrado.

Dentro de los estudios sobre construcción de curvas IDF, Abarza (2001) construyó curvas IDF para seis estaciones pluviográficas de la Región del Maule, cuatro de ellas ubicadas en el valle central y dos ubicadas en la cordillera andina, obteniendo buenos niveles de ajuste de acuerdo al R^2 obtenido y la prueba U de Mann – Whitney, pero acotando que las intensidades horarias son más altas en la cordillera de los andes, en contraste al valle central. Por otro lado, Román (2003) generó curvas IDF para cinco estaciones pluviográficas de la Región Metropolitana distribuidas entre el valle central y la precordillera, logrando excelentes niveles de calidad de ajuste. Macaya (2004) en cambio, confeccionó curvas IDF para siete estaciones pluviográficas ubicadas en las regiones de Valparaíso y O’Higgins, obteniendo buenas calidades de ajuste, pero remarcando que gran parte de las intensidades máximas registradas se produjeron en estaciones ubicadas junto a cuerpos de agua y el mismo resultado obtuvo Cornejo (2004), quien elaboró curvas IDF

para siete estaciones pluviográficas de la Región de Coquimbo, obteniendo también excelentes calidades de ajuste y reafirmando que las intensidades máximas de precipitación se registraron en estaciones cercanas a cuerpos de agua, que en este caso, corresponden a embalses. A su vez, Labra (2005) construyó curvas IDF para cinco estaciones pluviográficas de la Región del Biobío y cuatro en la Región de la Araucanía, obteniendo buenas calidades de ajuste. También realizó un análisis de la variación latitudinal de las intensidades máximas, indicando que éstas aumentan a medida que aumenta la latitud. Carrasco (2010), determinó curvas IDF en cuatro estaciones pluviográficas de la zona sur del país: estaciones Llancahue y Lago Calafquén en la Región de Los Ríos, estación Puelo en la Región de Los Lagos y estación Punta Arenas en la Región de Magallanes, concluyendo del estudio que solo en la estación Punta Arenas la estimación presentó algunas falencias, dado que los datos del periodo de invierno no presentaron una adecuada calidad en el ajuste. Finalmente, Vallejos (2010) confeccionó curvas IDF en tres estaciones pluviográficas de la Región de Arica y Parinacota y tres de la Región de Atacama, obteniendo con su estudio coincidencias con lo expuesto por Macaya (2004) y Cornejo (2004), pues en la estación Santa Juana, ubicada a pocos kilómetros del Embalse Santa Juana, en el Valle del Huasco, se registraron las intensidades máximas.

En cuanto a estudios comparativos, Aravena (2006) comparó 31 curvas IDF de estaciones pertenecientes a las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana O'Higgins y Maule, obteniendo que las intensidades de las estaciones ubicadas al norte de la zona de estudio son similares a las obtenidas en las estaciones del sur, pero las primeras presentan una mayor variabilidad. También determinó que, en cuanto al comportamiento gráfico, éste levemente asciende de norte a sur, no guardando ninguna relación directa con la precipitación media anual ni con algún patrón de longitud y altitud.

Finalmente, a nivel nacional Cereceda (2008) realizó un estudio sobre la proposición del método-K para construir curvas IDF en estaciones pluviométricas de Chile central en base a estaciones pluviográficas y pudiendo inferir que efectivamente, el método-K es una herramienta adecuada para construir curvas IDF en estaciones pluviométricas a partir de estaciones pluviográficas, siempre y cuando se cuente con diferencias mínimas en las intensidades de 24 horas, entre la información que poseen las estaciones pluviográficas y pluviométricas, de no más de 2 mm/h. Dentro del estudio, se realizaron pequeños análisis de comparación del valor K para diferentes intensidades y periodos de retorno, obteniendo que el valor K tiende a presentar valores similares a medida que aumenta la duración en horas, presentando solo fluctuaciones notorias en el caso de 1 hora de duración. Esta tendencia es similar tanto dentro de las regiones de estudio como en la totalidad de ellas.

A nivel internacional tampoco hay información explícita sobre la variabilidad del valor K, pero si hay referencias acerca de cómo se están comportando las precipitaciones e intensidades máximas de precipitación en los últimos años, lo que puede dar una inferencia acerca de cómo se podría comportar el valor K en dichos estudios.

En latinoamérica, García y Cruz (2009) analizaron las precipitaciones diarias, mensuales y anuales de registros históricos de 74 estaciones en la región norte de México en el periodo comprendido entre 1921 y 2004, obteniendo como resultado incrementos en las medias y medianas de las intensidades de precipitaciones diarias para el periodo 1994-2004. Además, concluyen que el monto de precipitación anual no ha variado pero, sí se han

reducido significativamente los días de precipitaciones, lo que infiere que en el último tiempo precipita con intensidades mayores.

A nivel sudamericano, Morales *et al* (s.f.) determinaron mediante el análisis de anillos de la especie *Polylepis tarapacana* (Phil.) que la cantidad de lluvia caída está en directa relación con el fenómeno ENOS (El Niño-Oscilación Sur), pero desde 1930 en adelante, ha existido una disminución significativa de las lluvias, incluso encontrándose en este periodo los 3 años más secos de todo el registro. Por otra parte, Campo *et al* (2009) analizaron el comportamiento de las lluvias entre los años 1970 a 2008 en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, encontrando que existe una variación de las precipitaciones que es característica del sector, pero que esta correlacionada directamente con fenómenos globales. También en Argentina, la UNL-FICH (2007) analizó la evolución temporal de la frecuencia e intensidades extremas de las lluvias en la región geográfica de Mesopotamia, encontrando como resultado que existe un aumento del 30 y del 70% en la cantidad de días al año en los cuales se registran lluvias sobre los 100 mm para los periodos 1934 – 1972 y 1972 – 2005 respectivamente, lo cual implica un aumento por sobre el 100%.

Otros estudios, como el del IPCC (2008), señala que se producirá un aumento en la frecuencia de episodios con lluvias extremas, siendo más pronunciado en las latitudes medias y altas que ya han experimentado un aumento en el monto anual de sus precipitaciones, debido principalmente al aumento de la temperatura de la superficie de los océanos. El estudio indica que como consecuencia directa de este fenómeno, se producirán periodos secos más largos.

A nivel internacional, Herat *et al* (2004) determinaron la tendencia de la precipitación a largo plazo en la región montañosa central de Sri-Lanka, tanto

a nivel inter-anual como intra-anual. Tras finalizar el estudio, concluyeron que hubo un decrecimiento en la cantidad de días de precipitación y en la lluvia inter-monzónica, pero que la intensidad aumentó y el periodo de retorno de ocurrencia de eventos extremos de precipitación se hizo más corto.

En Norteamérica, Mailhot *et al* (2007) utilizaron el Modelo Climático Regional de Canadá (CRCM con sus siglas en inglés) para evaluar el cambio en las curvas IDF en el sur de la provincia de Quebec, Canadá. Concluyeron que los eventos de precipitación extrema para duraciones horarias de 2 y 6 horas se reducirán a la mitad, mientras que para las duraciones horarias de 12 y 24 horas se reducirán a un tercio, y ello para todos los periodos de retorno.

Finalmente, en Europa Madsen *et al* (2009) descubrieron que tras realizar la actualización de curvas IDF en Dinamarca para diferentes tipos de tormenta entre los periodos 1997-2005, existe efectivamente un incremento en los eventos extremos de precipitación, el cual si bien no es de carácter estadísticamente significativo, sí tiene incidencia en las obras de ingeniería. Señalan además que, dentro del estudio, el cambio más drástico se registró en las duraciones horarias de 0,5 y 3 horas, con un incremento del 10% para un periodo de retorno de 10 años. Por otro lado, Simonovic *et al* (2009) también realizaron una actualización de las curvas IDF bajo el contexto del cambio climático, pero para la ciudad de Londres, tras lo cual observan que los eventos extremos de precipitación se incrementan para todas las duraciones horarias y para todos los periodos de retorno analizados, pues tras comparar las curvas IDF actualizadas frente a las curvas IDF históricas, se detectó que existen diferencias entre ellas, pero éstas no son significativas. Dichas diferencias rondan entre un 0,2 y un 12,2%, con una media de 4,5%, pero a pesar de no ser significativas, si tienen incidencia en la mantención de obras de ingeniería actuales y en la construcción de obras de ingeniería a futuro.

5. METODOLOGÍA

5.1. Etapas Metodológicas

5.1.1. Revisión Bibliográfica

Esta etapa consistió en la búsqueda, lectura y registro de toda información relevante para el tema en estudio. Dicha información fue extraída de memorias, textos y artículos especializados en el tema en conjunto con información bibliográfica de documentos, artículos y otros extraídos desde internet.

El objetivo de la recopilación de información fue servir como base y/o complemento para el análisis y discusión sobre los temas afines al estudio en todas sus etapas.

5.1.2. Recopilación de la Información

Las instituciones encargadas de facilitar toda la información para esta memoria, fueron la Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA).

La información entregada corresponde a latitud, longitud y altitud de la estación, en conjunto con los registros de precipitaciones diarias y horarias. Los valores de intensidad y las funciones respectivas, así como los respectivos valores K, son fruto del trabajo desarrollado en el proyecto FONDEF código DI081054 “Sistema de Estimación de Eventos Extremos de Lluvia para la Prevención y Mitigación de los Riesgos de Avenidas y Caudales Circulantes en un Contexto de Variabilidad y Cambio Climático”.

Las estaciones y sus coordenadas geográficas se describen a continuación:

Tabla N°4: Estaciones y sus coordenadas geográficas.

Región	Estación	Propietario	Coordenadas UTM		Altitud
			N	E	
Metropolitana	Embalse Rungue	DGA	6344563	321575	700
	Huechún Andina	DGA	6338538	334706	590
	Pudahuel	DMC	6303827	333113	480
	Cerro Calán	DGA	6303490	356880	848
	Los Panguiles	DGA	6297875	311499	190
	MOP-DGA	DGA	6297712	347149	560
	Quinta Normal	DMC	6297392	346948	527
	Tobalaba	DMC	6297286	356147	652
	Edificio Central	ENDESA	6296683	346657	560
	Cerrillos	DMC	6292542	341711	554
	La Obra	DGA	6281783	361970	796
	San Antonio	DGA	6281531	256146	80
	Pirque	DGA	6272526	352676	659
	Melipilla	DGA	6270745	295875	170
Maule	Curicó	DMC	6128453	296813	220
	Los Queñes	DGA	6125462	334570	668
	Potrero Grande	DGA	6104610	308992	460
	Pencahue	DGA	6081649	242462	55
	Talca	DGA	6076996	261931	130
	San Javier	DGA	6057345	259056	135
	Colorado	DGA	6053556	295409	420
	El Lirio-Maule	ENDESA	6050478	287293	340

Tabla N°4. (Continuación). Estaciones y su coordinación geográfica

Maule	Armerillo	ENDESA	6047293	310004	450
	Desagüe Laguna Invernada	ENDESA	6044162	338725	1360
	Melozal	DGA	6037495	248348	110
	Casa de Máquinas	ENDESA	6036712	335847	943
	Melado en La Lancha	ENDESA	6029792	313391	650
	Embalse Ancoa	DGA	6023539	293064	430
	Parral	DGA	5990920	245623	175
	Embalse Digua	DGA	5985373	271197	390
	Embalse Bullileo	DGA	5981362	282975	600
	San Manuel	DGA	5973171	262274	270
Bío-Bío	Caracol	DGA	5941041	286123	620
	Chillán Viejo	DGA	5941028	220217	106
	Chillán	DMC	5941028	774717	156
	Embalse Coihueco	DGA	5940945	249537	314
	La Punilla	DGA	5940130	291735	840
	Hualpencillo	DMC	5929238	674042	30
	Carriel Sur	DMC	5927873	672911	18
	Bellavista	DMC	5922318	675099	30
	Diguillín	DGA	5916108	264244	670
	Polcura en Balseadero	ENDESA	5866988	275513	740
	Los Angeles	DMC	5857331	728146	121
	Quilaco	DGA	5825399	235537	225
	Cerro el Padre	DGA	5814336	247868	400
	Contulmo	DGA	5784133	128504	25
	Troyo	ENDESA	5764870	298718	650

5.1.3. Análisis del comportamiento de los valores K

En esta etapa se analizaron los valores K de cada estación, poniendo énfasis en su comportamiento numérico y su potencial relación con la longitud y la altitud de las estaciones pluviográficas. Dichos análisis corresponden a las

duraciones 0,5, 1, 2, 4, 6 y 12 horas para los periodos de retorno $T = 5, 50$ y 100 años.

5.1.4. Determinación de rangos para la variación Altitudinal y Latitudinal

En esta etapa se determinaron los rangos de agrupación de las estaciones en cuanto a latitud y altitud para el posterior análisis estadístico de los datos.

En primera instancia, se agruparon las estaciones en intervalos iguales de estaciones, pero inmediatamente se descartó el procedimiento debido a que esa clasificación no permitía identificar o caracterizar - tanto a nivel de latitud como a nivel de altitud- alguna zona geográfica representativa. Esto derivó en la posterior agrupación de las estaciones en intervalos cuyos límites fueron determinados por características geográficas de la zona de estudio, lo que dio como resultado que los intervalos de latitud y altitud quedasen con diferente número de estaciones (cuadros N°4 y N°5).

En cuanto a la clasificación por latitud propiamente tal, en primera instancia se ordenaron las estaciones de norte a sur de acuerdo a su coordenada UTM; posteriormente se redondeó el valor UTM de las estaciones extremas al 50.000 más cercano y el total del área geográfica se dividió en 6 intervalos de igual latitud (cuya longitud total es de 100.000 metros ó 100 km), donde además a cada intervalo se le asignó el nombre de la región o subregión geográfica que éste representa, basándose netamente en los límites político-administrativos del país.

En cuanto a la clasificación por altitud, también se procedió a ordenar las estaciones de menor a mayor y se determinó la diferencia de altura entre el nivel del mar y la estación más alta (1.360 m.s.n.m.) y se procedió a separar en 5 categorías de altura, agrupadas cada 200 metros, partiendo desde la cota cero, pero agrupando en una misma categoría a las estaciones que estaban por sobre los 800 m.s.n.m. La razón del por qué se determinaron intervalos tan bajos de altura –para un país tan montañoso–, es simplemente porque no se dispone de estaciones que estén por sobre los 2.000 o 3.000 m.s.n.m., y en caso de disponer de ellas, serían muy pocas en número comparadas con las estaciones que se encuentran bajo los 1.000 m.s.n.m.

Tabla N°5: Cantidad de estaciones por cada categoría de latitud.

Categoría	Intervalo (UTM Norte)	Nº Estaciones
Metropolitana	6.350.000-6.250.000	14
O'Higgins *	6.249.999-6.150.000	0
Maule Norte	6.149.999-6.050.000	8
Maule Sur	6.049.999-5.950.000	10
Bío-Bío Norte	5.949.999-5.850.000	11
Bío-Bío Sur	5.849.999-5.750.000	4

* Región fuera del estudio del proyecto FONDEF-DI081054

Tabla N°6: Cantidad de estaciones por cada categoría de altitud.

Categoría	Intervalo (m.s.n.m.)	Nº Estaciones
Baja	0-200	15
Media-Baja	201-400	7
Media	401-600	11
Media-Alta	601-800	10
Alta	801 o más	4

5.1.5. Prueba U de Mann-Whitney

La prueba U de Mann-Whitney permite determinar si dos muestras independientes provienen de una misma población. Al ser también una prueba no paramétrica, no requiere comprobar los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas (Mason y Lind, 1995).

Esta prueba es el equivalente no paramétrico de la prueba t de Student y se basa en la combinación de las n_1 y n_2 observaciones, para formar un solo conjunto de $n_1 + n_2$ observaciones arregladas en orden creciente de magnitud. Entonces, se asigna un rango a cada observación en la secuencia. (Canavos, 1995, citado por Vallejos, 2010). Si la mayor de las muestras tiene 20 o menos observaciones, se considera una muestra pequeña. En caso contrario, se considera una muestra grande (Mason y Lind, 1995).

Como en este estudio todas las agrupaciones contenían menos de 20 datos, se abordó la metodología correspondiente para $n \leq 20$. Vallejos (2010) en su estudio, planteó de una manera sencilla y ordenada la metodología a seguir para este caso:

- **Paso 1:** Se combinan las dos muestras n_1 y n_2 para formar un solo conjunto de (n_1+n_2) datos.
- **Paso 2:** Se ordenan los datos de manera ascendente y se les asigna un rango desde 1 hasta (n_1+n_2) .
- **Paso 3:** Se calculan los estadísticos U_a y U_b , respectivamente:

$$Ua = n1n2 + \frac{n1(n1 + 1)}{2} - Ta$$

$$Ub = n1n2 + \frac{n2(n2 + 1)}{2} - Tb$$

Donde:

U_a y U_b : Valores U calculados de la prueba U de Mann-Whitney para las muestras A y B, respectivamente.

n_1 y n_2 : Cantidad de datos para las muestras A y B, respectivamente.

T_a y T_b : Suma de los rangos para las muestras A y B, respectivamente.

- **Paso 4:** Se selecciona el menor valor entre U_a y U_b , el cual es comparado con el valor U obtenido de la tabla de valores críticos de U en la prueba Mann-Whitney. Si U es menor al valor calculado, se acepta la hipótesis nula.

En este caso, la regla de decisión se basó en la siguiente afirmación:

- Si el valor p de equivalencia al valor U es menor a 0,05, existen diferencias significativas entre las medianas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.
- Si el valor p de equivalencia al valor U es mayor o igual a 0,05, no existen diferencias significativas entre las medianas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como se mencionó anteriormente, ambas pruebas se seleccionaron por su carácter no paramétrico, utilizando la primera para determinar si existieron diferencias significativas entre los distintos grupos y utilizando la segunda para determinar cuáles conjuntos de grupos son los que difieren.

5.1.6. Determinación de Indicadores

Para profundizar aún más los análisis, se crearon coeficientes que estiman las proporciones y diferencias entre valores promedio, máximos y mínimos. Dichos coeficientes fueron:

- **Proporción Máximo-Mínimo (PMM):** Es un cociente entre el valor máximo y el valor mínimo del valor-K para cada grupo de datos (ya sea la totalidad de estos o para las categorías anteriormente definidas). Permitió estimar cuantas veces el valor mínimo de una serie de datos es superado por el valor máximo de la misma.
- **Proporción Máximo-Promedio (PMP):** Es un cociente entre el valor máximo y el promedio del valor-K para cada grupo de datos (ya sea la totalidad de estos o para las categorías anteriormente definidas). Permitió estimar cuantas veces el valor promedio de una serie de datos es superado por el valor máximo de la misma.

Las expresiones matemáticas que fueron utilizadas para calcular cada indicador, se detallan a continuación:

Tabla N°7: Expresiones matemáticas de cada indicador.

Indicador	Fórmula
PMM	$PMM = \frac{M}{m}$
PMP	$PMP = \frac{M}{P}$

Donde:

M, m : Valores Máximo y Mínimo de una misma muestra de datos, respectivamente.

P : Valor promedio de la muestra de datos.

5.1.7. Presentación de Resultados

En esta etapa se entregaron mediante tablas y gráficos los resultados obtenidos de los análisis; así, el primer aspecto que se muestra son los valores K existentes por cada estación, para posteriormente entregar la variación de los valores del Índice de Tormenta para cada duración horaria y para cada periodo de retorno en función de las categorías de latitud y altitud. El segundo punto que se muestra es el valor-P de la prueba estadística de U Mann-Whitney entre la interacción de las diferentes categorías que componen la clasificación por latitud y altitud para cada duración horaria y para cada periodo de retorno. Finalmente, se presentan los valores de los indicadores PMM y PMP para la variación latitudinal y altitudinal para cada periodo de retorno.

5.1.8. Análisis y Discusión de Resultados

En esta etapa, se discutieron los patrones que presentan los valores K para la totalidad de los datos, en conjunto con las diferencias estadísticas obtenidas entre grupos de datos ordenados por latitud y altitud. Además, se

analiza la tendencia del valor de cada coeficiente a nivel latitudinal y altitudinal.

5.1.9. Conclusiones y Recomendaciones

Finalmente, se entregan las conclusiones y las recomendaciones respectivas que se obtuvieron de forma posterior al análisis exhaustivo y detallado de los datos.

5.2. Materiales

Para desarrollar completamente este estudio, se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Registros de Intensidades Máximas Horarias y Valores K, facilitados por la Dirección General de Aguas, Dirección Meteorológica de Chile, Empresa Nacional de Energía Sociedad Anónima y Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental (CTHA).
- Equipos computacionales.
- Softwares computacionales para el registro, manejo y análisis de datos e información. Dichos software fueron Microsoft Word 2007, Microsoft Excel 2007 y Statgraphics Centurion XV.

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Antes de presentar los resultados propiamente tales, se debe recordar que el Índice de Tormenta o valor K es un coeficiente entre el valor de la intensidad de precipitación horaria y el valor de la intensidad de precipitación de 24 horas de una misma curva IDF y ello para un mismo periodo de retorno.

6.1. Valores del Índice de Tormenta

Los valores del Índice de Tormenta para cada estación, para cada duración horaria y para cada periodo de retorno se presentan a continuación:

Tabla N°8: Valor del Índice de Tormenta para cada estación, por cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.

Región	Estación	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
Metropolitana	Embalse Rungue	5,36	3,66	2,78	2,23	1,90	1,48
	Huechún Andina	5,92	4,44	3,37	2,51	2,19	1,56
	Pudahuel	6,49	4,14	3,12	2,45	2,07	1,56
	Cerro Calán	6,47	4,09	3,25	2,54	2,13	1,53
	Los Panguiles	6,49	4,49	3,27	2,45	2,01	1,47
	MOP-DGA	6,17	4,28	3,16	2,50	2,08	1,47
	Quinta Normal	5,84	4,31	3,48	2,64	2,27	1,54
	Tobalaba	6,36	4,17	3,23	2,47	2,10	1,50
	Edificio Central	5,63	4,14	3,29	2,7	2,3	1,61
	Cerrillos	7,47	4,78	3,45	2,72	2,21	1,58
	La Obra	5,72	3,73	2,89	2,32	2,00	1,56
	San Antonio	9,48	6,29	4,22	2,77	2,22	1,55
	Pirque	7,02	4,77	3,30	2,23	1,90	1,42

Tabla N°8: (Continuación). Valor del Índice de Tormenta para cada estación, por cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.

Región	Estación	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
Metropolitana	Melipilla	6,04	3,93	2,91	2,31	1,89	1,38
Maule	Curicó	----	5,37	3,80	----	2,15	1,50
	Los Queñes	4,79	3,59	2,72	2,12	1,83	1,37
	Potrero Grande	5,39	4,26	3,38	2,48	2,11	1,48
	Pencahue	6,46	4,93	3,38	2,34	2,00	1,46
	Talca	8,04	5,33	3,91	2,94	2,32	1,56
	San Javier	7,43	5,23	3,73	2,62	2,14	1,56
	Colorado	5,17	3,74	2,72	2,07	1,84	1,42
	El Lirio-Maule	5,92	4,05	3,25	2,33	1,94	1,47
	Armerillo	4,05	2,65	2,21	1,78	1,56	1,31
	Desague laguna Invernada	3,30	2,62	2,11	1,75	1,55	1,21
	Melozal	6,58	4,40	3,24	2,32	1,92	1,41
	Casa de Máquinas	4,16	3,19	2,52	1,85	1,62	1,30
	Melado en La Lancha	----	3,02	2,54	2,11	1,83	1,37
	Embalse Ancoa	4,87	3,46	2,75	2,18	1,96	1,43
	Parral	6,84	4,94	3,31	2,32	1,99	1,45
	Embalse Digua	5,65	4,06	3,04	2,22	1,92	1,41
	Embalse Bullileo	4,30	3,07	2,44	1,95	1,72	1,36
	San Manuel	4,70	3,69	2,79	2,2	1,87	1,44
Biobío	Caracol	4,38	3,68	2,88	2,14	1,76	1,31
	Chillán Viejo	7,51	4,44	3,08	2,32	2,01	1,37
	Chillán	4,76	3,61	2,83	2,16	1,78	1,34
	Embalse Coihueco	6,48	4,57	3,23	2,25	1,86	1,35
	La Punilla	4,57	3,24	2,50	1,97	1,70	1,29
	Hualpencillo	9,55	6,82	4,81	3,04	2,46	1,62
	Carriel Sur	10,85	6,85	4,31	2,71	2,24	1,46
	Bellavista	----	5,33	3,99	2,65	2,17	1,44
	Embalse Diguillín	4,68	3,55	2,75	1,99	1,71	1,33
	Polcura en balseadero	4,29	3,28	2,53	2,08	1,82	1,38
	Los Angeles	5,66	4,22	2,99	2,16	1,87	1,41
	Quilaco	7,74	5,73	4,15	2,73	2,19	1,50
	Cerro el Padre	5,37	3,83	2,81	2,05	1,78	1,39
	Contulmo	----	4,10	2,91	2,22	1,95	1,49
	Troyo	4,98	3,45	2,52	1,90	1,67	1,29

Tabla N°9: Valor del Índice de Tormenta para cada estación, por cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.

Región	Estación	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
Metropolitana	Embalse Rungue	4,29	2,88	2,32	1,98	1,72	1,42
	Huechún Andina	4,38	3,40	2,72	2,12	1,98	1,53
	Pudahuel	6,11	3,48	2,67	2,26	1,96	1,52
	Cerro Calán	5,42	3,48	2,86	2,35	1,94	1,46
	Los Panguiles	5,71	3,87	2,87	2,26	1,85	1,40
	MOP-DGA	5,65	3,75	2,73	2,27	1,90	1,40
	Quinta Normal	5,21	3,79	3,08	2,43	2,10	1,45
	Tobalaba	5,37	3,36	2,78	2,11	1,86	1,40
	Edificio Central	5,04	3,58	2,95	2,55	2,21	1,56
	Cerrillos	6,71	4,22	2,97	2,45	2,00	1,53
	La Obra	4,97	3,18	2,53	2,13	1,90	1,53
	San Antonio	9,25	6,08	3,98	2,58	2,05	1,47
	Pirque	6,34	4,2	2,94	1,94	1,72	1,35
	Melipilla	5,60	3,54	2,65	2,11	1,71	1,31
Maule	Curicó	----	5,52	3,81	----	1,97	1,43
	Los Queñes	4,50	3,36	2,55	1,98	1,75	1,34
	Potrero Grande	4,79	3,72	3,11	2,36	2,01	1,43
	Pencahue	5,70	4,21	2,87	2,00	1,75	1,36
	Talca	7,06	4,65	3,45	2,69	2,17	1,51
	San Javier	6,6	4,64	3,40	2,39	1,99	1,51
	Colorado	4,79	3,39	2,43	1,86	1,68	1,35
	El Lirio-Maule	5,35	3,64	2,84	2,13	1,73	1,39
	Armerillo	3,66	2,21	1,94	1,58	1,39	1,24
	Desague laguna Invernada	2,59	2,06	1,66	1,49	1,35	1,10
	Melozal	5,5	3,76	2,89	2,12	1,76	1,37
	Casa de Máquinas	3,89	2,93	2,31	1,69	1,49	1,23
	Melado en La Lancha	----	2,82	2,47	2,13	1,86	1,37
	Embalse Ancoa	4,43	3,03	2,51	2,07	1,89	1,39
	Parral	6,39	4,44	2,91	2,07	1,80	1,42
	Embalse Digua	5,20	3,58	2,71	2,04	1,80	1,34
	Embalse Bullileo	4,11	2,95	2,31	1,84	1,61	1,28
San Manuel	4,07	3,13	2,42	1,97	1,66	1,37	
Biobío	Caracol	4,36	3,70	2,87	2,15	1,68	1,23
	Chillán Viejo	7,64	4,26	2,93	2,27	1,99	1,30

Tabla N°9: (Continuación). Valor del Índice de Tormenta para cada estación, por cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.

Región	Estación	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
Biobío	Chillán	4,97	3,69	2,91	2,17	1,75	1,3
	Embalse Coihueco	6,27	4,19	2,98	2,07	1,69	1,26
	La Punilla	4,22	3,23	2,46	1,92	1,67	1,23
	Hualpencillo	9,62	6,83	4,90	3,02	2,36	1,56
	Carriel Sur	10,2	6,51	3,98	2,45	1,99	1,35
	Bellavista	----	4,93	3,6	2,48	2,01	1,34
	Embalse Diguillín	4,55	3,44	2,71	1,99	1,65	1,29
	Polcura en balseadero	4,05	3,18	2,4	1,98	1,73	1,32
	Los Angeles	5,10	3,72	2,61	1,92	1,69	1,30
	Quilaco	7,63	5,40	3,99	2,64	2,06	1,45
	Cerro el Padre	5,07	3,52	2,58	1,95	1,66	1,35
	Contulmo	----	3,56	2,59	2,04	1,86	1,45
	Troyo	4,6	3,35	2,46	1,85	1,66	1,25

Tabla N°10: Valor del Índice de Tormenta para cada estación, por cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.

Región	Estación	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
Metropolitana	Embalse Rungue	4,14	2,77	2,26	1,94	1,70	1,41
	Huechún Andina	4,19	3,27	2,64	2,07	1,96	1,53
	Pudahuel	6,06	3,38	2,61	2,24	1,94	1,52
	Cerro Calán	5,25	3,38	2,8	2,32	1,91	1,45
	Los Panguiles	5,60	3,78	2,81	2,24	1,83	1,39
	MOP-DGA	5,56	3,67	2,66	2,23	1,87	1,39
	Quinta Normal	5,11	3,70	3,01	2,40	2,07	1,44
	Tobalaba	5,23	3,24	2,71	2,06	1,83	1,38
	Edificio Central	4,95	3,49	2,90	2,53	2,2	1,56
	Cerrillos	6,60	4,13	2,89	2,41	1,97	1,52
	La Obra	4,85	3,10	2,48	2,10	1,88	1,53
	San Antonio	9,21	6,05	3,94	2,55	2,02	1,46
	Pirque	6,24	4,12	2,88	1,90	1,70	1,34
Melipilla	5,53	3,48	2,61	2,08	1,69	1,30	

Tabla N°10: (Continuación). Valor del Índice de Tormenta para cada estación, por cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.

Región	Estación	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
Maule	Curicó	----	5,55	3,81	----	1,94	1,41
	Los Queñes	4,45	3,32	2,52	1,95	1,73	1,33
	Potrero Grande	4,70	3,64	3,06	2,34	1,99	1,43
	Pencahue	5,58	4,09	2,79	1,95	1,71	1,35
	Talca	6,91	4,54	3,37	2,66	2,14	1,50
	San Javier	6,47	4,55	3,35	2,35	1,96	1,51
	Colorado	4,73	3,33	2,39	1,83	1,65	1,34
	El Lirio-Maule	5,25	3,57	2,78	2,1	1,7	1,37
	Armerillo	3,60	2,13	1,89	1,55	1,36	1,23
	Desague laguna Invernada	2,48	1,98	1,60	1,45	1,32	1,09
	Melozal	5,34	3,66	2,84	2,09	1,74	1,36
	Casa de Máquinas	3,84	2,89	2,28	1,66	1,47	1,22
	Melado en La Lancha	----	2,79	2,46	2,14	1,87	1,37
	Embalse Ancoa	4,35	2,96	2,47	2,05	1,87	1,38
	Parral	6,31	4,36	2,84	2,03	1,77	1,41
	Embalse Digua	5,12	3,5	2,65	2,01	1,78	1,33
	Embalse Bullileo	4,07	2,93	2,29	1,82	1,59	1,26
San Manuel	3,97	3,04	2,36	1,93	1,62	1,36	
Biobío	Caracol	4,36	3,71	2,87	2,16	1,67	1,22
	Chillán Viejo	7,66	4,22	2,91	2,26	1,99	1,29
	Chillán	5,00	3,70	2,93	2,17	1,75	1,29
	Embalse Coihueco	6,23	4,13	2,94	2,04	1,67	1,25
	La Punilla	4,16	3,23	2,45	1,91	1,66	1,22
	Hualpencillo	9,63	6,83	4,92	3,02	2,34	1,55
	Carriel Sur	10,09	6,45	3,93	2,41	1,95	1,33
	Bellavista	----	4,87	3,54	2,45	1,99	1,32
	Embalse Diguillín	4,53	3,43	2,70	1,99	1,64	1,29
	Polcura en balseadero	4,00	3,16	2,38	1,96	1,72	1,32
	Los Angeles	5,02	3,64	2,55	1,89	1,66	1,28
	Quilaco	7,62	5,34	3,96	2,62	2,03	1,45
	Cerro el Padre	5,02	3,46	2,54	1,93	1,64	1,34
	Contulmo	----	3,47	2,54	2,02	1,85	1,44
	Troyo	4,53	3,33	2,44	1,84	1,66	1,25

Existen estaciones que no presentan la totalidad de los valores para cada duración horaria (4 estaciones no presentan el valor para 0,5 horas y una estación no presenta además el valor para 4 horas). Esto se debe a que no estaba disponible el valor de intensidad de precipitación -para dicha duración horaria- debido a que esas estaciones sólo cuentan con bandas pluviográficas mensuales, lo cual dificultó la medición y registro de los valores pues el lector con el cual se obtuvieron los datos para este estudio, sólo está diseñado para trabajar con bandas pluviográficas semanales y no mensuales.

En cuanto a la totalidad de los valores, se puede observar que los valores K son menores para las duraciones mayores y viceversa, así como también el valor K es menor a medida que aumenta el periodo de retorno.

Tabla N°11: Valores promedio del Índice de Tormenta para cada duración horaria y para cada periodo de retorno (T) por región.

T (años)	Región	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
5	Metropolitana	6,46	4,37	3,27	2,49	2,09	1,52
	Maule	5,48	3,98	2,99	2,21	1,90	1,42
	Biobío	6,22	4,45	3,22	2,29	1,93	1,40
	General	6,02	4,25	3,15	2,32	1,97	1,44
50	Metropolitana	5,72	3,77	2,86	2,25	1,92	1,45
	Maule	4,91	3,56	2,70	2,02	1,76	1,36
	Biobío	6,02	4,23	3,06	2,19	1,83	1,33
	General	5,51	3,84	2,86	2,15	1,83	1,38
100	Metropolitana	5,61	3,68	2,80	2,22	1,90	1,44
	Maule	4,82	3,49	2,65	1,99	1,73	1,35
	Biobío	5,99	4,20	3,04	2,18	1,81	1,32
	General	5,43	3,77	2,82	2,12	1,81	1,37

A nivel general, se observa que la Región del Maule presenta un promedio más bajo con respecto al promedio general y a las regiones Metropolitana y Biobío para todas las duraciones horarias menores o iguales a

6 horas en cada periodo de retorno. Para la de 12 horas, es la Región del Biobío la que presenta los valores promedio más bajos.

Tabla N°12: Valores en porcentaje del coeficiente de variación del Índice de Tormenta para cada duración horaria y para cada periodo de retorno (T) por región.

T (años)	Región	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
5	Metropolitana	15,98	14,72	10,53	7,05	6,59	4,25
	Maule	24,07	22,77	18,03	13,68	10,89	6,25
	Biobío	33,94	27,06	22,71	14,63	12,17	6,51
	General	25,80	22,42	17,93	12,93	10,72	6,63
50	Metropolitana	21,32	20,06	13,20	8,90	7,63	5,23
	Maule	23,91	24,93	19,70	14,57	12,14	7,28
	Biobío	34,78	27,62	23,76	14,90	11,43	6,91
	General	28,33	25,40	20,07	13,60	11,03	7,37
100	Metropolitana	22,25	21,06	13,61	9,24	7,71	5,54
	Maule	23,97	25,51	20,08	14,90	12,44	7,44
	Biobío	34,97	27,73	24,06	15,00	11,35	6,98
	General	28,89	26,10	20,54	13,90	11,14	7,56

A nivel general, se aprecia la existencia de un patrón, el cual consiste en el aumento del valor del coeficiente de variación a medida que se avanza hacia el sur en las regiones.

6.1.1. Valores Extremos del Índice de Tormenta

Los valores máximos y mínimos del Índice de Tormenta, para cada duración horaria y cada periodo de retorno se exponen a continuación:

Tabla N°13: Valores máximos del Índice de Tormenta para cada duración horaria de cada periodo de retorno.

T (años)	Duración (horas)	Valor	Estación	Región
5	0,5	10,85	Carriel Sur	Biobío
	1	6,85	Carriel Sur	Biobío
	2	4,81	Hualpencillo	Biobío
	4	3,04	Hualpencillo	Biobío
	6	2,46	Hualpencillo	Biobío
	12	1,62	Hualpencillo	Biobío
50	0,5	10,20	Carriel Sur	Biobío
	1	6,83	Hualpencillo	Biobío
	2	4,90	Hualpencillo	Biobío
	4	3,02	Hualpencillo	Biobío
	6	2,36	Hualpencillo	Biobío
	12	1,56	Hualpencillo	Biobío
100	0,5	10,09	Carriel Sur	Biobío
	1	6,83	Hualpencillo	Biobío
	2	4,92	Hualpencillo	Biobío
	4	3,02	Hualpencillo	Biobío
	6	2,34	Hualpencillo	Biobío
	12	1,56	Edificio Central ENDESA	Metropolitana

Se puede observar que para todos los periodos de retorno, el valor máximo se encuentra en la estación Carriel Sur, región del Biobío, para la duración horaria de 0,5 horas. Para las duraciones horarias de 2, 4, y 6 horas, este valor se encuentra en la estación Hualpencillo, la cual también está ubicada en la región del Biobío. En cuanto a la duración horaria de 1 hora, el valor máximo también se halla en estas estaciones, pero difiriendo en cuanto al periodo de retorno, pues para 5 años es en la estación Carriel Sur, mientras que para 50 y 100 años es en la estación Hualpencillo. Finalmente, para la duración horaria de 12 horas, también difiere la estación de acuerdo al periodo de retorno, siendo la estación Hualpencillo con valor máximo para periodos de 5 y 50 años y la estación Edificio Central ENDESA para el periodo de 100 años.

Tabla N°14: Valores mínimos del Índice de Tormenta para cada duración horaria de cada periodo de retorno.

T (años)	Duración (horas)	Valor	Estación	Región
5	0,5	3,30	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	1	2,62	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	2	2,11	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	4	1,75	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	6	1,55	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	12	1,21	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
50	0,5	2,59	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	1	2,06	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	2	1,66	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	4	1,49	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	6	1,35	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	12	1,10	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
100	0,5	2,48	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	1	1,98	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	2	1,6	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	4	1,45	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	6	1,32	Desagüe Laguna la Invernada	Maule
	12	1,09	Desagüe Laguna la Invernada	Maule

Se observa que en todos los periodos de retorno y para cada duración horaria, el valor mínimo del Índice de Tormenta se encuentra en la estación Desagüe Laguna la Invernada, en la región del Maule.

6.1.2. Variación Latitudinal del Índice de Tormenta

A continuación, se presenta la variación latitudinal de los valores del Índice de Tormenta de todas las estaciones para todas las duraciones horarias en cuestión (0,5, 1, 2, 4, 6, y 12 horas). Como existe una tendencia a medida que

aumenta el periodo de retorno, sólo se expondrán en este punto los gráficos correspondientes al periodo más lejano (100 años). Los gráficos de los restantes periodos de retorno (5 y 50 años) se pueden encontrar en el apéndice I, al final del documento.

Por último, se debe acotar que las estaciones están agrupadas por subregión y ordenadas a medida que se avanza latitudinalmente de norte a sur, lo cual da como resultado que las estaciones gráficamente aparentan estar equidistantes unas de las otras, aunque ello no necesariamente sea así.

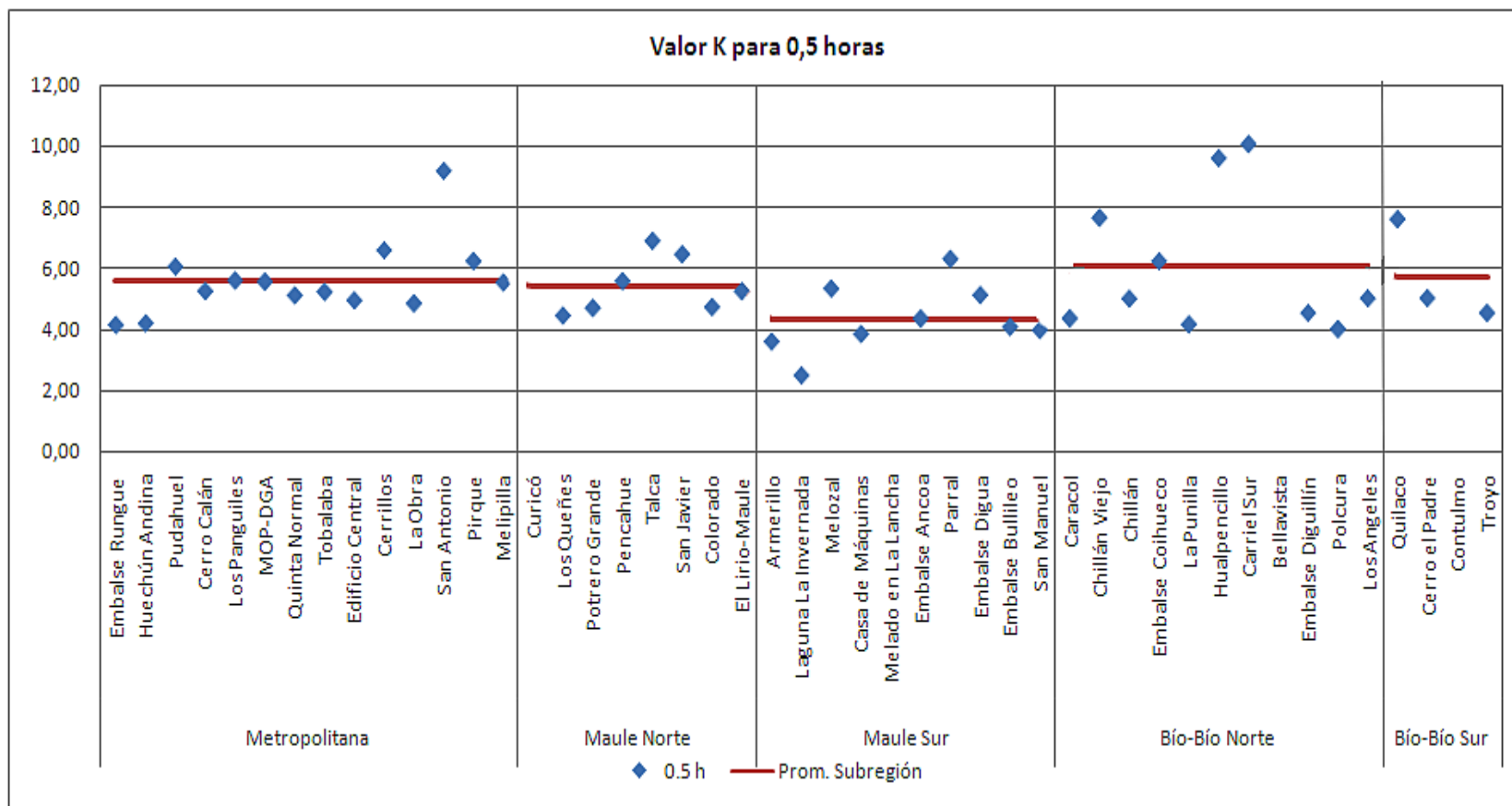


Gráfico N°1: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 0,5 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.

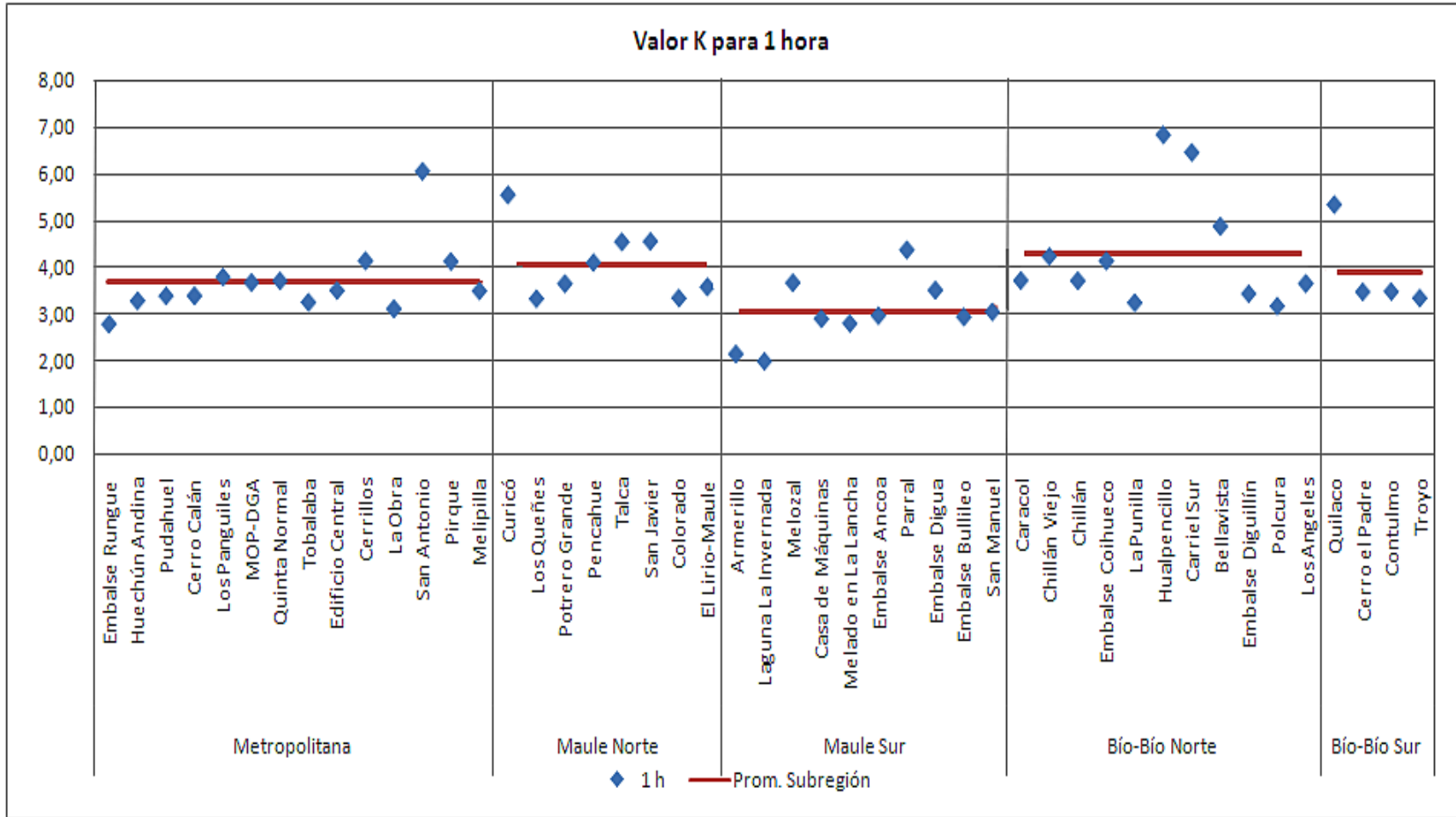


Gráfico N°2: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 1 hora para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.

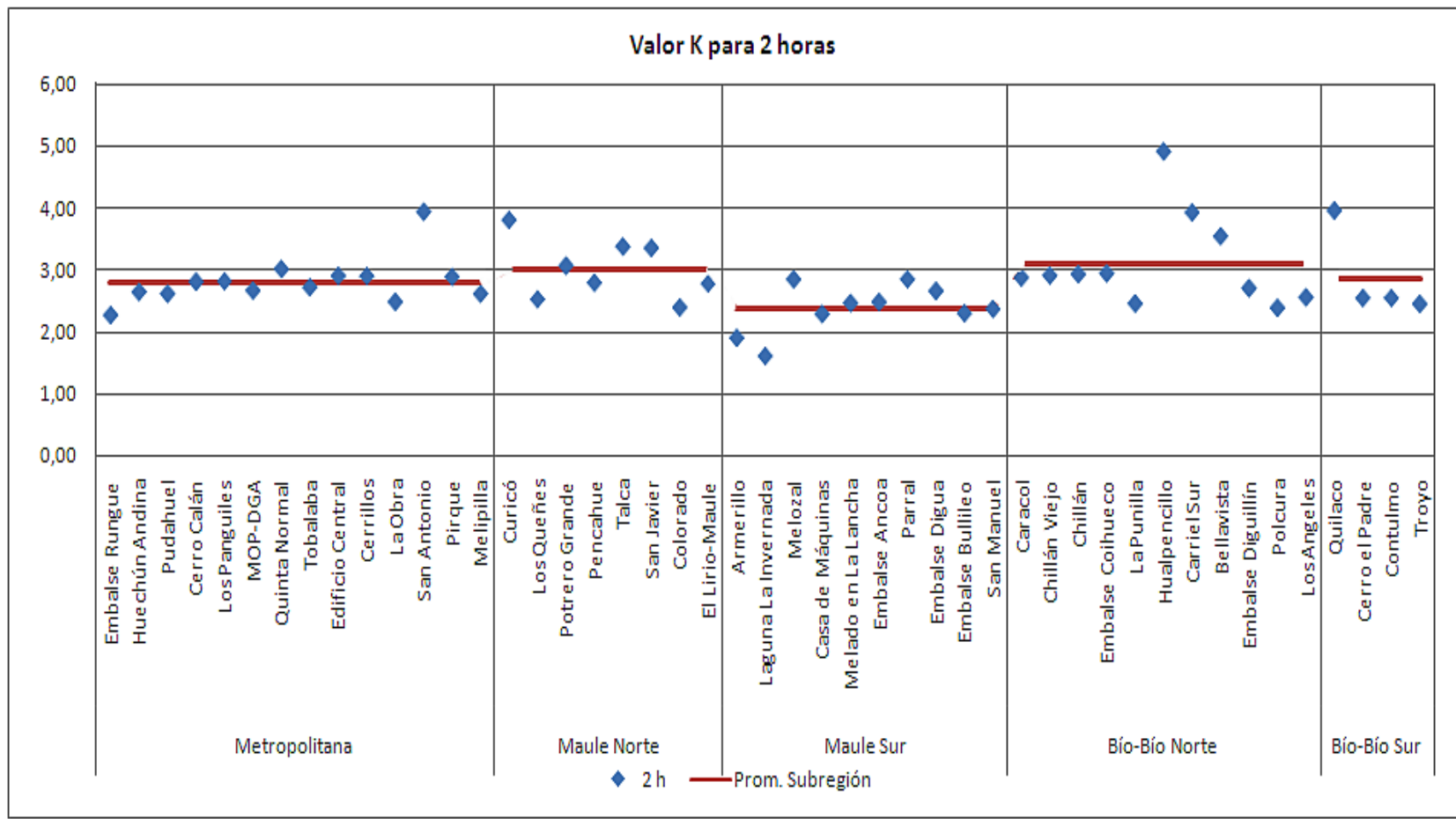


Gráfico N°3: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 2 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.

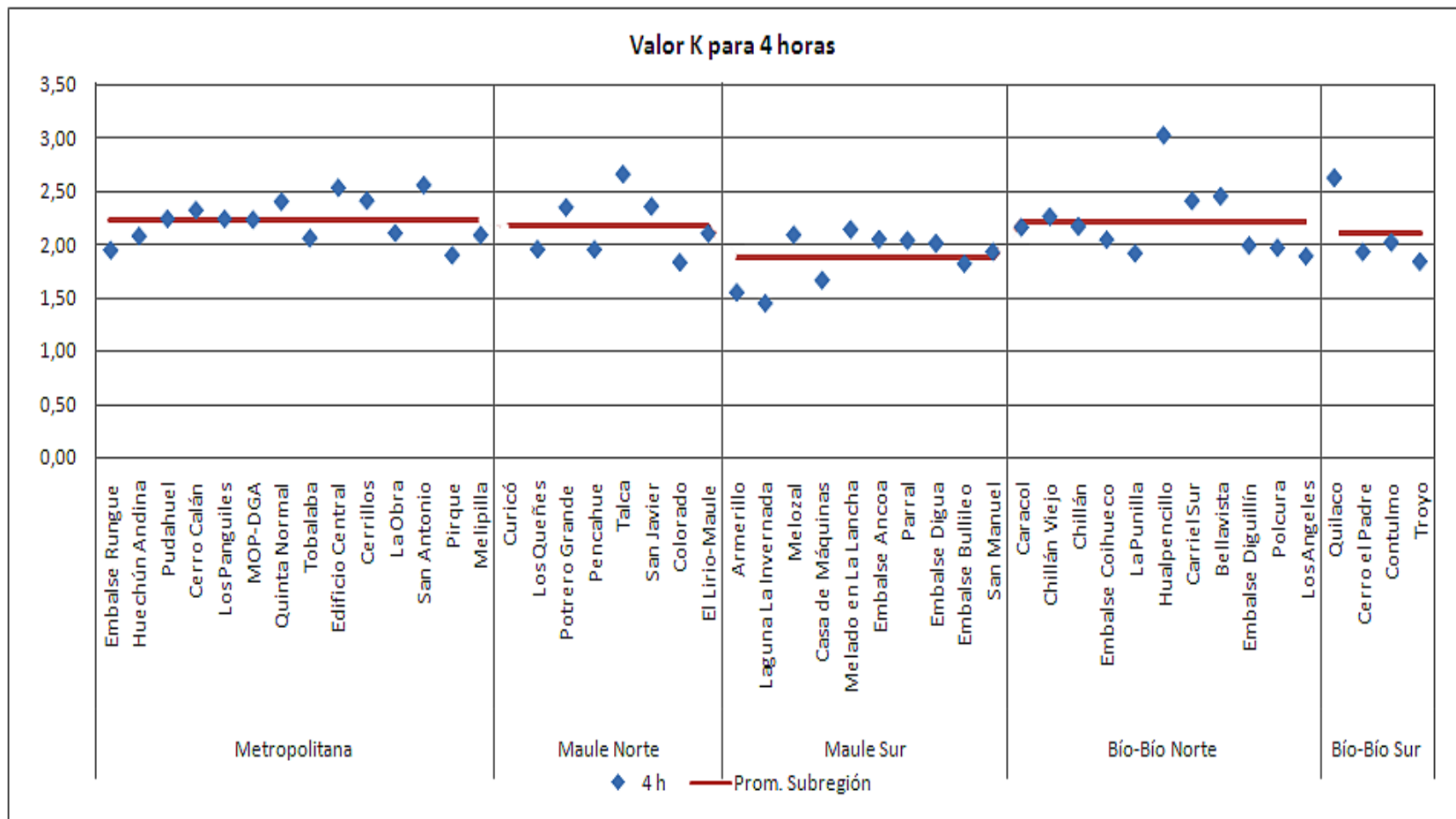


Gráfico N°4: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 4 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.

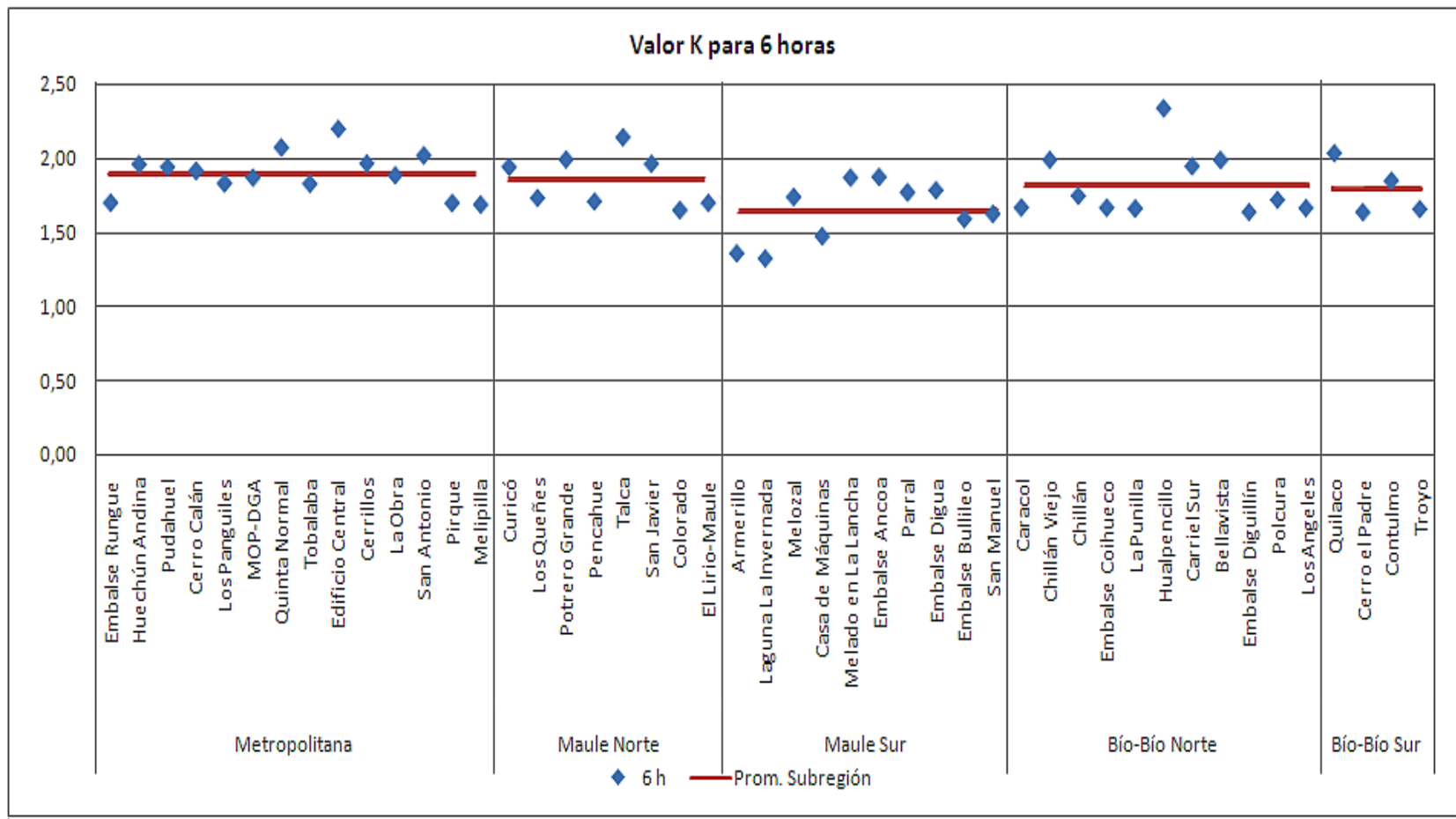


Gráfico N°5: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 6 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.

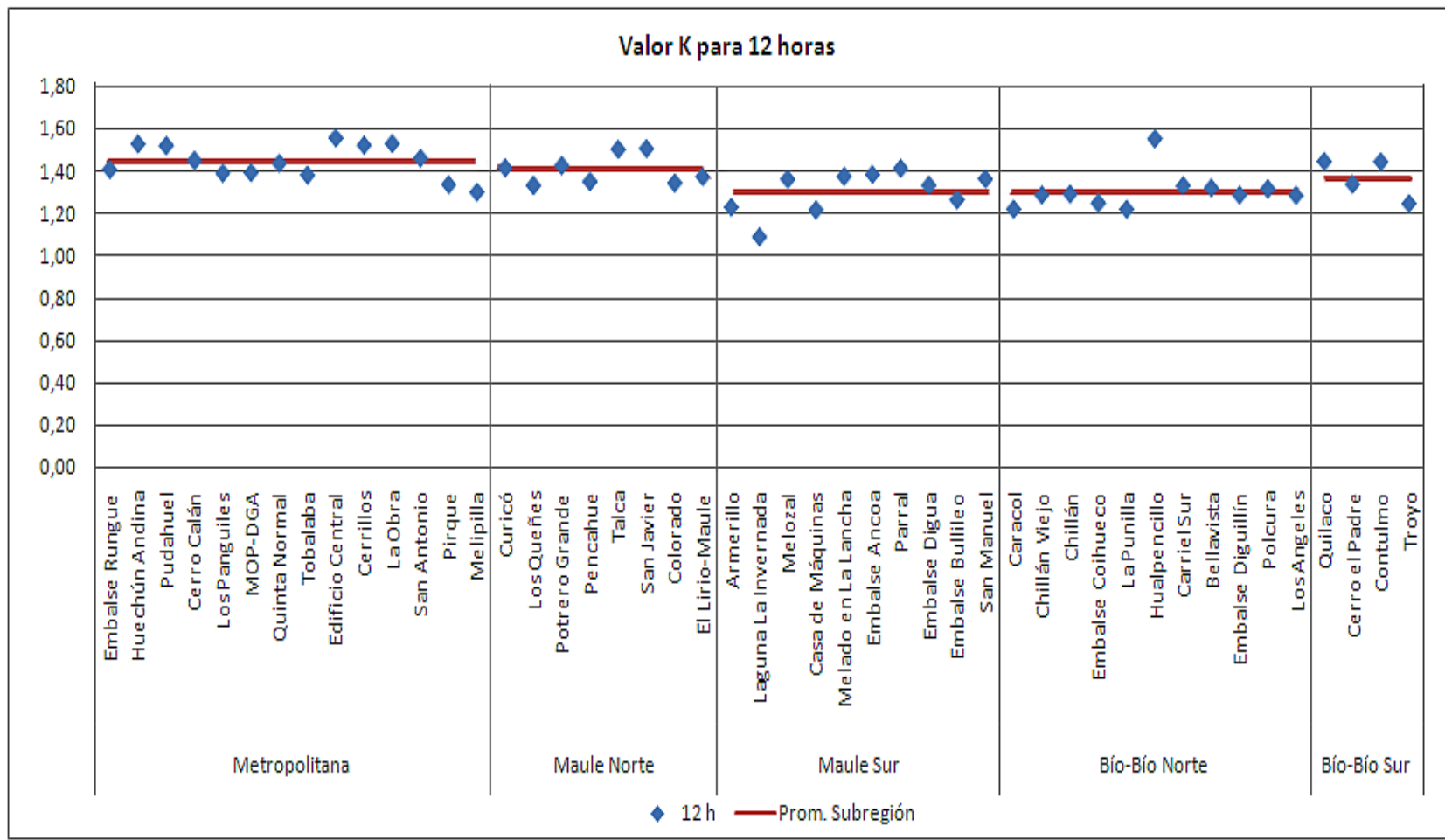


Gráfico N°6: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 12 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las subregiones definidas.

De los gráficos anteriores -en conjunto con los presentados en el apéndice I- se puede observar que el patrón de comportamiento del Índice de Tormenta a medida que avanza el periodo de retorno y a medida que se avanza a través de las subregiones es similar, pero difiere dependiendo de la duración horaria. Así, para la duración horaria de 0,5 horas, el valor promedio por subregión del Índice de Tormenta disminuye hasta Maule Sur para volverse a levantar en la siguiente subregión, Biobío Norte, que presenta los valores promedio más altos de todas las subregiones.

Por su parte, las duraciones horarias de 1 y 2 horas presentan un patrón alternado de sube-baja a medida que se avanza latitudinalmente a través de las subregiones, pero con la particularidad de que nuevamente los valores promedio más altos se encuentran en la subregión Biobío Norte.

En cuanto a las duraciones horarias de 4 y 6 horas, éstas presentan el mismo patrón de comportamiento que para la intensidad horaria de 0,5 horas, con la diferencia de que los valores promedio más altos esta vez se encuentran en la subregión Metropolitana.

Finalmente, para la duración horaria de 12 horas, existe un patrón de descenso paulatino hasta la subregión Biobío Norte, pues en Biobío Sur vuelve a aumentar.

Las estaciones que tienen el valor más alto dentro de cada categoría, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla N°15: Estaciones que presentan los valores más altos por cada subregión, para cada duración horaria y para cada periodo de retorno (T).

T	Duración (h)	Subregión				
		Metro *	Maule Norte	Maule Sur	Biobío Norte	Biobío Sur
5	0,5	San Antonio	Talca	Parral	Carriel Sur	Quilaco
	1	San Antonio	Curicó	Parral	Carriel Sur	Quilaco
	2	San Antonio	Talca	Melozal	Hualpencillo	Quilaco
	4	San Antonio	Talca	Melozal	Hualpencillo	Quilaco
	6	Ed. ENDESA	Talca	Parral	Hualpencillo	Quilaco
	12	Ed. ENDESA	Talca	Parral	Hualpencillo	Quilaco
50	0,5	San Antonio	Talca	Parral	Carriel Sur	Quilaco
	1	San Antonio	Curicó	Parral	Hualpencillo	Quilaco
	2	San Antonio	Curicó	Melozal	Hualpencillo	Quilaco
	4	San Antonio	Talca	Melozal	Hualpencillo	Quilaco
	6	Ed. ENDESA	Talca	Ancoa	Hualpencillo	Quilaco
	12	Ed. ENDESA	San Javier	Parral	Hualpencillo	Quilaco
100	0,5	San Antonio	Talca	Parral	Carriel Sur	Quilaco
	1	San Antonio	Curicó	Parral	Hualpencillo	Quilaco
	2	San Antonio	Curicó	Melozal	Hualpencillo	Quilaco
	4	San Antonio	Talca	Melozal	Hualpencillo	Quilaco
	6	Ed. ENDESA	Talca	Melado	Hualpencillo	Quilaco
	12	Ed. ENDESA	San Javier	Parral	Hualpencillo	Quilaco

** Subregión Metropolitana*

De la tabla, se puede observar que en una subregión existe la predominancia de una estación por sobre el resto, independientemente del periodo de retorno y de la duración horaria, la cual corresponde a la estación Quilaco en la subregión Biobío Sur (subregión que agrupa sólo 4 estaciones). En las subregiones restantes, existe una alternancia de estaciones a medida que aumenta la duración horaria, representada por 2 o 3 estaciones por subregión. Así por ejemplo, la subregión Maule Norte presenta valores máximos para las estaciones Talca y Curicó de manera predominante, además de la estación San Javier con una menor presencia, mientras que el resto de las estaciones de la subregión no consiguen presentar valores máximos del Índice de Tormenta.

6.1.3. Variación Altitudinal del Índice de Tormenta

A continuación, se presenta la variación altitudinal de los valores del Índice de Tormenta de todas las estaciones y para todas las duraciones horarias en cuestión. Nuevamente, como existe una tendencia a medida que aumenta el periodo de retorno, sólo se expondrán en este punto los gráficos correspondientes al periodo más lejano (100 años). Los gráficos de los restantes periodos de retorno (5 y 50 años) se pueden encontrar en el apéndice I del estudio, al final del documento.

Por último, se debe acotar que las estaciones están ordenadas a medida que se asciende altitudinalmente. Gráficamente las estaciones aparentan estar equidistantes unas de las otras, aunque ello no necesariamente sea real.

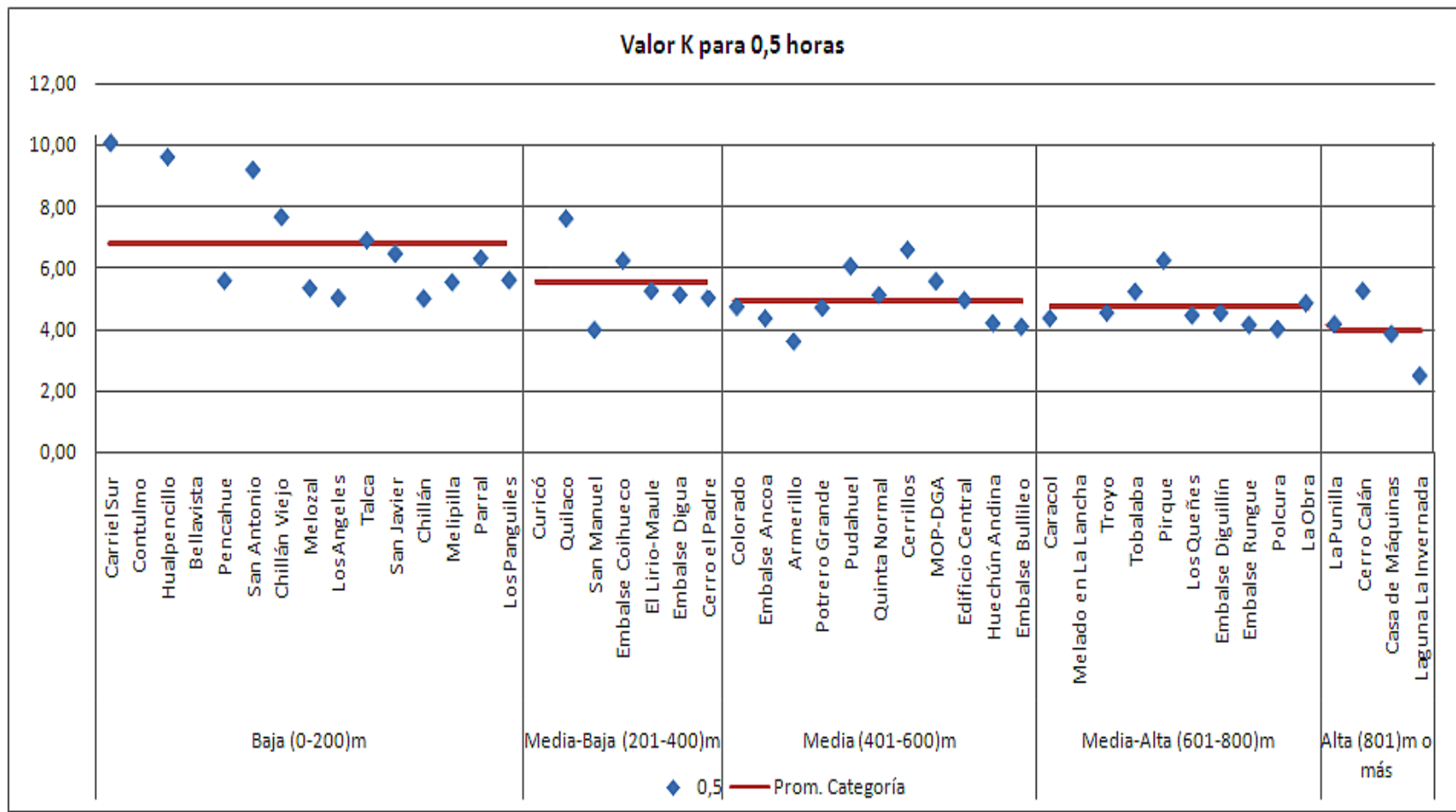


Gráfico N°7: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 0,5 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

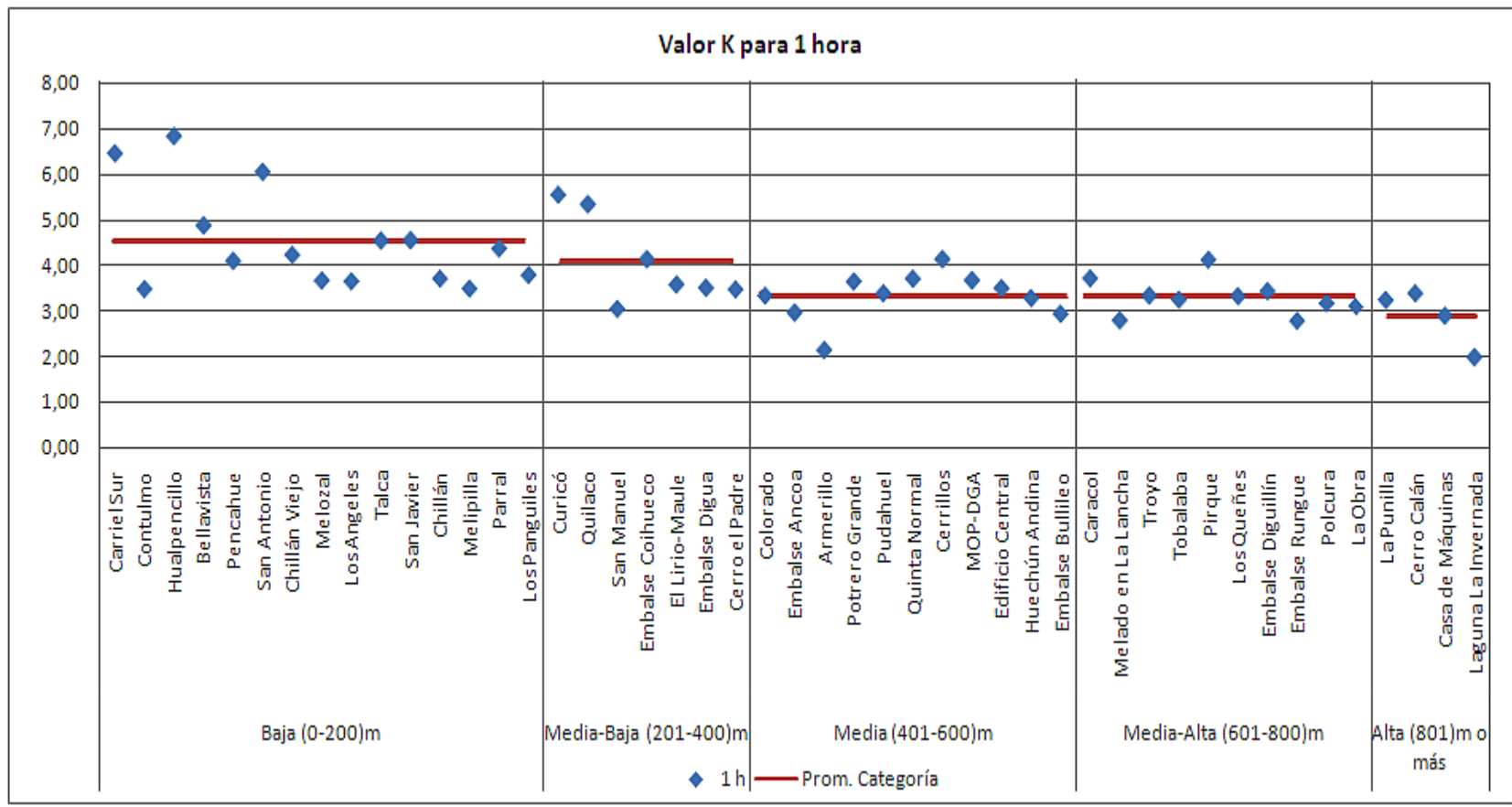


Gráfico N°8: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 1 hora para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

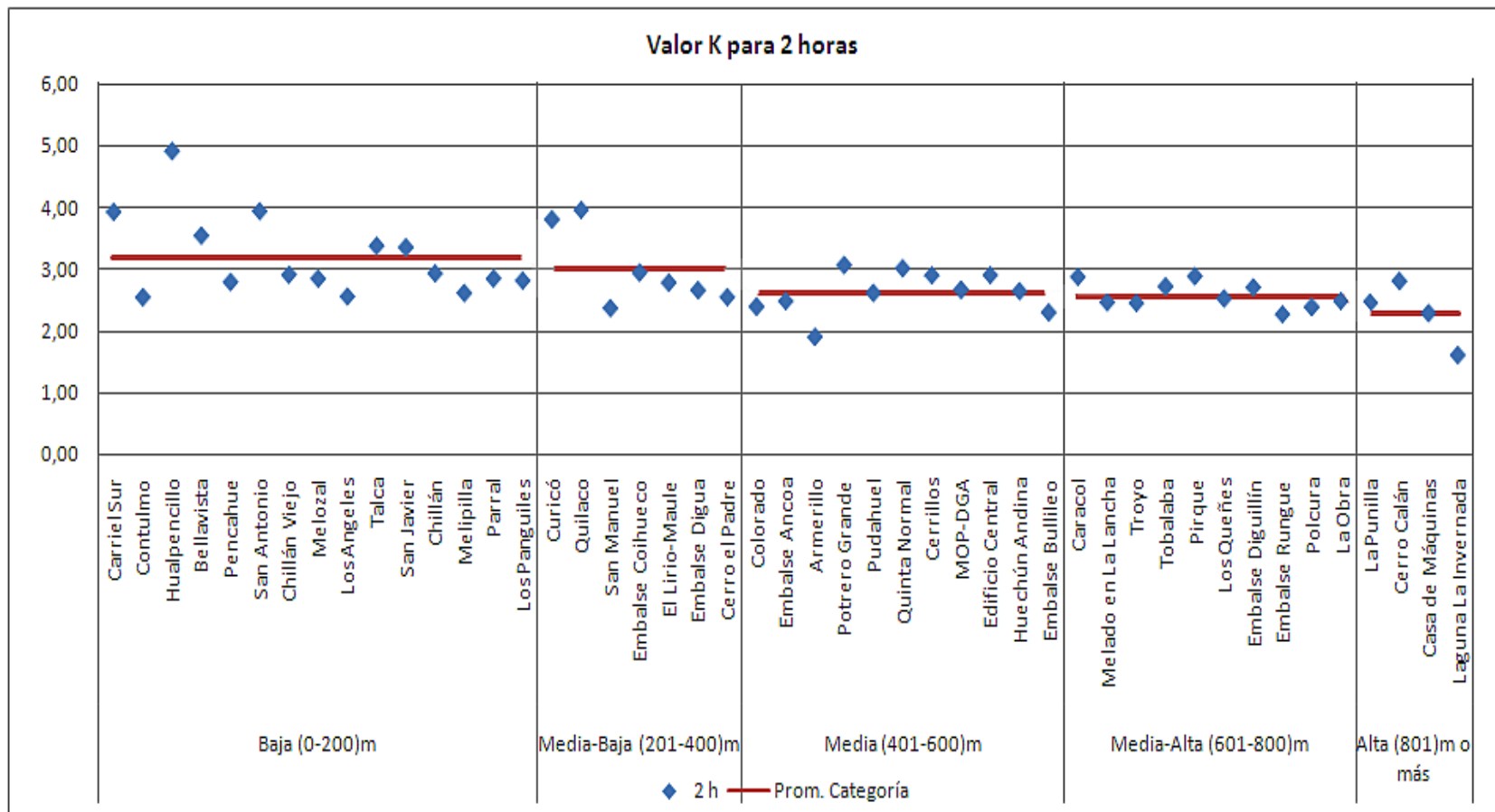


Gráfico N°9: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 2 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

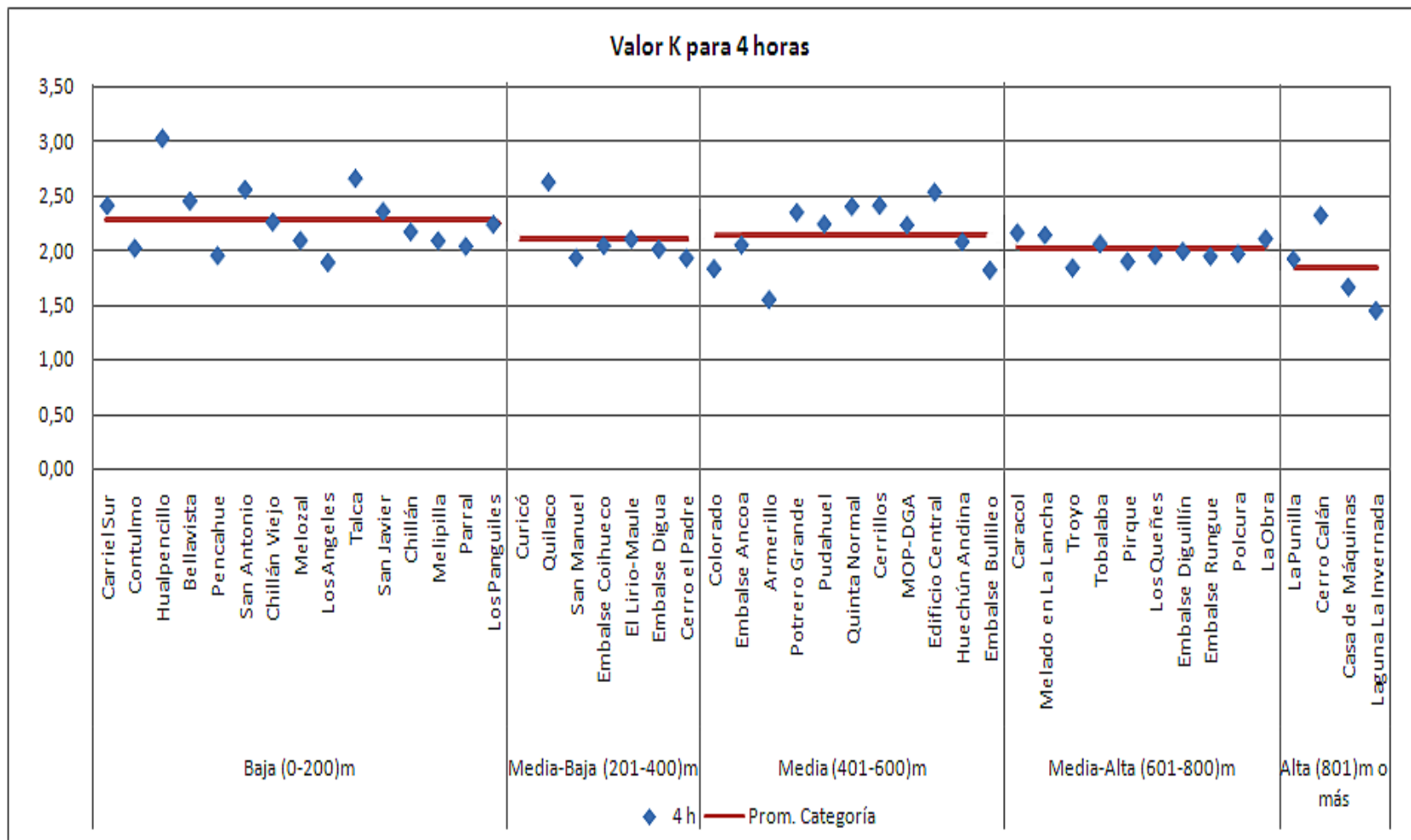


Gráfico N°10: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 4 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

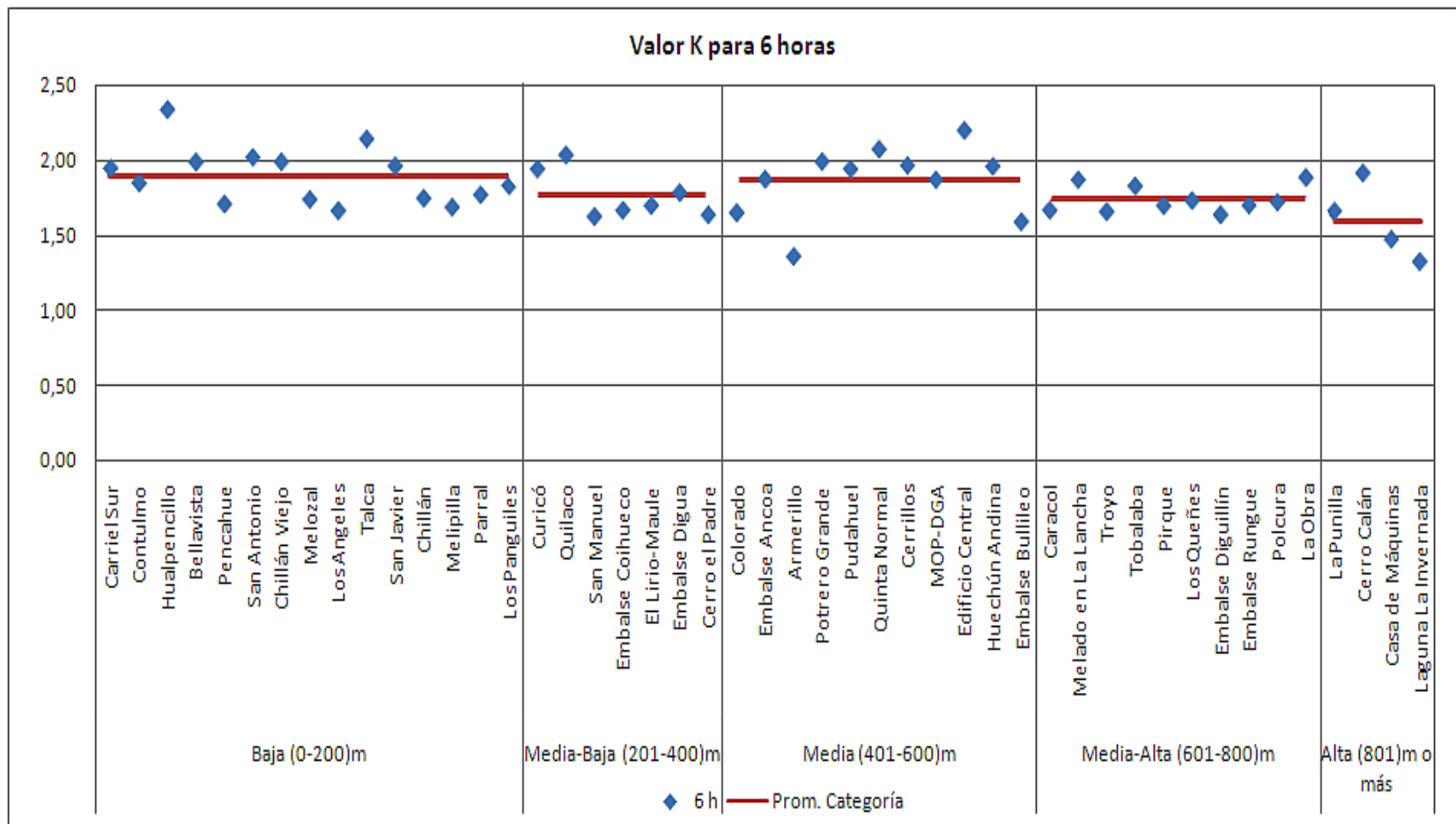


Gráfico N°11: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 6 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

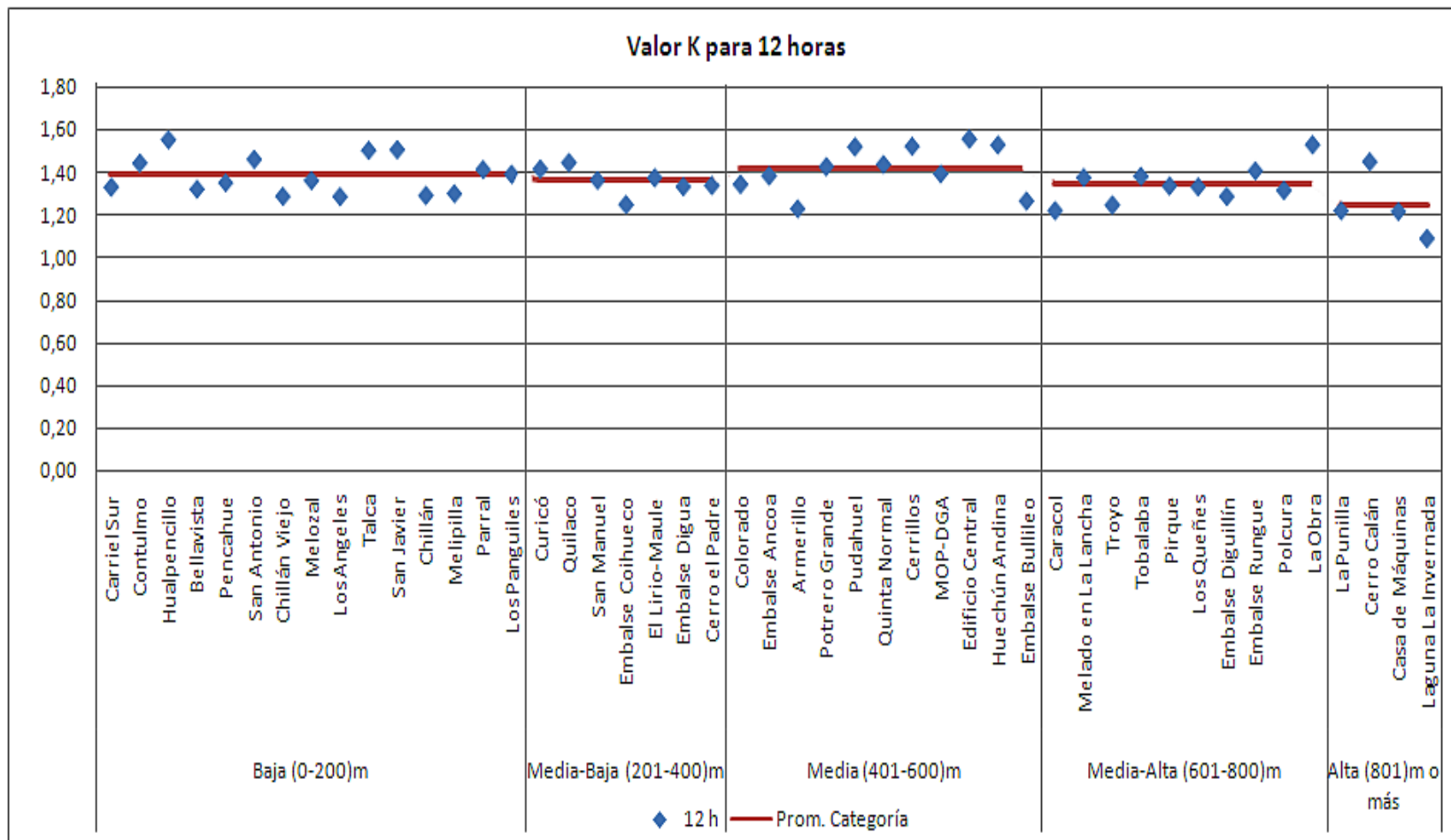


Gráfico N°12: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 12 horas para el periodo de retorno de 100 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

Los gráficos precedentes -en conjunto con los presentados en el apéndice I- permiten observar que la categoría altitudinal que presenta el valor promedio más bajo es la categoría Alta, para todas las duraciones horarias y para todos los periodos de retorno.

Se puede observar también que el patrón de comportamiento del Índice de Tormenta a medida que avanza el periodo de retorno y a medida que se avanza a través de las categorías, presenta dos tendencias. La primera es para las duraciones horarias menores e iguales a 2 horas, en donde claramente se aprecia que el valor promedio del Índice de Tormenta disminuye a medida que se aumenta la altitud, mientras que la segunda tendencia se presenta para las duraciones horarias mayores (4, 6 y 12 horas), la cual es un patrón de descenso hasta la categoría Media-Baja (201-400 m) para posteriormente ascender en la categoría Media (401-600 m) y nuevamente descender.

A su vez, las estaciones que tienen el valor más alto dentro de cada categoría se resumen en la siguiente tabla:

Tabla N°16: Estaciones que presentan los valores más altos por cada categoría, para cada duración horaria y para cada periodo de retorno (T).

T	Duración (h)	Categoría altitudinal				
		Baja	Media Baja	Media	Media Alta	Alta
5	0,5	Carriel Sur	Quilaco	Cerrillos	Pirque	C. Calán
	1	Carriel Sur	Quilaco	Cerrillos	Pirque	C. Calán
	2	Hualpencillo	Quilaco	Q. Normal	Pirque	C. Calán
	4	Hualpencillo	Quilaco	Cerrillos	Tobalaba	C. Calán
	6	Hualpencillo	Quilaco	Ed. ENDESA	Troyo	C. Calán
	12	Hualpencillo	Quilaco	Ed. ENDESA	La Obra	C. Calán
50	0,5	Carriel Sur	Quilaco	Cerrillos	Pirque	C. Calán
	1	Hualpencillo	Curicó	Cerrillos	Pirque	C. Calán
	2	Hualpencillo	Quilaco	P. Grande	Pirque	C. Calán

Tabla N°16: (Continuación). Estaciones que presentan los valores más altos por cada categoría para cada duración horaria y para cada periodo de retorno (T).

T	Duración (h)	Categoría				
		Baja	Media Baja	Media	Media Alta	Alta
50	4	Hualpencillo	Quilaco	Ed. ENDESA	Caracol	C. Calán
	6	Hualpencillo	Quilaco	Ed. ENDESA	La Obra	C. Calán
	12	Hualpencillo	Quilaco	Ed. ENDESA	La Obra	C. Calán
100	0,5	Carriel Sur	Quilaco	Cerrillos	Pirque	C. Calán
	1	Hualpencillo	Curicó	Cerrillos	Pirque	C. Calán
	2	Hualpencillo	Quilaco	P. Grande	Pirque	C. Calán
	4	Hualpencillo	Quilaco	Ed. ENDESA	Caracol	C. Calán
	6	Hualpencillo	Quilaco	Ed. ENDESA	La Obra	C. Calán
	12	Hualpencillo	Quilaco	Ed. ENDESA	La Obra	C. Calán

De la tabla, se observa que en la categoría Alta existe la predominancia de la estación Cerro Calán, independientemente del periodo de retorno y de la duración horaria. En el resto de las categorías, existe alternancia entre una o más estaciones, siendo los casos más particulares los que ocurren en las categorías Media y Media-Alta, en donde hay 4 estaciones (por categoría) que presentan el valor más alto, no mostrando una predominancia en particular. Finalmente, a modo de resumen, son 14 de 47 las estaciones que predominan con los valores más altos dentro de las diferentes categorías altitudinales, lo cual representa el 29,79% del total.

6.2. Prueba U de Mann-Whitney para la Variación Latitudinal y Altitudinal del Índice de Tormenta

Esta prueba es aplicada con motivo de determinar que categorías son las que tienen diferencias estadísticas entre ellas para cada duración horaria y para cada periodo de retorno establecido, tanto a nivel de latitud (subregiones) como de altitud (categorías altitudinales).

6.2.1. Prueba U de Mann-Whitney para Variaciones Latitudinales (Subregiones)

Los resultados de la prueba U de Mann-Whitney para determinar cuáles son las subregiones que discrepan en la mediana de su población para cada duración horaria y cada periodo de retorno, se exponen a continuación:

Tabla N°17: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación latitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 5 años.

Subregiones en interacción	Valor-P para cada duración					
	0,5 h	1 h	2 h	4 h	6 h	12 h
Metropolitana con Maule Norte	0,433	0,609	0,474	0,478	0,517	0,207
Metropolitana con Maule Sur	0,015*	0,011*	0,004*	0,001*	0,001*	0,001*
Metropolitana con Biobío Norte	0,306	0,722	0,219	0,059	0,046	0,002*
Metropolitana con Biobío Sur	0,413	0,367	0,222	0,124	0,124	0,100
Maule Norte con Maule Sur	0,072	0,019*	0,011*	0,022*	0,019*	0,007*
Maule Norte con Biobío Norte	0,526	0,536	0,536	0,469	0,265	0,019*
Maule Norte con Biobío Sur	0,820	0,671	0,552	0,299	0,350	0,552
Maule Sur con Biobío Norte	0,206	0,045*	0,084	0,218	0,379	0,860
Maule Sur con Biobío Sur	0,196	0,179	0,289	0,525	0,525	0,437
Biobío Norte con Biobío Sur	0,673	0,948	0,648	0,648	0,744	0,473

**Valor-P de la interacción menor o igual a 0,05*

Tabla N°18: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación latitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 50 años.

Subregiones en interacción	Valor-P para cada duración					
	0,5 h	1 h	2 h	4 h	6 h	12 h
Metropolitana con Maule Norte	0,794	0,291	0,322	0,628	0,811	0,207
Metropolitana con Maule Sur	0,018*	0,033*	0,009*	0,002*	0,003*	0,001*
Metropolitana con Biobío Norte	0,661	0,311	0,565	0,494	0,163	0,001*
Metropolitana con Biobío Sur	0,850	0,958	0,367	0,265	0,222	0,152
Maule Norte con Maule Sur	0,044*	0,011*	0,015*	0,022*	0,019*	0,056
Maule Norte con Biobío Norte	0,884	0,967	0,967	0,928	0,536	0,004*
Maule Norte con Biobío Sur	0,998	0,445	0,671	0,508	0,445	0,671
Maule Sur con Biobío Norte	0,094	0,008*	0,012*	0,038*	0,193	0,549
Maule Sur con Biobío Sur	0,196	0,138	0,229	0,621	0,437	0,289
Biobío Norte con Biobío Sur	0,933	0,557	0,396	0,473	0,744	0,267

**Valor-P de la interacción menor o igual a 0,05*

Tabla N°19: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación latitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 100 años.

.Subregiones en interacción	Valor-P para cada duración					
	0,5 h	1 h	2 h	4 h	6 h	12 h
Metropolitana con Maule Norte	0,852	0,232	0,394	0,682	0,759	0,207
Metropolitana con Maule Sur	0,021*	0,038*	0,015*	0,003*	0,005*	0,002*
Metropolitana con Biobío Norte	0,792	0,147	0,338	0,529	0,163	0,001*
Metropolitana con Biobío Sur	0,850	0,958	0,367	0,265	0,265	0,222
Maule Norte con Maule Sur	0,044*	0,011*	0,015*	0,088	0,083	0,069
Maule Norte con Biobío Norte	0,884	0,836	0,967	0,786	0,536	0,003*
Maule Norte con Biobío Sur	0,998	0,671	0,671	0,637	0,552	0,671
Maule Sur con Biobío Norte	0,066	0,005*	0,005*	0,038*	0,149	0,504
Maule Sur con Biobío Sur	0,196	0,138	0,229	0,621	0,289	0,289
Biobío Norte con Biobío Sur	0,800	0,557	0,396	0,473	0,648	0,215

**Valor-P de la interacción menor o igual a 0,05*

Se puede observar que un 23,3% de las comparaciones presenta diferencias significativas en los periodos de retorno de 5 y 100 años, mientras que en el periodo de retorno de 50 años, las diferencias significativas se incrementan a un 26,7%.

De las tablas anteriores también se puede observar que la interacción que presenta valores-P menores a 0,05 para todas las duraciones horarias es aquella entre la subregión Metropolitana y la subregión Maule Sur. A su vez, la subregión Metropolitana también presenta diferencias significativas con la subregión Biobío Norte, pero sólo en las duraciones horarias más altas.

En cuanto a la subregión Maule Norte, ésta presenta diferencias significativas con la subregión Maule Sur en la mayor parte de las duraciones horarias, no siguiendo un patrón en particular. Esta subregión también presenta diferencias significativas con la subregión Biobío Norte, pero sólo en la duración horaria más alta (12 horas).

A su vez, la subregión Maule Sur presenta diferencias significativas con la subregión Biobío Norte en al menos una duración horaria en todos los periodos de retorno, lo que llama la atención debido a la cercanía geográfica de ambas subregiones.

Finalmente, la subregión Biobío Sur es la única que no presenta diferencias significativas con alguna de las restantes subregiones.

6.2.2. Prueba U de Mann-Whitney para Variaciones Altitudinales

Los resultados de la prueba U de Mann-Whitney para determinar la existencia de diferencias entre las medianas de las poblaciones de cada categoría de altitud, se presentan a continuación en las tablas N°14, N°15 y N°16. Se debe recordar también que el rango de altura que abarca cada

categoría es: categoría Baja (0-200 m.s.n.m.), categoría Media-Baja (201-400 m.s.n.m.), categoría Media (401-600 m.s.n.m.), categoría Media-Alta (601-800 m.s.n.m.) y categoría Alta (801 o más m.s.n.m.).

Tabla N°20: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación altitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 5 años.

Categorías en interacción	Valor-P para cada duración					
	0,5 h	1 h	2 h	4 h	6 h	12 h
Baja con Media-Baja	0,059	0,290	0,290	0,150	0,159	0,573
Baja con Media	0,005*	0,008*	0,108	0,533	0,959	0,533
Baja con Media-Alta	0,004*	0,001*	0,001*	0,003*	0,006*	0,081
Baja con Alta	0,015*	0,006*	0,019*	0,040*	0,040*	0,064
Media-Baja con Media	0,580	0,469	0,526	0,725	0,415	0,239
Media-Baja con Media-Alta	0,175	0,017*	0,035	0,255	0,130	0,306
Media-Baja con Alta	0,110	0,073	0,108	0,166	0,108	0,219
Media con Media-Alta	0,447	0,193	0,245	0,113	0,045*	0,098
Media con Alta	0,215	0,078	0,133	0,170	0,103	0,043
Media-Alta con Alta	0,247	0,179	0,138	0,229	0,229	0,179

**Valor-P de la interacción menor o igual a 0,05*

Tabla N°21: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación altitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 50 años.

Categorías en interacción	Duración					
	0,5 h	1 h	2 h	4 h	6 h	12 h
Baja con Media-Alta	0,105	0,205	0,438	0,150	0,121	0,724
Baja con Alta	0,004*	0,002*	0,108	0,436	0,959	0,350
Media-Baja con Media	0,001*	0,001*	0,003*	0,008*	0,018*	0,233
Media-Baja con Media-Alta	0,008*	0,003*	0,008*	0,040*	0,032*	0,064
Media-Baja con Alta	0,291	0,174	0,365	0,725	0,365	0,174
Media con Media-Alta	0,175	0,057	0,088	0,704	0,807	0,464
Media con Alta	0,166	0,030*	0,108	0,166	0,219	0,219
Media-Alta con Alta	0,543	0,275	0,46	0,193	0,084	0,100
Baja con Media-Alta	0,170	0,103	0,215	0,17	0,078	0,058
Baja con Alta	0,190	0,435	0,229	0,229	0,289	0,138

**Valor-P de la interacción menor o igual a 0,05*

Tabla N°22: Valor-P de la prueba U de Mann-Whitney para la variación altitudinal del Índice de Tormenta en el periodo de retorno de 100 años.

Categorías en interacción	Duración					
	0,5 h	1 h	2 h	4 h	6 h	12 h
Baja con Media-Alta	0,125	0,231	0,438	0,173	0,121	0,833
Baja con Alta	0,003*	0,001*	0,033*	0,378	0,998	0,378
Media-Baja con Media	0,001*	0,001*	0,003*	0,014*	0,021*	0,305
Media-Baja con Media-Alta	0,008*	0,003*	0,011*	0,051	0,032*	0,064
Media-Baja con Alta	0,248	0,147	0,319	0,651	0,365	0,174
Media con Media-Alta	0,175	0,045*	0,130	0,786	0,884	0,464
Media con Alta	0,166	0,030*	0,108	0,166	0,219	0,219
Media-Alta con Alta	0,649	0,549	0,504	0,218	0,113	0,084
Baja con Media-Alta	0,170	0,133	0,170	0,170	0,103	0,058
Baja con Alta	0,247	0,358	0,289	0,289	0,289	0,138

**Valor-P de la interacción menor o igual a 0,05*

En primera instancia, se observa que –al igual que en la variación latitudinal- un 23,3% de las comparaciones presentan diferencias significativas en los periodos de retorno de 5 y 100 años, mientras que para el periodo de retorno restante (50 años), éstas disminuyen a un 21,7%.

De las tablas, se desprende que a nivel general y para todos los periodos de retorno, la altitud Baja presenta diferencias significativas con la categoría Media-Baja en las duraciones horarias menores. Esta categoría también presenta diferencias significativas con las categorías Media-Alta y Media para aquellas duraciones horarias menores o iguales a 6 horas.

Existen también otras interacciones que presentan diferencias entre sí, aunque no siguen una tendencia general a través de los periodos de retorno o a través de las duraciones horarias. Estas diferencias significativas son entre las categorías Media Alta con Media-Baja y Media en el periodo de retorno de 5 años; entre la categoría Media-Baja con Alta en el periodo de retorno de 50 años y entre la categoría Media-Baja con Media-Alta y Alta en el periodo de

retorno de 100 años. Finalmente, dichas diferencias entre todas estas categorías, se presentan sólo para una o dos duraciones horarias.

6.3. Indicadores

Los indicadores seleccionados para complementar el análisis son las proporciones Máximo-Mínimo y Máximo-Promedio, los cuales tienen por objetivo saber en cuántas veces un valor excede a otro y cómo estos valores se comportan y comparan tanto a nivel global, como por subregiones y altitudes.

6.3.1. Proporción Máximo-Mínimo (PMM)

Los valores calculados de PMM -que equivalen a saber cuántas veces el valor máximo del Índice de Tormenta supera al valor mínimo- se describen gráficamente a continuación, tanto a nivel global, subregional y altitudinal, pero considerando sólo el periodo de retorno más lejano (100 años), ya que la tendencia es que a mayor periodo de retorno, mayor es el valor PPM. A su vez, el resto de los gráficos para los periodos de retorno de 5 y 50 años se encuentran en el apéndice II, al final del estudio.

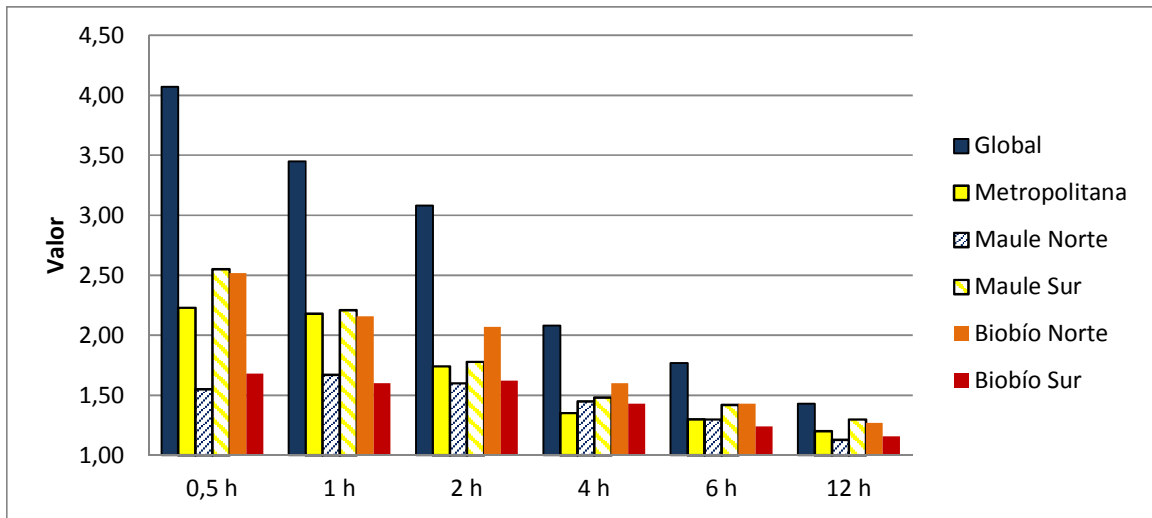


Gráfico N°13: Valor PMM del total de datos con respecto a cada subregión, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.

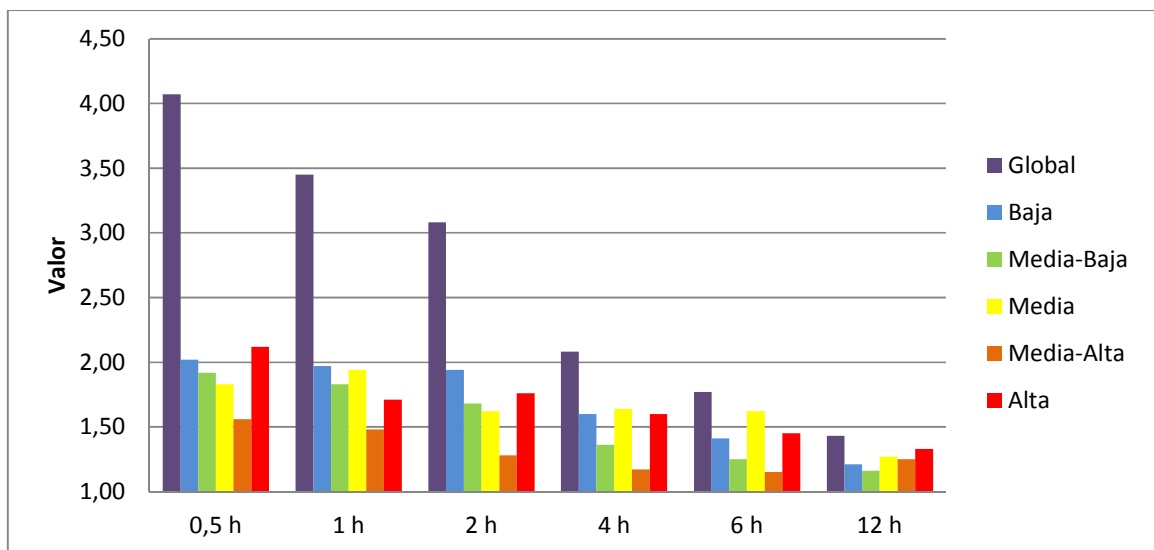


Gráfico N°14: Valor PMM del total de datos con respecto a cada categoría de altitud, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.

A nivel de latitud, el valor PMM que considera la totalidad de los datos (global en el gráfico), es siempre mayor que cualquiera de las subregiones, esto para todos los periodos de retorno y para todas las duraciones horarias analizadas. A su vez, los valores más altos a nivel de subregión lo presenta la subregión Biobío Norte en todas las duraciones horarias del periodo de retorno de 5 años, mientras que para los periodos de retorno restantes (50 y 100 años), los valores mayores se encuentran en la subregión Maule Sur ó en la subregión Biobío Norte.

Por otra parte, a nivel de altitud se puede observar que –nuevamente– el valor PMM del total de datos supera al valor de cualquiera de las categorías de altitud, lo cual es esperable. Dicha diferencia se acrecienta a medida que se aumenta en el periodo de retorno. En cuanto a las categorías altitudinales, no existe una clara predominancia de alguna por sobre las otras, para la totalidad de las duraciones horarias y en cada periodo de retorno.

6.3.2. Proporción Máximo-Promedio (PMP)

A continuación, se exponen los gráficos que describen el comportamiento latitudinal y altitudinal del coeficiente PMP, que como se describió anteriormente, indica la cantidad de veces que el valor máximo supera al valor promedio del Índice de Tormenta y todo ello a nivel de datos totales, por subregión y por categorías altitudinales. Como la tendencia es que a mayor periodo de retorno mayor PMP, sólo se expondrán los gráficos correspondientes al periodo de retorno más alto (100 años). El resto de los gráficos para los restantes periodos de retorno se pueden encontrar en el apéndice II, al final del documento.

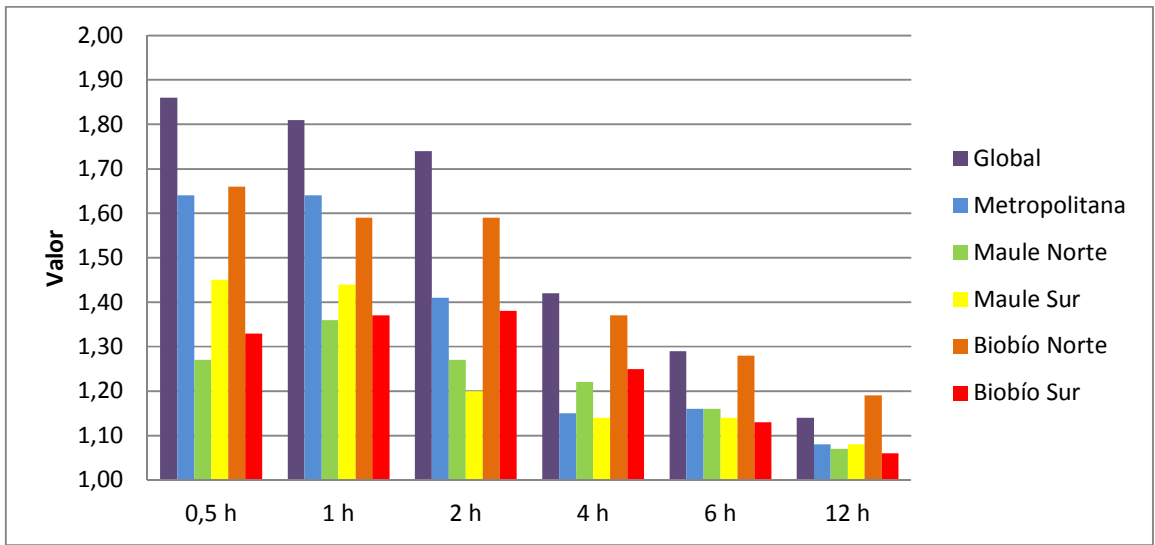


Gráfico N°15: Valor PMP del total de datos con respecto a cada subregión, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.

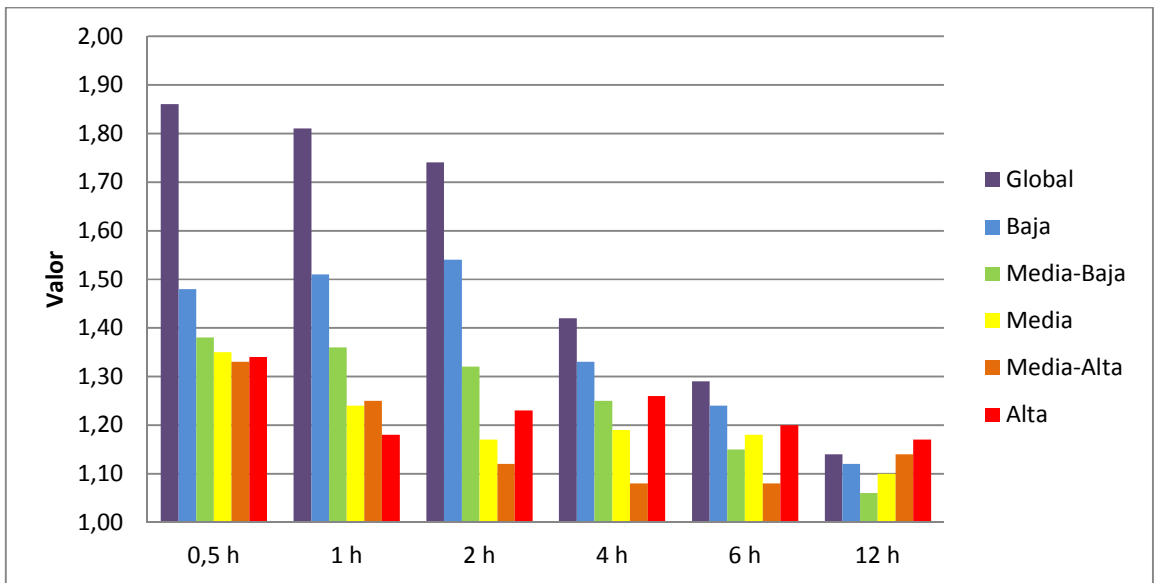


Gráfico N°16: Valor PMP del total de datos con respecto a cada categoría de altitud, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.

A nivel de latitud, se puede observar que, el valor PMP presentado por el global de los datos es mayor que cualquiera de las subregiones hasta duraciones horarias menores e iguales a 6 horas, pero en la duración horaria de 12 horas, la subregión Biobío Norte supera al valor promedio. Lo anterior es válido para todos los periodos de retorno. En cuanto a las subregiones propiamente tales, para el periodo de retorno de 5 años, Biobío Norte presenta los valores más altos para todas las duraciones horarias. Para los otros periodos de retorno, los valores más altos se encuentran en las subregiones Biobío Norte y Metropolitana para duraciones horarias menores e iguales a 1 hora y en la subregión Biobío Norte para las restantes duraciones horarias.

En el caso de la variación altitudinal, se observa que para todos los periodos de retorno, el valor más alto lo presenta el total de datos hasta una duración horaria menor e igual a 6 horas, ya que en la duración horaria de 12 horas, el valor para el total de datos es superado por la categoría Alta para los tres periodos de retorno considerados, lo cual resulta extraño pues la tendencia es que a mayor cantidad de datos, mayor valor de PMP. En cuanto a las categorías altitudinales propiamente tales, a medida que aumenta el periodo de retorno, la categoría de altitud Baja predomina por sobre las otras, pero sólo hasta la duración horaria de 6 horas, pues en la duración horaria de 12 horas es superado por las categorías altitudinales Media-Alta y Alta.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Variación del total de datos del Índice de Tormenta

A nivel del total de datos, el valor del Índice de Tormenta disminuye con el aumento de la duración horaria, lo cual es un comportamiento esperable, pues el Índice de Tormenta se obtiene desde las curvas IDF, las cuales presentan este tipo de comportamiento.

En este mismo marco, se realizó un análisis de los valores promedio de cada región se realizó a través de un índice interregional, el cual consiste en un cociente entre el diferencial del valor promedio del Índice de Tormenta entre dos regiones y el valor promedio de la región que está restando en el numerador. Dicho índice indica qué tan grande es en porcentaje el valor promedio de una región con respecto a otra.

Tabla N°23: Valor porcentual de los índices interregionales para cada duración horaria y para cada periodo de retorno.

Índice	T (años)	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
$\left(\frac{RMetropolitana - RMaule}{RMaule}\right) * 100$	5	17,9	9,8	9,4	12,7	10,0	7,0
	50	16,5	5,9	5,9	11,4	9,1	6,0
	100	16,4	5,4	5,7	11,6	9,8	6,7
$\left(\frac{RMetropolitana - RBiobío}{RBiobío}\right) * 100$	5	3,7	-1,8	1,6	8,7	8,3	8,6
	50	-5,0	-10,9	-6,5	2,7	4,9	9,0
	100	-6,3	-12,4	-7,9	1,8	5,0	9,1
$\left(\frac{RBiobío - RMaule}{RMaule}\right) * 100$	5	13,5	11,8	7,7	3,6	1,6	-1,4
	50	22,6	18,8	13,3	8,4	4,0	-2,2
	100	24,3	20,3	14,7	9,6	4,6	-2,2

La tabla anterior corrobora que para todos los periodos de retorno considerados en el estudio, la Región del Maule es la que presenta los valores promedio más bajos para todas las duraciones horarias menores o iguales a 6 horas, mientras que para la duración horaria de 12 horas, es la Región del Biobío la que presenta los valores más bajos. Lo que ocurre en este caso (12 horas) puede deberse a que como el Índice de Tormenta disminuye exponencialmente con el aumento de la duración horaria (llegando al valor 1 cuando la duración horaria es de 24 horas), los valores de cada estación tienden a ser similares entre sí, por lo que los promedios regionales también tienden a ser similares entre ellos, lo que indica que cualquiera de las tres regiones pudo haber tenido el promedio más bajo (de hecho, el promedio de la Región del Biobío no es más que un 2% menor que el promedio de la Región del Maule). Además, se observa que para las duraciones horarias menores o iguales a 2 horas en los periodos de retorno de 50 y 100 años, existe un patrón, el cual consiste en que el valor promedio mayor se encuentra en la región del Biobío, seguido de la región Metropolitana y finalizando con la región del Maule.

Con respecto a los coeficientes de variación por región, los valores mayores se encuentran en la Región del Biobío para todas las duraciones horarias menores o iguales a 4 horas y en todos los periodos de retorno, lo que indica que la proporción entre la desviación estándar de los datos y el promedio de los mismos es la más alta. Esto se debe a que en esta región se encuentran estaciones que registran valores altos que se escapan por mucho al valor promedio (por ejemplo, el valor que adquieren las estaciones Carriel Sur y Hualpencillo). En cuanto a las duraciones horarias mayores, a pesar de tener valores similares entre las estaciones, en esta región siguen existiendo valores que se escapan a la media (positiva o negativamente), pero sólo en el periodo de retorno de 5 años, pues para los periodos de retorno de 50 y 100 años, el

coeficiente de variación es mayor en la Región del Maule (Gráficos N°17 y N°18).

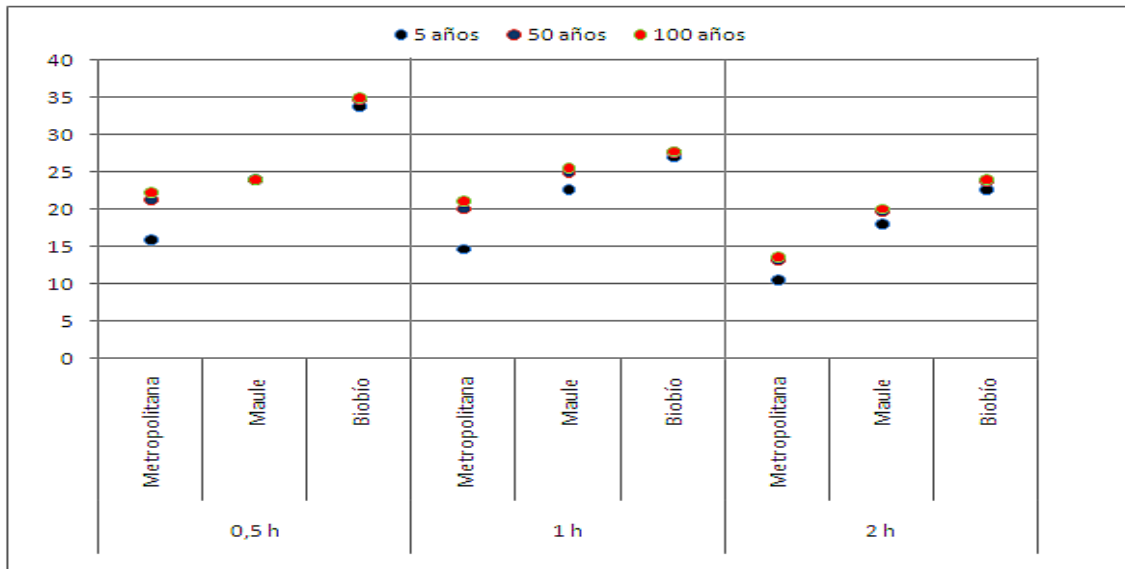


Gráfico N°17: Valor del Coeficiente de Variación por Región para duraciones horarias menores o iguales a 2 horas para cada periodo de retorno.

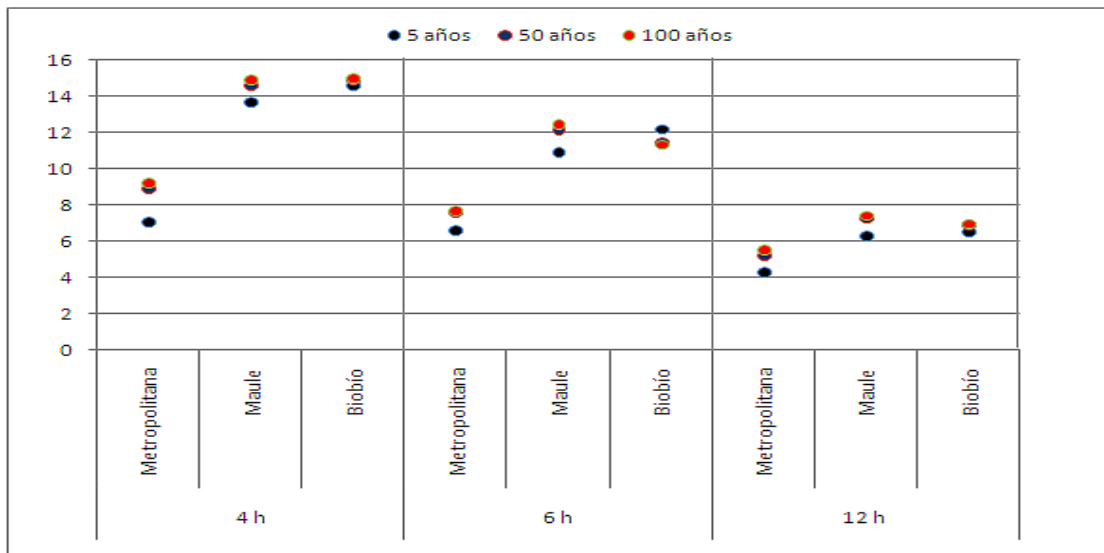


Gráfico N°18: Valor del Coeficiente de Variación por Región para duraciones horarias mayores o iguales a 4 horas para cada periodo de retorno.

Ahora, se sabe que valores altos del coeficiente de variación del Índice de Tormenta generalmente tienden a darse en las regiones áridas y semiáridas. Lo anterior estaría indicando que -en este caso- las regiones del Biobío y Maule debiesen ser más áridas que la región Metropolitana, lo cual no concuerda con la literatura. La explicación a este suceso no se debería a un fenómeno geográfico-ambiental, sino que se debería a la cantidad de veces que esa intensidad de lluvia se puede dar dentro de un mismo evento o similar.

En cuanto a los valores extremos del Índice de Tormenta de la totalidad de los datos y, para todas las duraciones horarias, éstos tienden a encontrarse en una misma región geográfica y en una o dos estaciones en particular. Así, los valores mínimos se encuentran en la estación Desagüe Laguna la Invernada en Región del Maule y los máximos en las estaciones Carriel Sur y Hualpencillo, en la Región del Biobío. Hay un caso en particular, el cual corresponde a la duración horaria de 12 horas del periodo de retorno de 100 años, en donde el valor máximo se encuentra en la Región Metropolitana, en la estación Edificio Central, el cual supera al valor máximo de la Región del Biobío, pero por muy poco (0,01 décimas). Lo anterior indica que existen estaciones que tienen alguna particularidad que les conlleva a ser las que presentan los valores extremos. En el caso de la estación Desagüe Laguna la Invernada, puede deberse a la ubicación geográfica de la misma (altitud sobre 1.300 m.s.n.m. en la precordillera), lo que daría un indicio en que el tipo de precipitación que cae en esa zona es más nival que pluvial, por lo que habría una baja intensidad de precipitación. Con respecto a las estaciones Carriel Sur y Hualpencillo, éstas se encuentran muy cercanas entre ellas (a no más de 15 km una de otra) y además están ubicadas cerca de cuerpos de agua, lo que incidiría en que la intensidad de precipitación fuese mayor, siendo coincidente con lo observado por Cereceda el 2006 en su tesis “Propuestas de un Método para la Construcción de Curvas IDF en Estaciones Pluviométricas de Chile Central”, en donde indica que la

cercanía a un cuerpo de agua verdaderamente incide en la intensidad de precipitación, al menos para duraciones horarias bajas. Ahora, se debe recalcar que una alta o baja intensidad de precipitación no necesariamente reflejaría un alto o bajo valor del Índice de Tormenta, pues son dos cosas distintas (este último es condicionado por la intensidad en 24 horas, la cual varía su valor dependiendo de la duración horaria).

7.2. Variación por categorías de Latitud y Altitud del Índice de Tormenta

El análisis por subregiones y categorías de altitud se basó en recalcular el valor promedio del Índice de Tormenta, pero excluyendo el valor más alto y el valor más bajo de cada subregión ó categoría altitudinal, y comparar el resultado obtenido con la tendencia observada originalmente. Ello con el fin de evitar la incidencia engañosa de valores extremos y exagerados numéricamente del conjunto.

A nivel de latitud, el comportamiento registrado por el Índice de Tormenta para todas las duraciones horarias y todos los periodos de retorno se mantuvo, pues en las duraciones horarias de 0,5, 4 y 6 horas el Índice de Tormenta disminuyó hasta la subregión Maule Sur y volvió a ascender para seguir disminuyendo, mientras que en las duraciones horarias de 1 y 2 horas se mantuvo la alternancia de disminución y aumento; y a su vez, en la duración horaria de 12 horas se mantuvo la disminución hasta la subregión Biobío Norte para volver a aumentar en la región Biobío Sur (Tablas N°24 a N°26).

Tabla N°24: Promedio recalculado del valor K, para cada subregión en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.

Subregión	Duración horaria					
	0,5	1	2	4	6	12
Metropolitana	6,30	4,27	3,23	2,49	2,09	1,52
Maule Norte	6,07	4,59	3,38	2,38	2,03	1,48
Maule Sur	4,90	3,44	2,69	2,08	1,80	1,38
Biobío Norte	5,95	4,39	3,18	2,27	1,91	1,38
Biobío Sur	5,37	3,96	2,86	2,13	1,86	1,44

Tabla N°25: Promedio recalculado del valor K, para cada subregión en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.

Subregión	Duración horaria					
	0,5	1	2	4	6	12
Metropolitana	5,54	3,65	2,81	2,25	1,92	1,46
Maule Norte	5,45	4,04	3,04	2,17	1,87	1,41
Maule Sur	4,41	3,05	2,45	1,92	1,67	1,32
Biobío Norte	5,84	4,19	3,01	2,16	1,80	1,30
Biobío Sur	5,07	3,54	2,58	1,99	1,76	1,40

Tabla N°26: Promedio recalculado del valor K, para cada subregión en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.

Subregión	Duración horaria					
	0,5	1	2	4	6	12
Metropolitana	5,43	3,56	2,75	2,22	1,89	1,45
Maule Norte	4,45	4,74	2,98	2,14	1,84	1,40
Maule Sur	4,33	2,99	2,41	1,89	1,65	1,32
Biobío Norte	5,82	4,15	2,98	2,15	1,78	1,29
Biobío Sur	5,02	3,47	2,54	1,97	1,75	1,39

A nivel de altitud, las tendencias observadas se mantienen, pues para las duraciones horarias menores o iguales a 2 horas el valor promedio recalculado

disminuye a medida que aumenta la altitud, mientras que para las duraciones horarias mayores o iguales a 4 horas, se mantiene la tendencia de disminuir hasta la categoría Media-Baja para volver a aumentar en la categoría Media y seguir disminuyendo (Tablas N°27 a N°29)

Tabla N°27: Promedio recalculado del valor K, para cada categoría de altitud en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.

Categoría	Duración horaria					
	0,5	1	2	4	6	12
Baja (0-200 m)	7,28	4,96	3,48	2,47	2,06	1,46
Media-Baja (201-400 m)	5,86	4,37	3,23	2,25	1,95	1,44
Media (401-600 m)	5,53	3,98	3,08	2,39	2,05	1,49
Media-Alta (601-800 m)	5,18	3,64	2,79	2,15	1,84	1,40
Alta (800 m o más)	4,37	3,21	2,51	1,91	1,66	1,30

Tabla N°28: Promedio recalculado del valor K, para cada categoría de altitud en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.

Categoría	Duración horaria					
	0,5	1	2	4	6	12
Baja (0-200 m)	6,74	4,49	3,16	2,28	1,90	1,39
Media-Baja (201-400 m)	5,47	4,06	2,98	2,05	1,77	1,38
Media (401-600 m)	4,95	3,45	2,71	2,19	1,90	1,43
Media-Alta (601-800 m)	4,66	3,31	2,60	2,03	1,75	1,34
Alta (800 m o más)	4,05	3,08	2,39	1,81	1,58	1,23

Tabla N°29: Promedio recalculado del valor K, para cada categoría de altitud en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.

Categoría	Duración horaria					
	0,5	1	2	4	6	12
Baja (0-200 m)	6,66	4,42	3,11	2,25	1,88	1,38
Media-Baja (201-400 m)	5,41	4,00	2,94	2,02	1,75	1,36
Media (401-600 m)	4,86	3,37	2,65	2,15	1,88	1,42

Tabla N°29: (Continuación). Promedio recalculado del valor K para cada categoría de altitud en cada duración horaria y para un periodo de retorno de 100 años.

Categoría	Duración horaria					
	0,5	1	2	4	6	12
Media-Alta (601-800 m)	4,58	3,26	2,57	2,00	1,73	1,33
Alta (800 m o más)	4,00	3,06	2,36	1,79	1,57	1,22

Lo anterior indica que los valores máximos y mínimos de cada categoría altitudinal ó subregión no parecen incidir en el comportamiento del valor promedio del Índice de Tormenta.

Con respecto a los valores máximos, éstos a nivel de latitud se encuentran en las subregiones Biobío Norte y Metropolitana (esta última sólo para la duración horaria de 12 horas del periodo de retorno de 100 años) y en cuanto a altitud se encuentran en las categorías altitudinales Baja y Media (esta última sólo para el periodo de retorno de 100 años y para la duración horaria de 12 horas). Lo anterior es representado en los Gráficos N°19 y N°20.

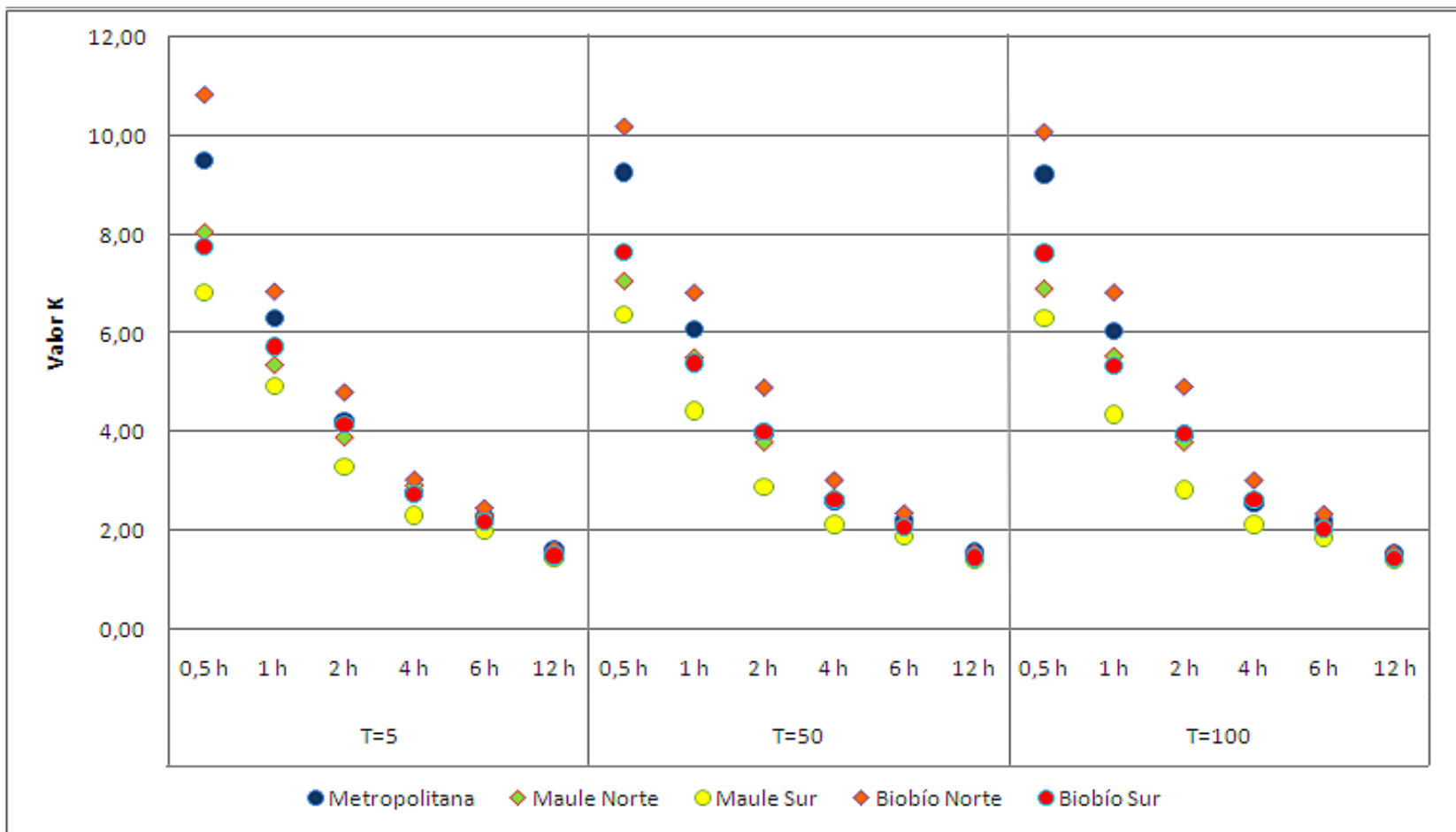


Gráfico N°19: Valor K máximo de cada subregión, para todas las duraciones horarias y periodos de retorno.

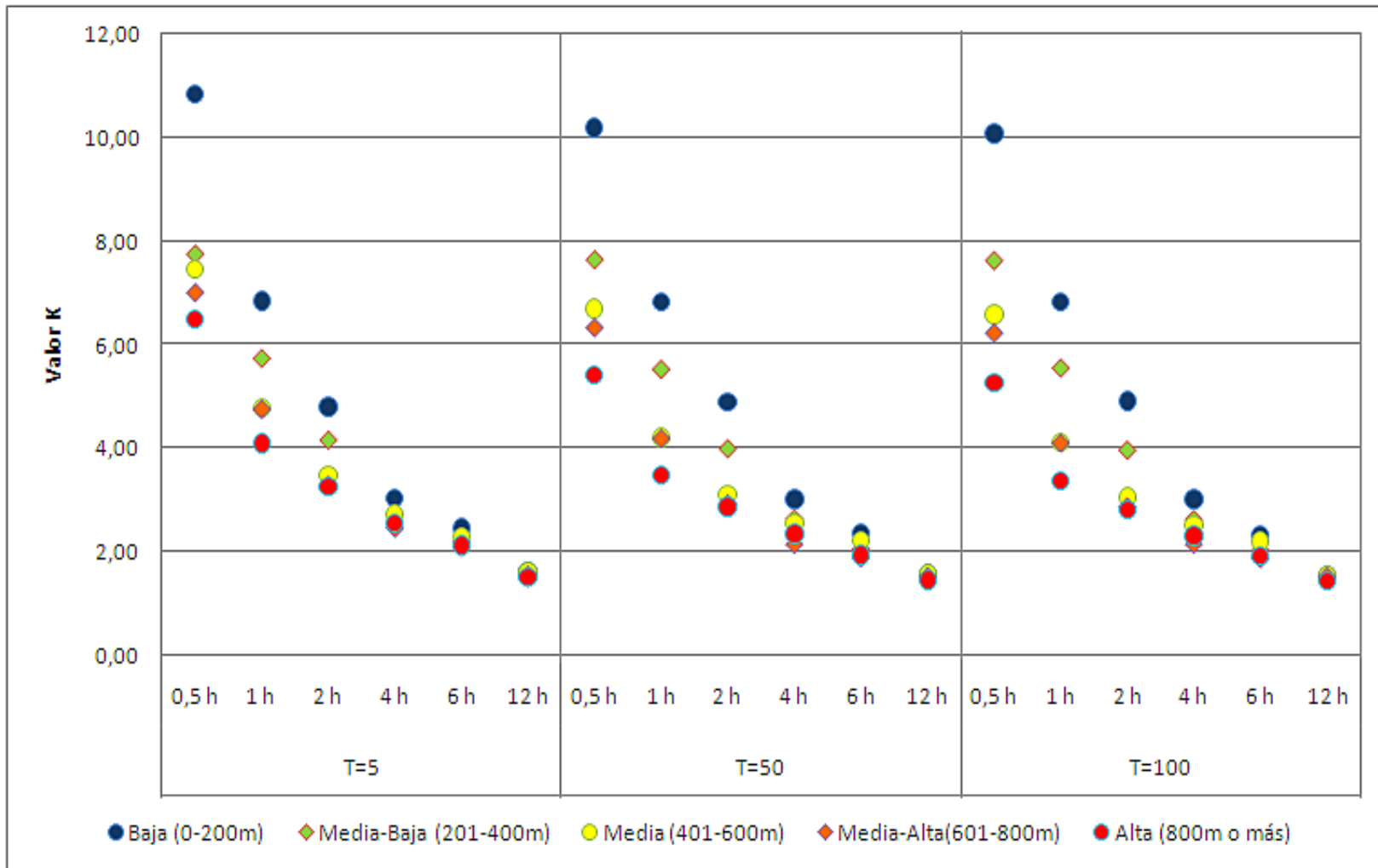


Gráfico N°20: Valor K máximo de cada categoría altitudinal, para todas las duraciones horarias y periodos de retorno.

7.3. Prueba Estadística U de Mann-Whitney

La prueba estadística U de Mann Whitney arrojó que efectivamente existen diferencias significativas entre las diferentes subregiones ó categorías de altitud, pero que a nivel general, éstas no suelen ser constantes, ya sea a través de las duraciones horarias o a través de los periodos de retorno.

El único caso que mantiene diferencias significativas en todas las duraciones horarias y en todos los periodos de retorno es el caso que se origina entre las subregiones Metropolitana y Maule Sur. Dicha diferencia se debe exclusivamente al valor de las medianas de cada subregión, pues en todas ellas la subregión Metropolitana supera con creces el valor que presenta la subregión Maule Sur; además, por lo general, el valor de sus medianas están bajo o sobre 1 o 2 desviaciones estándar con respecto al promedio de las mismas, por lo que este factor también incidiría en que existiesen diferencias significativas entre ellas (Tabla N°30). Con las demás interacciones no fue posible advertir alguna diferencia significativa.

Tabla N°30: Valor promedio de las medianas de las subregiones Metropolitana y Maule Sur, en conjunto con el promedio y la desviación estándar del total de datos.

T (años)	Subregión	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
5	Metropolitana	6,27	4,22	3,26	2,49	2,09	1,53
	Maule Sur	4,70	3,32	2,64	2,14	1,85	1,39
	Promedio*	5,50	4,07	3,03	2,25	1,95	1,44
	Desv. Estandar*	0,61	0,47	0,30	0,16	0,12	0,07
50	Metropolitana	5,51	3,56	2,82	2,26	1,92	1,46
	Maule Sur	4,11	2,99	2,44	2,00	1,71	1,35
	Promedio*	5,01	3,56	2,75	2,11	1,80	1,38
	Desv. Estandar*	0,54	0,36	0,23	0,11	0,09	0,06

Tabla N°30: (Continuación). Valor promedio de las medianas de las subregiones Metropolitana y Maule Sur, en conjunto con el promedio y la desviación estándar del total de datos.

T	Subregión	Duración (h)					
		0,5	1	2	4	6	12
100	Metropolitana	5,39	3,49	2,76	2,23	1,90	1,44
	Maule Sur	4,07	2,94	2,41	1,97	1,68	1,35
	Promedio*	4,95	3,49	2,71	2,09	1,78	1,37
	Desv. Estandar*	0,51	0,35	0,23	0,12	0,09	0,06

** Valor obtenido de las medianas de todas las subregiones*

7.4. Indicadores

Todos los indicadores presentaron la tendencia de obtener mayores valores al trabajar con la totalidad de los datos, lo cual es esperable, dado que al existir una cantidad mayor de datos disponibles que cuando se trabaja por sectores (ya sean subregiones o categorías altitudinales), es también esperable obtener un universo mayor de datos y una mayor variabilidad.

En cuanto a la tendencia, el valor aumenta a medida que se aumenta en el periodo de retorno, lo cual es característico de las curvas IDF, y es esperable, pues todos los indicadores se obtuvieron a partir de proporciones entre valores del Índice de Tormenta, lo cual como ya se mencionó anteriormente, sigue el comportamiento de las curvas IDF.

En cuanto las subregiones/categorías altitudinales, ninguno de los dos indicadores presenta alguna tendencia a través de los periodos de retorno. Lo anterior se debe a lo expuesto al inicio del párrafo, puesto que se difiere mucho al trabajar con la totalidad de los datos que con una porción de ellos; además, el

valor que se obtiene en los indicadores está condicionado a los valores extremos, por lo que dependiendo de la subregión/categoría altitudinal en donde se encuentren las estaciones con valores extremos, será donde existirán los mayores valores de los indicadores. Como se ha visto a través de todo el estudio, los valores extremos de la población tienden a presentarse en alguna estación en particular, pero ésta no predomina totalmente a través de las duraciones horarias o a través de los periodos de retorno, lo que no permite aseverar que los indicadores sigan un patrón en particular.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

En base a la información recopilada y a los resultados y análisis de los datos obtenidos, se pueden plantear las siguientes conclusiones:

- Se concluye que el índice de tormenta o valor K aumenta a medida que aumenta el periodo de retorno, pero disminuye a medida que aumenta la duración horaria, lo cual es similar a lo planteado por Cereceda (2006).
- Las mayores variaciones del valor K se producen a medida que disminuye la duración horaria y aumenta el periodo de retorno.
- Existen estaciones puntuales que presentan los valores extremos de toda la serie de datos, ya sean los máximos (estaciones Hualpencillo y Carriel Sur) o mínimos (estación Desagüe Laguna la Invernada), y esto para todas las duraciones horarias y periodos de retorno analizados. Sin embargo, la estación Desagüe Laguna la Invernada podría representar un problema para el análisis, pues no tiene un adecuado funcionamiento, al parecer producto de las bajas temperaturas, por lo que habría que relativizar los valores de intensidad de precipitación obtenidos en esta estación.
- En cuanto a los valores promedio por región, para todas las duraciones horarias menores o iguales a 6 horas y para todos los periodos de retorno analizados, la región del Maule presenta los valores más bajos, mientras

que para la duración horaria restante (12 horas) es la región del Biobío la que presenta los valores promedio más bajos.

- A nivel de subregiones, la subregión Maule Sur es la que presenta el valor promedio más bajo del Índice de Tormenta, y esto para todas las duraciones horarias y periodos de retorno analizados; mientras que, los valores promedio más altos se presentan en las subregiones Metropolitana y Biobío Norte, dependiendo de la duración horaria y el periodo de retorno al cual se haga referencia.
- A nivel de categorías altitudinales, la categoría altitudinal Baja es la que tiene los valores promedio más altos del Índice de Tormenta para todas las duraciones horarias y periodos de retorno analizados, mientras que la categoría altitudinal Alta es la que tiene los valores promedio más bajos.
- Según la prueba U de Mann-Whitney, existe sólo una diferencia significativa entre dos subregiones y que se mantiene para todas las duraciones horarias y se observa en todos los periodos de retorno analizados (el caso de las subregiones Metropolitana y Maule Sur en la variación latitudinal). Existen otras diferencias significativas entre subregiones o categorías altitudinales, pero por lo general, éstas son discontinuas, es decir, no siguen una tendencia a través de los periodos de retorno o a través de las duraciones horarias.
- Por último, los indicadores calculados no permiten determinar algún comportamiento tanto a nivel de latitud como de altitud.

8.2. Recomendaciones

Como recomendaciones para complementar y mejorar el estudio, se propone lo siguiente:

- Se recomienda ampliar el número de zonas geográficas del país bajo este tipo de estudio, para que en lo posible se logre determinar si efectivamente las tendencias encontradas se mantienen, o bien, se descartan. Para esto, la inclusión de las estaciones de las regiones de Valparaíso y O'Higgins son fundamentales y prioritarias, pues permitirían determinar con mayor exactitud cuál es la tendencia que se presenta en la zona central del país.
- Se recomienda experimentar con nuevos indicadores que involucren otros valores de una serie de datos (como su desviación estándar, coeficiente de variación y mediana, entre otros) con el fin de poder descubrir si existe algún indicador que permita describir el comportamiento del valor K, con el fin de corregir estimaciones de calidad del mismo.
- Finalmente, es necesario incrementar el análisis temporal y espacial del Índice de Tormenta, dado que este por las características únicas que posee, permite generar nuevas curvas IDF en zonas que sólo cuentan con datos pluviométricos. Lo anterior sumado a lo realizado en esta investigación, demuestra que con un conocimiento y utilización adecuada de los valores K, sería posible no sólo obtener curvas de buena calidad, sino que también permitiría contribuir en la implementación y

mejoramiento de obras hidráulicas, ya sean de uso urbano, agrícola o forestal, entre otros.

9. BIBLIOGRAFÍA

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

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

BCN (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Chile). 2012. Sistema integrado de información territorial. (En línea). Consultado 26 jul. 2012. Disponible en: <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/regiones.htm>.

Campo, A.; Ramos, M.; Zapperi, P. (2009). Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el suroeste Bonaerense, Argentina. (En línea). Consultado 26 jul. 2012. Disponible en: http://egal2009.easyplanners.info/area07/7085_Campo_Alicia_M_.pdf

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

Cereceda, R. 2008. Propuesta de un método para la construcción de curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) en estaciones pluviométricas de Chile Central. Memoria Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 97 p.

Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. Santa Fé de Bogotá, Colombia. Editorial Mc Graw-Hill. 584 p.

CONAF (Corporación Nacional Forestal, Chile). 2012. Actualización Catastro de Uso de Suelo y Vegetación, Región Metropolitana de Santiago. (En línea).

Consultado el 26 jul. 2012. Disponible en:
http://www.conaf.cl/cms/editorweb/catastro/actualizacion_Santiago.pdf

CONAF (Corporación Nacional Forestal, Chile); CONAMA (Comisión Nacional de Medio Ambiente, Chile); UaCH (Universidad Austral de Chile, Chile). 2009. Monitoreo de Cambios, Corrección cartográfica y Actualización del Catastro de Bosque Nativo en la VIII Región del Bio Bio. Período 1998-2008. (En línea). Consultado el 26 jul. 2012. Disponible en:
wiki.gorebiobio.cl/UGIT/images/stories/.../Informe%20Final.doc

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua, México). Servicio Meteorológico nacional. Glosario. (En línea). Consultado el 24 jul. 2012. Disponible en:
<http://200.4.8.21/glosario/glos-i.html>

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

Cuadrat, J.; Pita, M. 2000. Climatología. 2a. ed. Madrid, España. Ediciones Cátedra. 469 p.

DMC (Dirección Meteorológica de Chile, Chile). 2012. Climas de Chile. (En línea). Consultado 26 jul. 2012. Disponible en:
<http://www.meteochile.gob.cl/climas/climas.html>.

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

García, F.; Cruz, I. 2009. Variabilidad de la precipitación pluvial en la Región Pacífico Norte de México. (En línea). Consultado 26 jul. 2012. Disponible en
<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=30211438001>

GORE (Gobierno Regional del Maule, Chile). 2006. Plan de Gobierno 2006-2010 Región del Maule. (En línea). Consultado 26 jul. 2012. Disponible en: http://www.fielchile.cl/informes_regionales/sociolaboral/01%20PlanGob_R07%5B1%5D.pdf

Herat, S.; Ratnayake, U. 2004. Monitoring rainfall trends to predict adverse impacts. A case study from Sri-Lanka (1964-1993). (En línea). Consultado el 12 oct. 2012. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937800300092X>.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas, Chile). 2012. Estadísticas Censo 2002. (En línea). Consultado 26 jul. 2012. Disponible en: <http://www.ine.cl/cd2002/index.php>.

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

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

Linsley, R.; Kholer, M.; Paulhus, J. 1988. Hidrología para ingenieros. Segunda edición. Bogotá, Colombia. Editorial Mc Graw-Hill. 386 p.

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

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

Madsen, H.; Arnjberg-Nielsen, K.; Steen, P. 2009. Update of regional Intensity-Duration-Frequency curves in Denmark. Tendency towards increased storm intensities. (En línea). Consultado el 12 oct. 2012. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809509000301>.

Mailhot, A.; Duchesne, S.; Caya, D.; Tambot, G. 2007. Assessment of future change in Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves of Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model (CRCM). (En línea). Consultado el 12 oct. 2012. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169407005045>.

Mason, R.; Lind, D. 1995. Estadística para la Administración y Economía. Tercera Edición. Editorial Iberoamericana. México D.F., México, 707 p.

Moncho, R. 2008. Análisis de la Intensidad de precipitación: Método de la intensidad continua. (En línea). Consultado 24 jul. 2012. Disponible en <http://www.tiempo.com/ram/447/analisis-de-la-intensidad-de-precipitacion-metodo-de-la-intensidad-contigua/>

Morales, M.; Christie, D.; Villalba, R.; Silva, J.; Álvarez, C.; Llancabure, J. s.f. Variaciones en las precipitaciones del Altiplano Sudamericano durante los últimos siete siglos reconstruidas a partir de anillos de árboles. (En línea). Consultado 26 jul. 2012. Disponible en: <http://www.congremet.prmarg.org/upload/moralesmariano.pdf>

Pizarro, R.; Novoa, O. 1986. Instructivos Técnicos. Elementos Técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal (CONAF). La Serena. Chile. 56 p.

Pizarro, R.; Abarza, A.; Flores, J. 2001. Análisis comparativo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en 6 estaciones pluviográficas. VII Región del Maule, Chile. (En línea). Biblioteca Virtual UNESCO. Consultado 26 jul. 2012. Disponible en: <http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/bitstream/123456789/500/1/curvas+idf+maule.pdf>

Pizarro, R.; Aravena, D.; Macaya, K.; Abarza, A.; Cornejo, M.; Labra, M.; Pavéz, M.; Román, L. 2007. Curvas intensidad – duración – frecuencia para la zona centro sur de Chile. Talca, Chile. Editorial Universidad de Talca. 126 p.

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

Simonovic, P.; Peck, A. 2009. Update Intensity-Duration-Frequency curves for the city of London under the changing climate. Consultado el 12 oct. 2012. Disponible en: <http://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1027&context=wrrr>.

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

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

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

APÉNDICES

Apéndice I. Valores de cada Estación y Valor Promedio del Índice de Tormenta para cada Subregión o categoría Altitudinal.

i. Variación Latitudinal

Desde los gráficos N°1 al N°6 se muestran los valores del Índice de Tormenta de cada duración horaria para el periodo de retorno de 5 años, mientras que desde los gráficos N°7 al N°12 se presentan los valores del Índice de Tormenta de cada duración horaria para el periodo de retorno de 50 años.

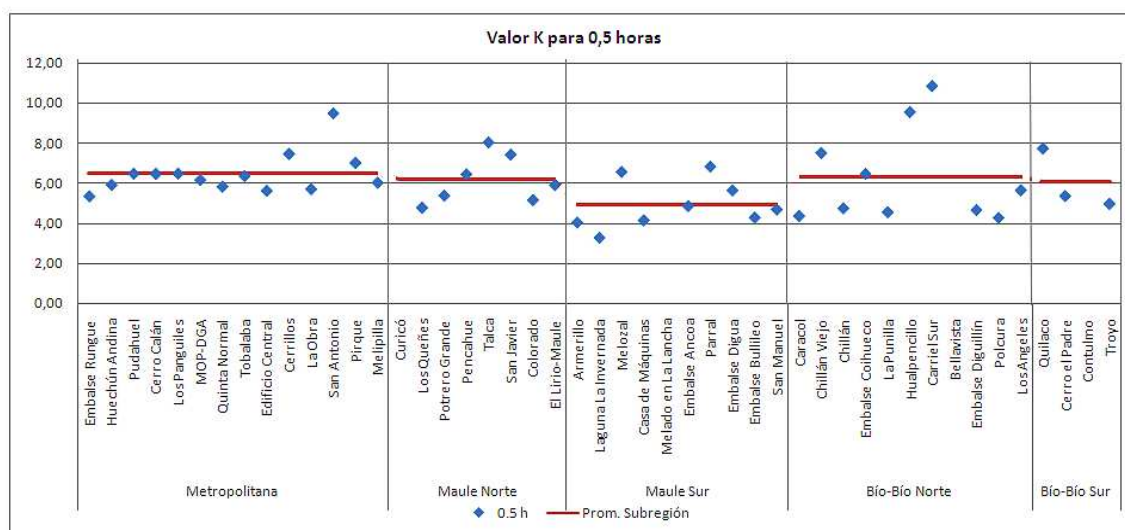


Gráfico N°1: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 0,5 horas para el periodo de retorno de 5 años, en base a las subregiones definidas.

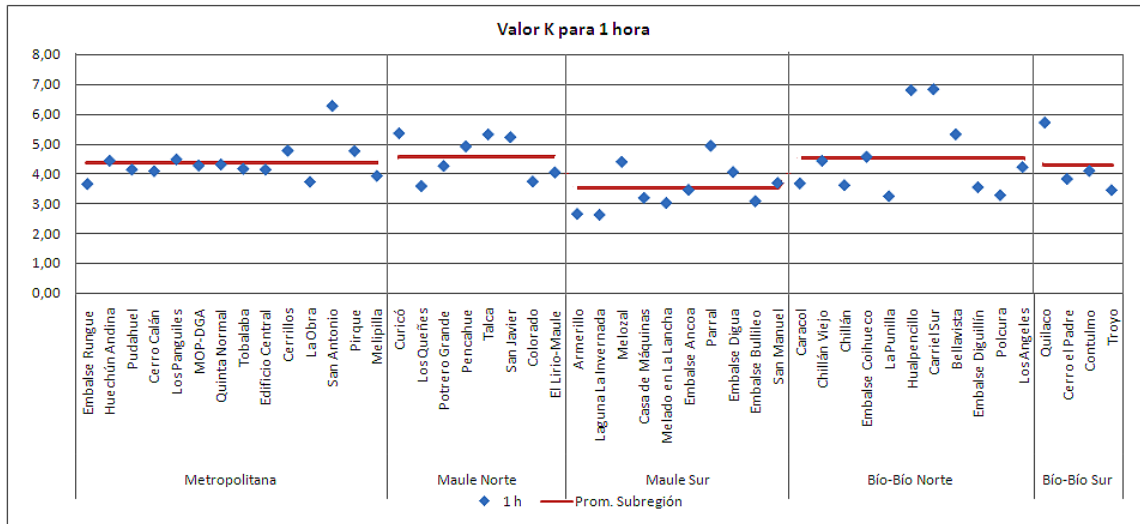


Gráfico N°2: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 1 hora para el periodo de retorno de 5 años, en base a las subregiones definidas.

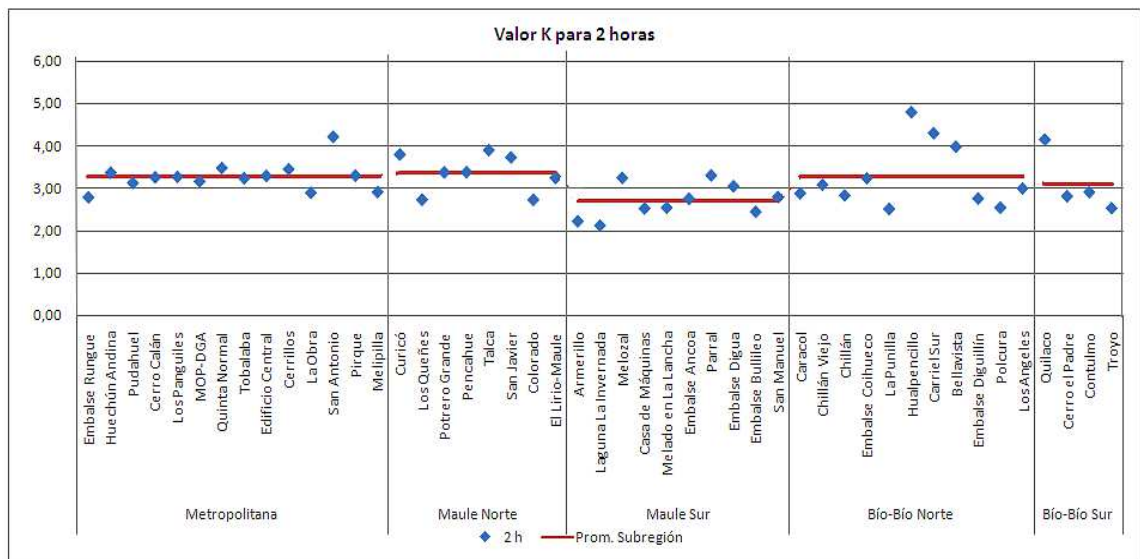


Gráfico N°3: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 2 horas para el periodo de retorno de 5 años, en base a las subregiones definidas.

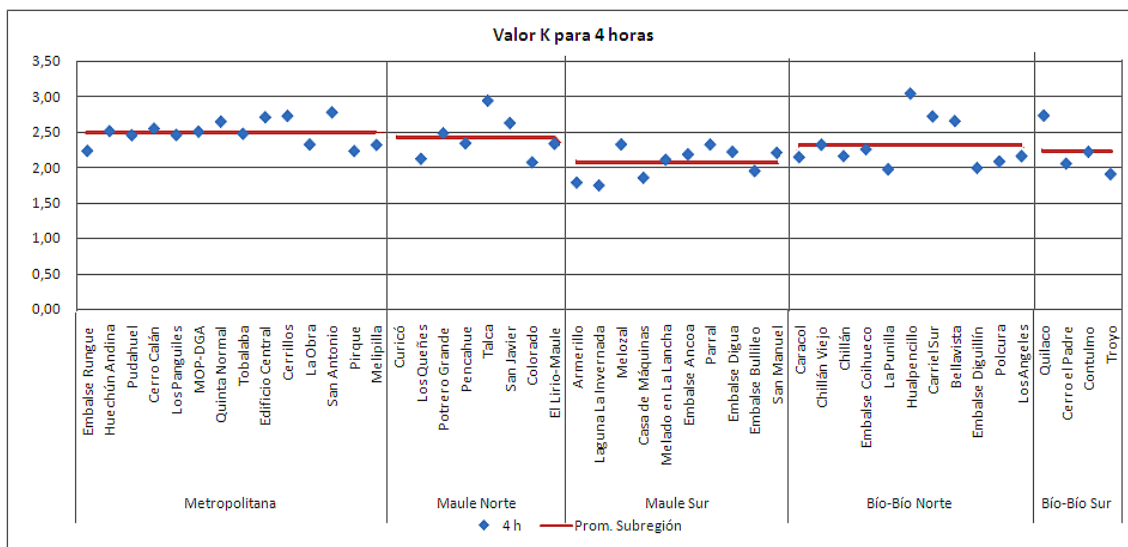


Gráfico N°4: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 4 horas para el periodo de retorno de 5 años, en base a las subregiones definidas.

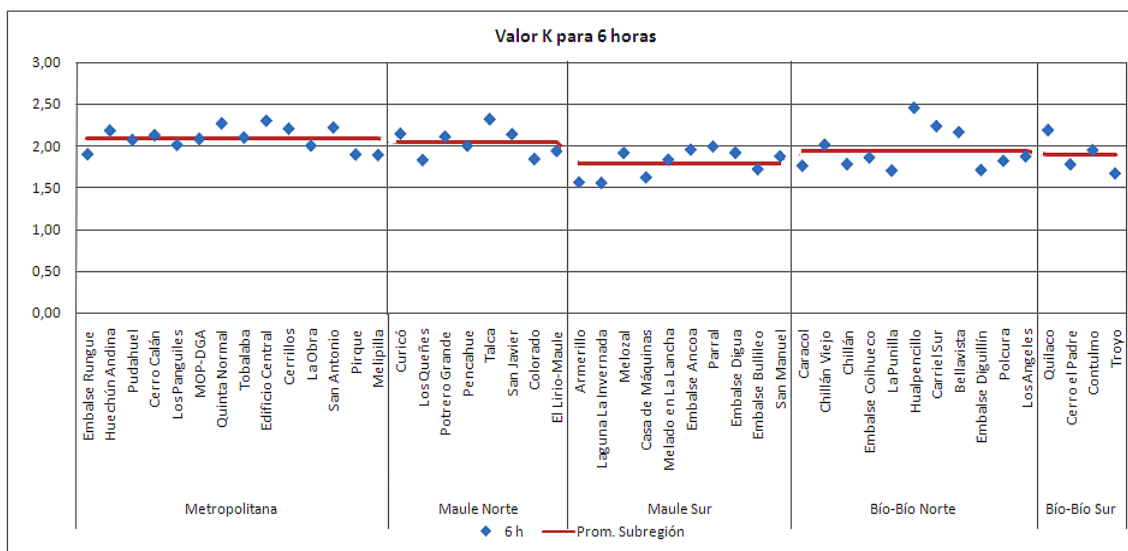


Gráfico N°5: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 6 horas para el periodo de retorno de 5 años, en base a las subregiones definidas.

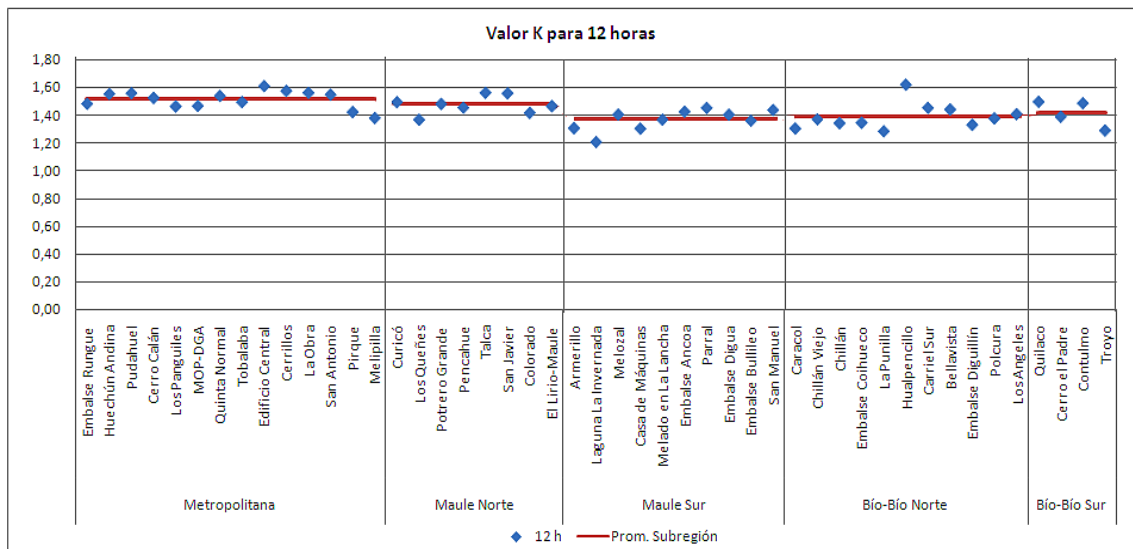


Gráfico N°6: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 12 horas para el periodo de retorno de 5 años, en base a las subregiones definidas.

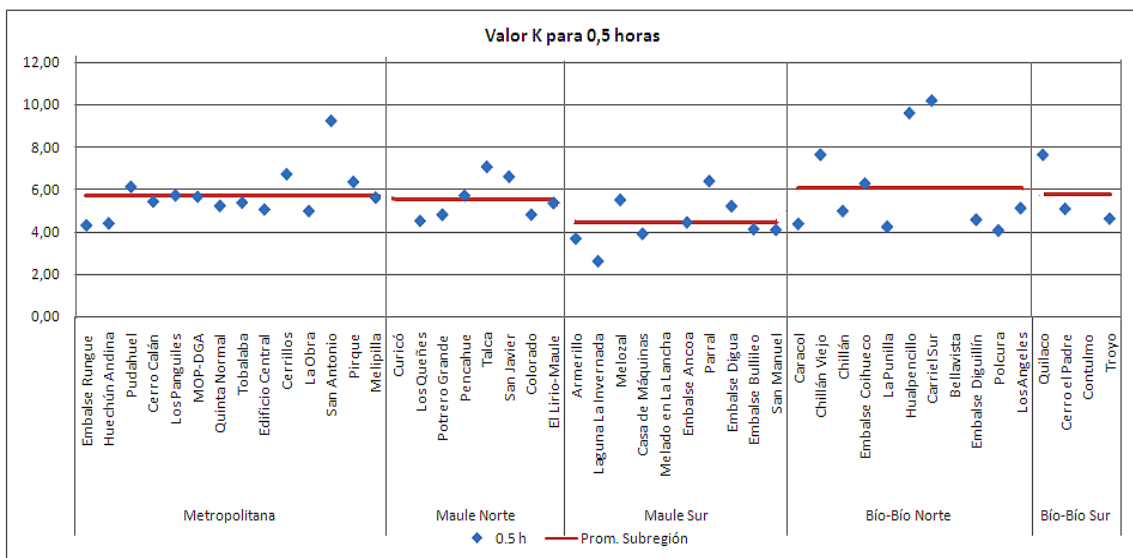


Gráfico N°7: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 0,5 horas para el periodo de retorno de 50 años, en base a las subregiones definidas.

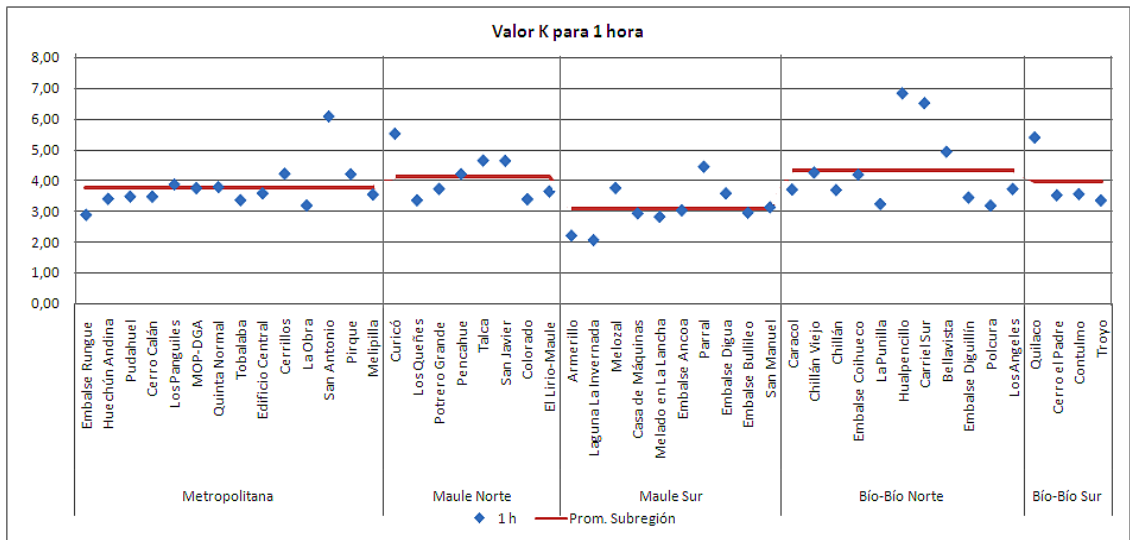


Gráfico N°8: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 1 hora para el periodo de retorno de 50 años, en base a las subregiones definidas.

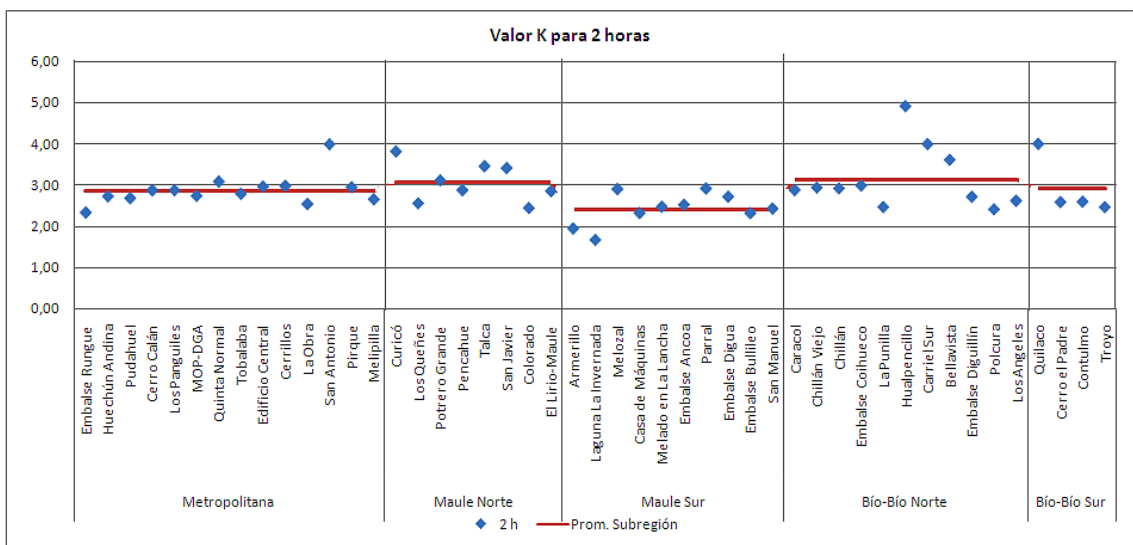


Gráfico N°9: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 2 horas para el periodo de retorno de 50 años, en base a las subregiones definidas.

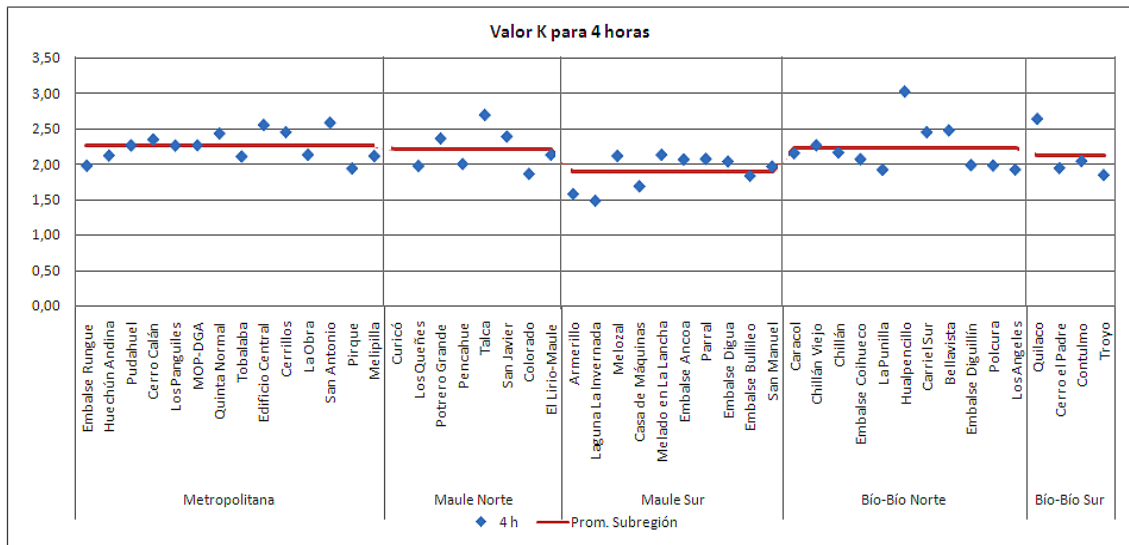


Gráfico N°10: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 4 horas para el periodo de retorno de 50 años, en base a las subregiones definidas.

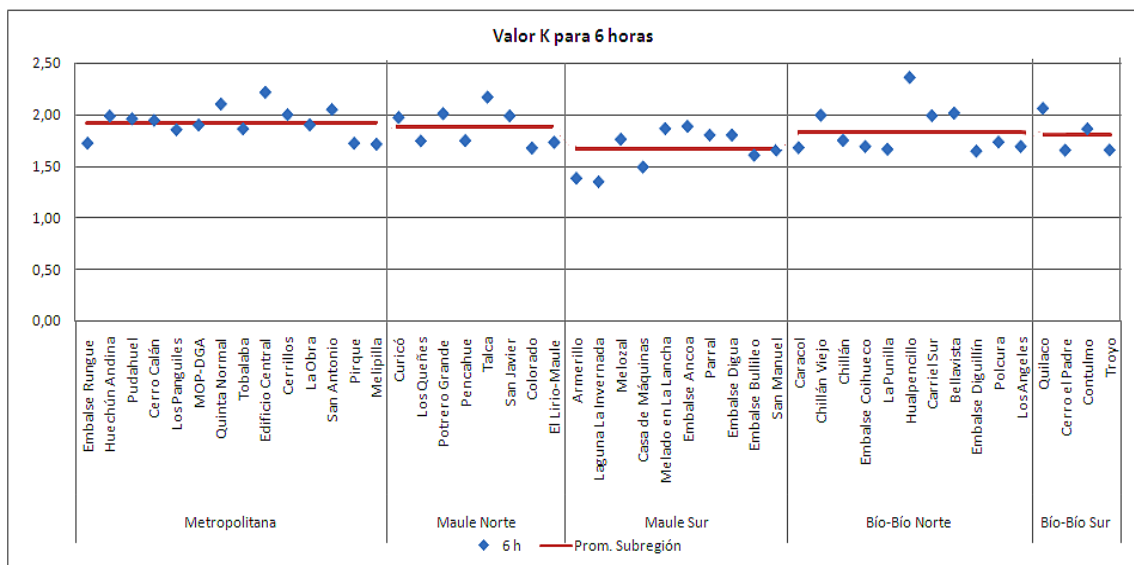


Gráfico N°11: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 6 horas para el periodo de retorno de 50 años, en base a las subregiones definidas.

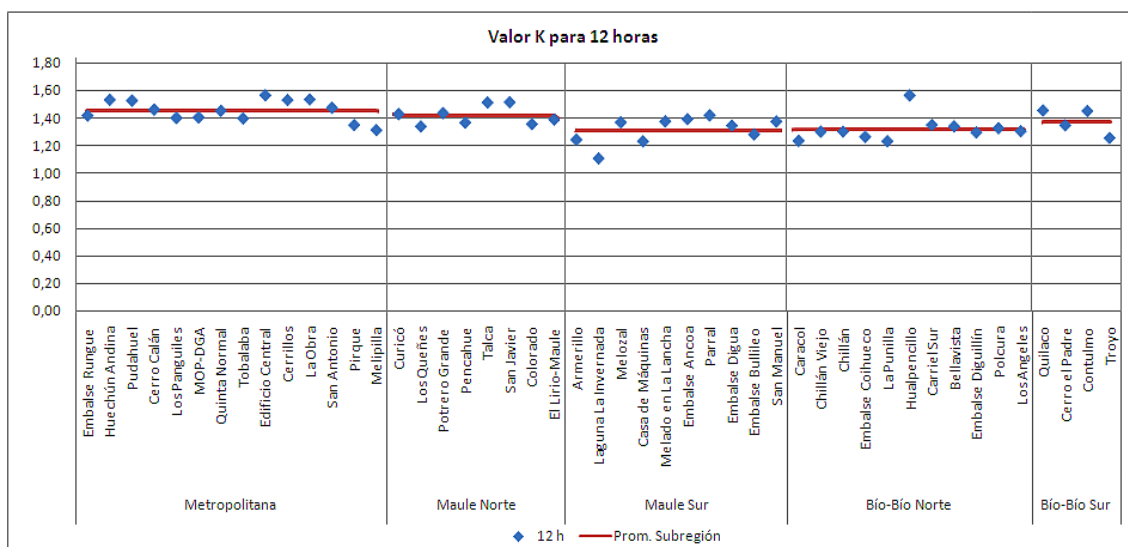


Gráfico N°12: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 12 horas para el periodo de retorno de 50 años, en base a las subregiones definidas.

ii. Variación Altitudinal

Desde los gráficos N°13 al N°18 se muestran los valores del Índice de Tormenta de cada duración horaria para el periodo de retorno de 5 años, mientras que desde los gráficos N°19 al N°24 se presentan los valores del Índice de Tormenta de cada duración horaria para el periodo de retorno de 50 años.

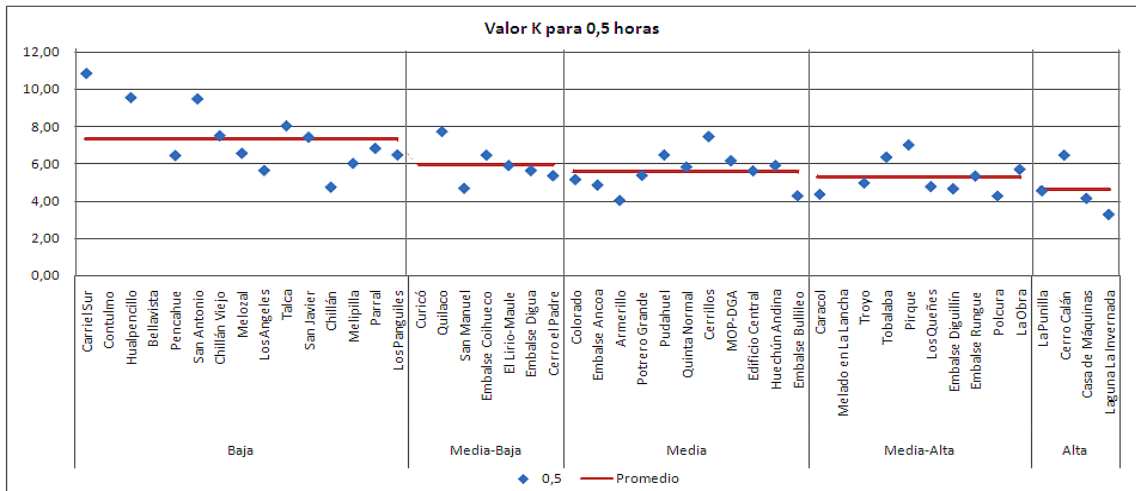


Gráfico N°13: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 0,5 horas para el periodo de retorno de 5 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

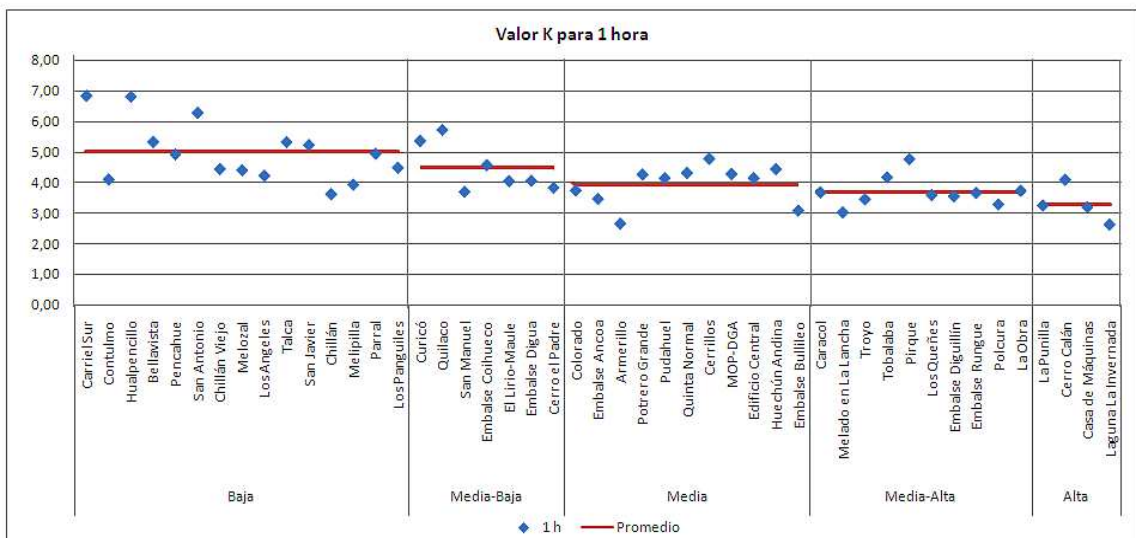


Gráfico N°14: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 1 hora para el periodo de retorno de 5 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

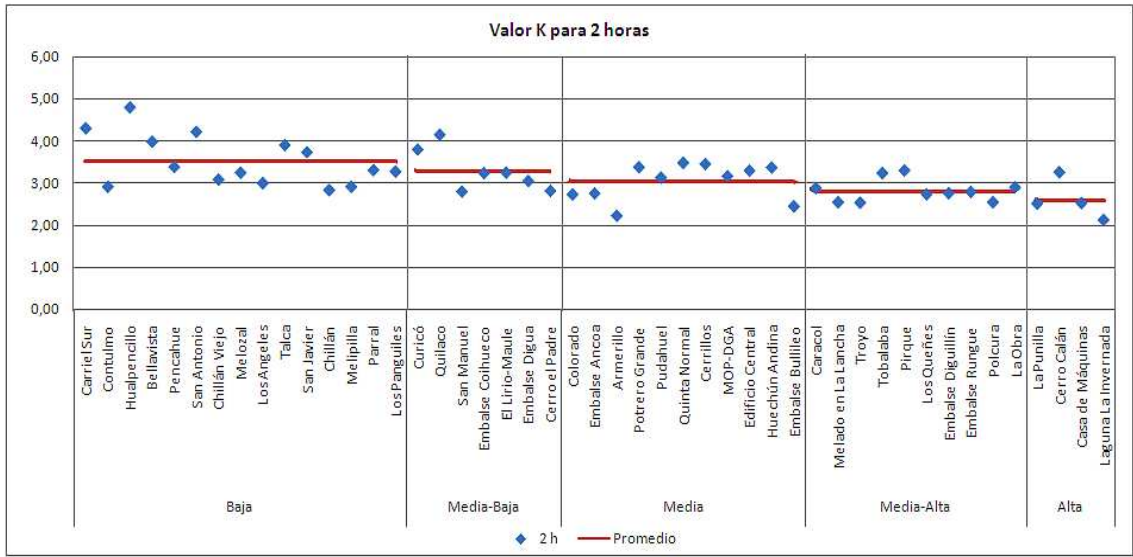


Gráfico N°15: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 2 horas para el periodo de retorno de 5 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

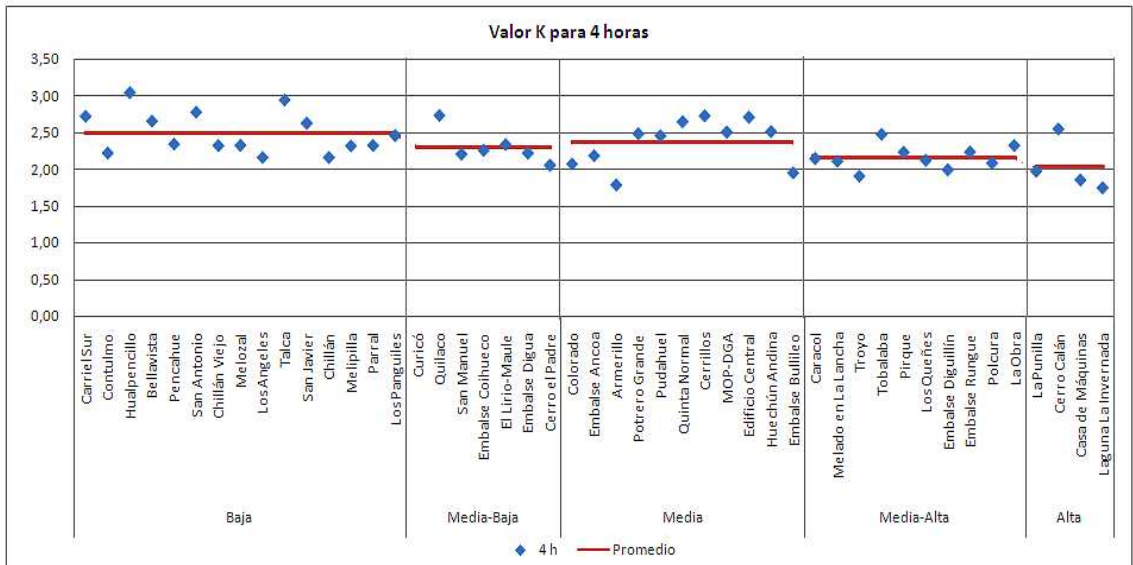


Gráfico N°16: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 4 horas para el periodo de retorno de 5 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

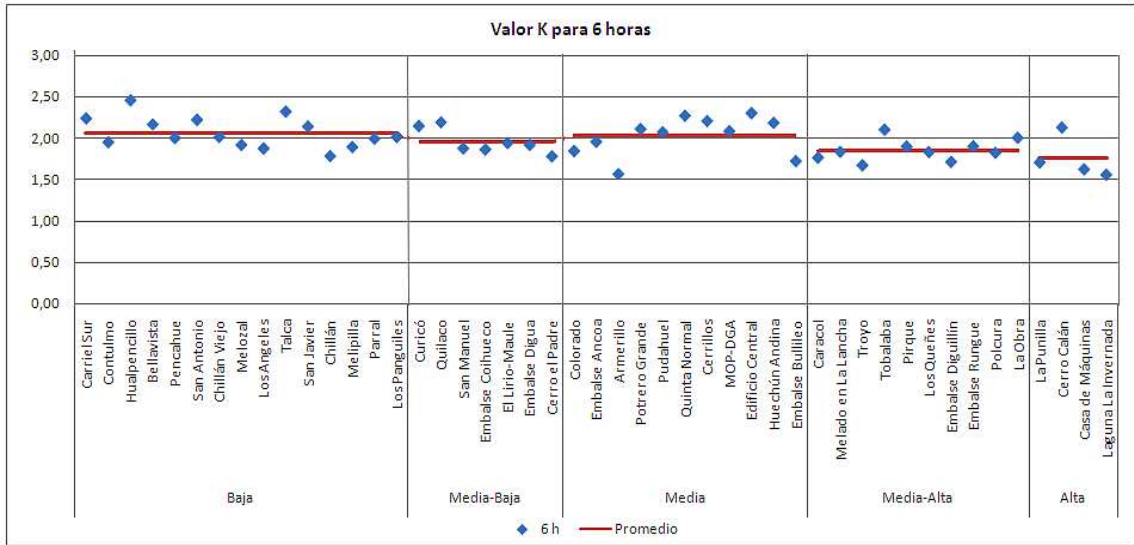


Gráfico N°17: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 6 horas para el periodo de retorno de 5 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

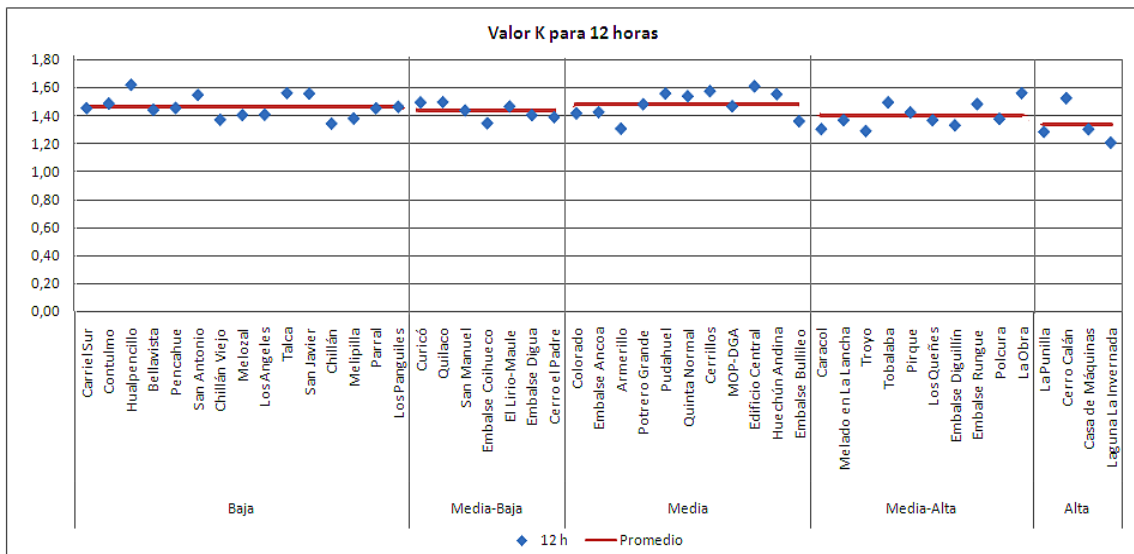


Gráfico N°18: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 12 horas para el periodo de retorno de 5 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

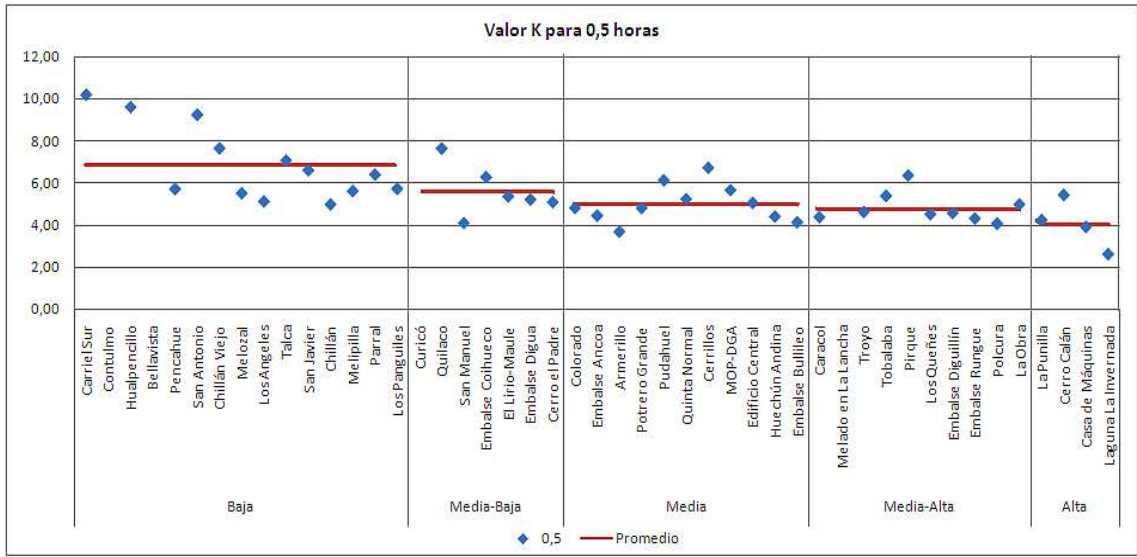


Gráfico N°19: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 0,5 horas para el periodo de retorno de 50 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

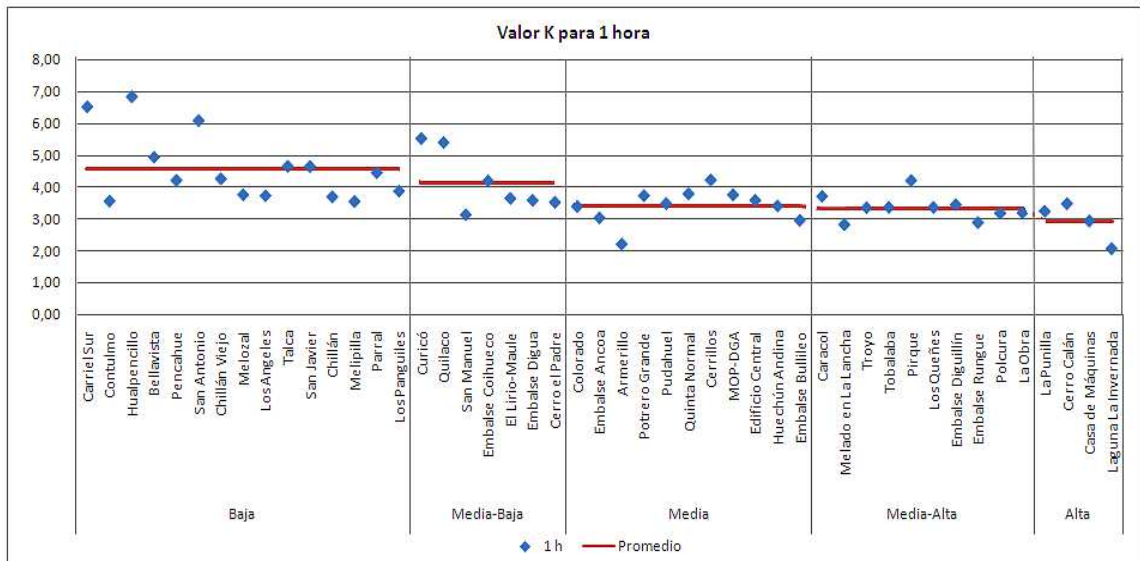


Gráfico N°20: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 1 hora para el periodo de retorno de 50 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

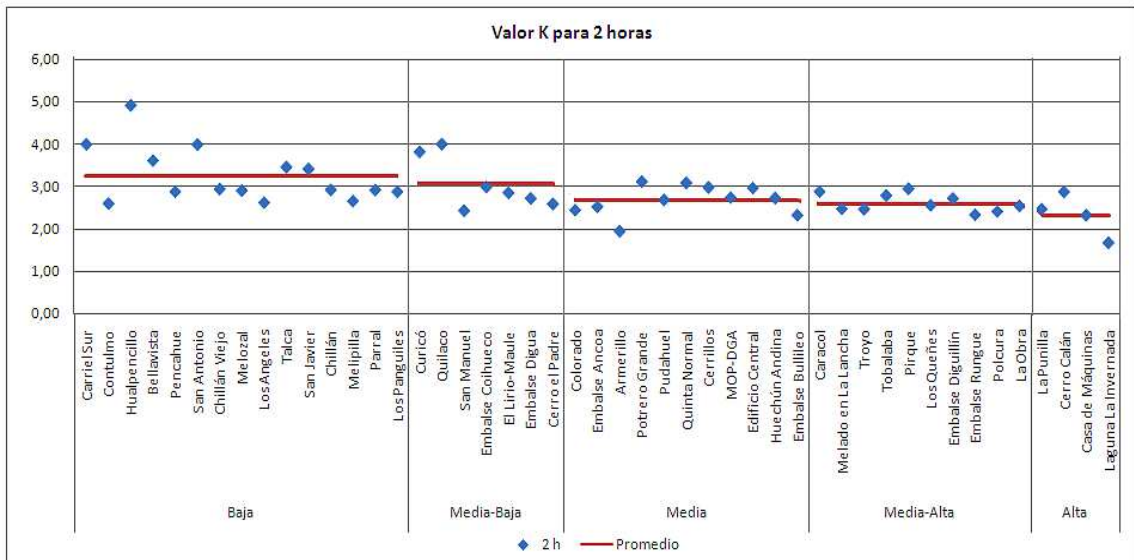


Gráfico N°21: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 2 horas para el periodo de retorno de 50 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

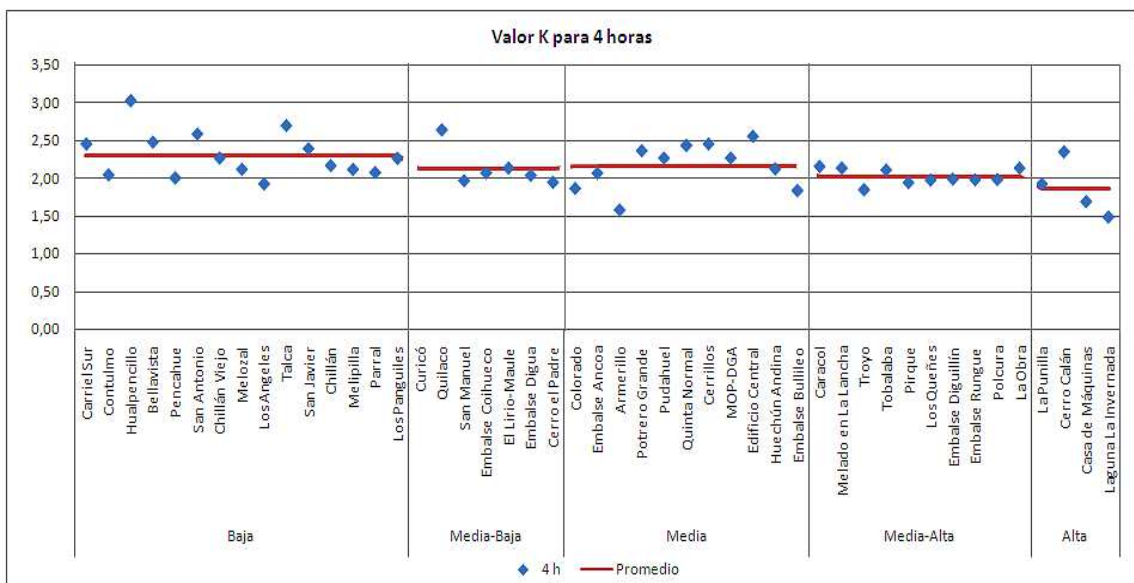


Gráfico N°22: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 4 horas para el periodo de retorno de 50 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

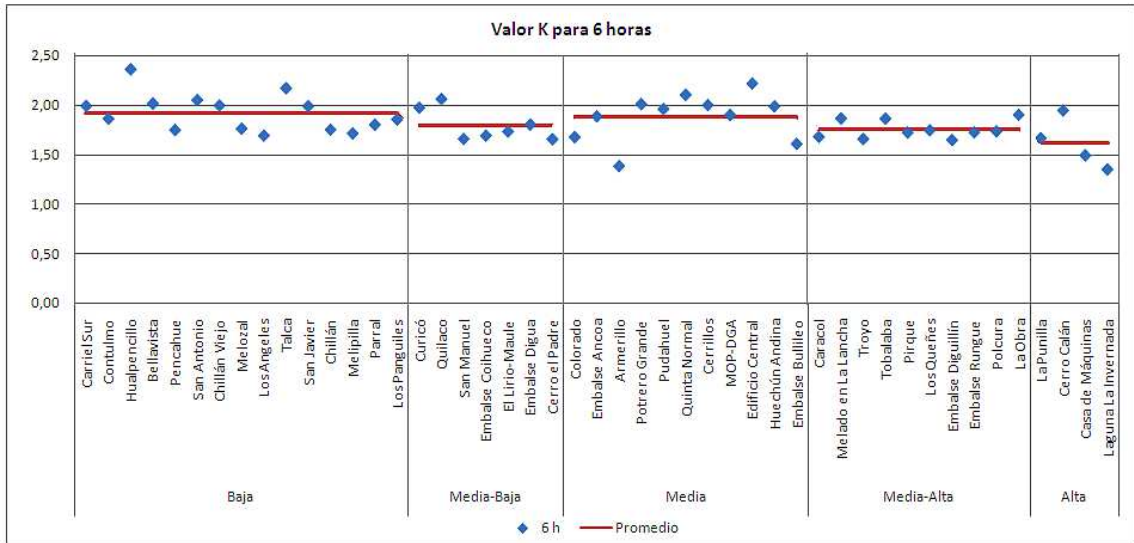


Gráfico N°23: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 6 horas para el periodo de retorno de 50 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

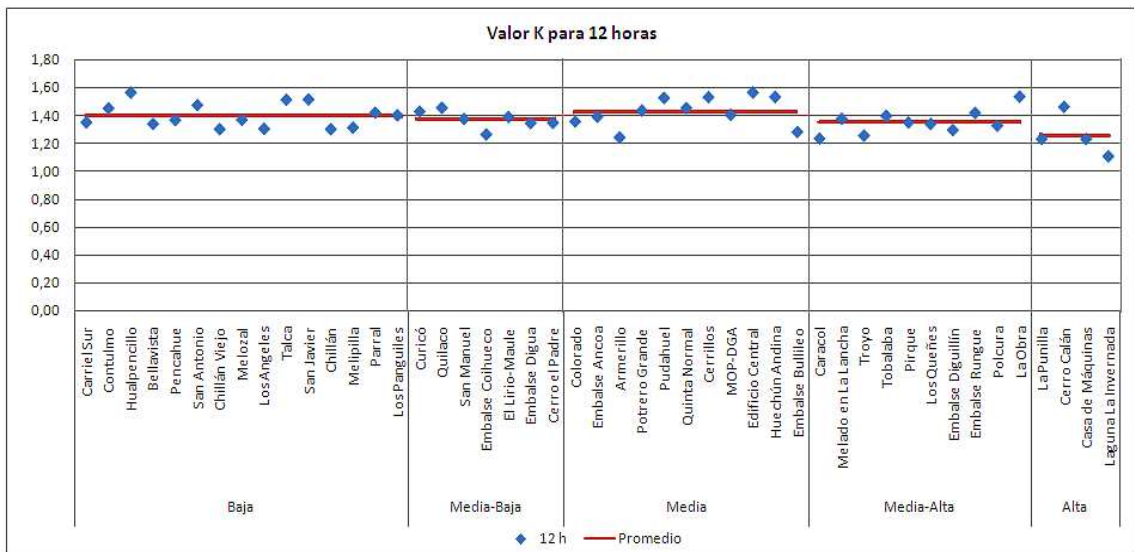


Gráfico N°24: Valores de cada estación y valor promedio del Índice de Tormenta para una duración horaria de 12 horas para el periodo de retorno de 50 años, en base a las categorías altitudinales definidas.

Apéndice II. Valores de los indicadores PMM (Proporción Máximo-Mínimo) y PMP (Proporción Máximo-Promedio).

i. Variación Latitudinal

Los gráficos N°1 y N°2 muestran los valores del indicador PMM para cada subregión y para el total de datos. A su vez, los gráficos N°3 y N°4 muestran los valores del indicador PMP para cada subregión y el total de datos.

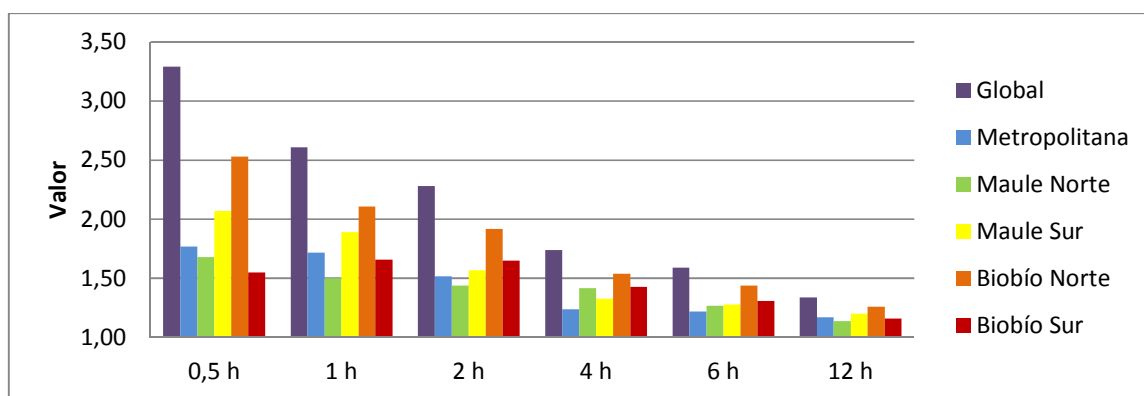


Gráfico N°1: Valor PMM del total de datos con respecto a cada subregión, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.

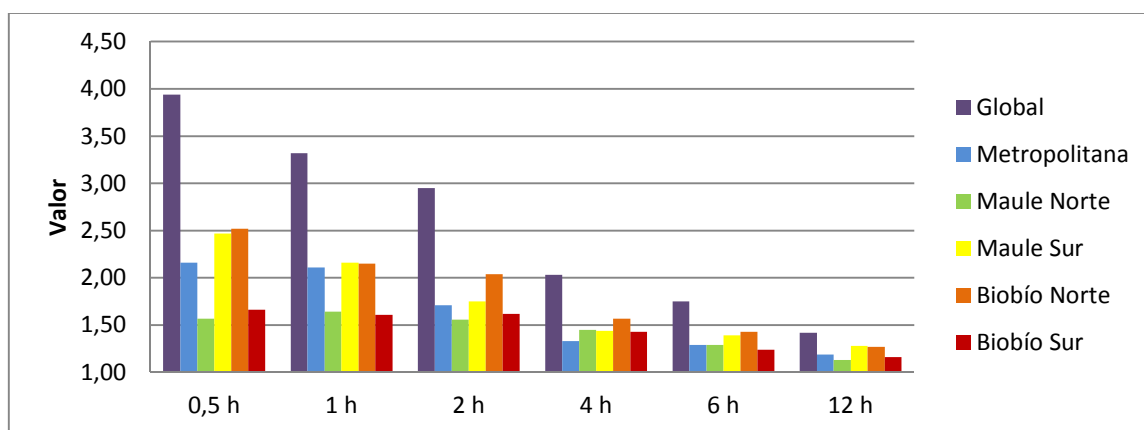


Gráfico N°2: Valor PMM del total de datos con respecto a cada subregión, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.

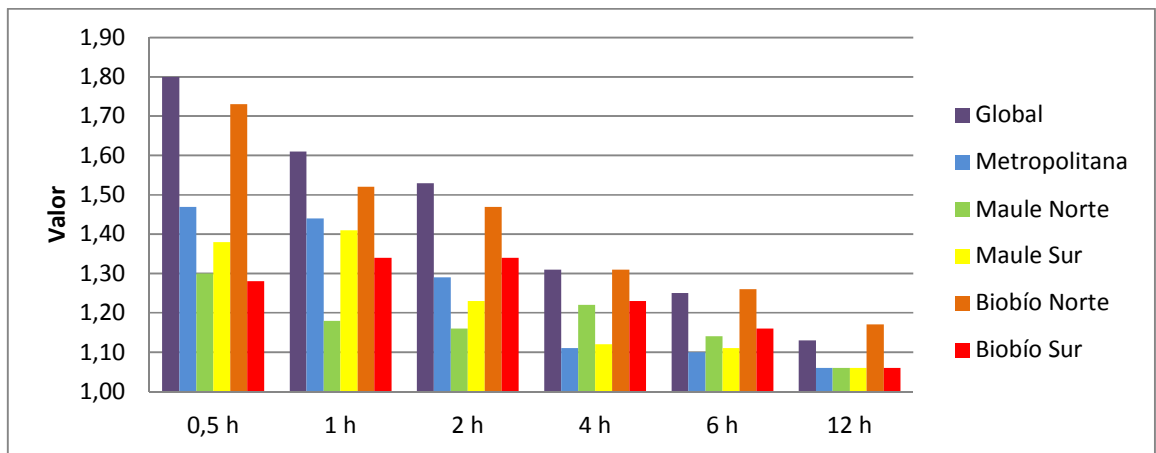


Gráfico N°3: Valor PMP del total de datos con respecto a cada subregión, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.

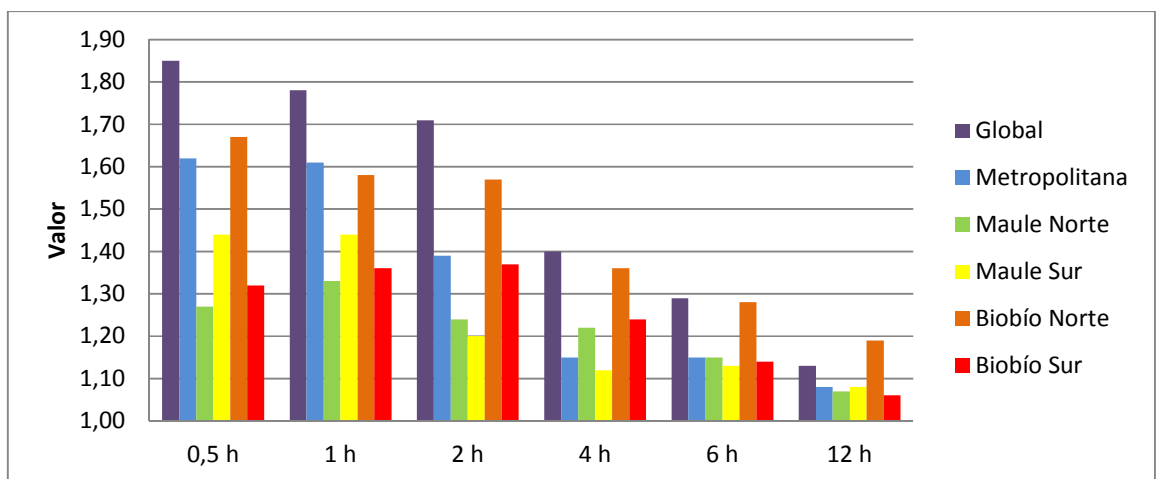


Gráfico N°4: Valor PMP del total de datos con respecto a cada subregión, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.

ii. Variación Altitudinal

Los gráficos N°5 y N°6 muestran los valores del indicador PMM para cada categoría altitudinal y para el total de datos. A su vez, los gráficos N°7 y

Nº8 muestran los valores del indicador PMP para cada subregión y el total de datos.

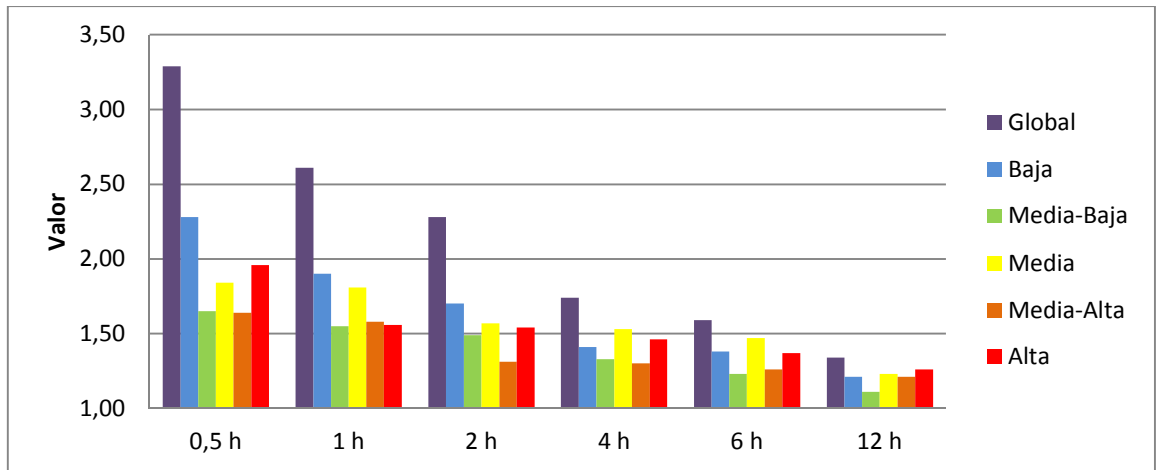


Gráfico N°5: Valor PMM del total de datos con respecto a cada categoría de altitud, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.

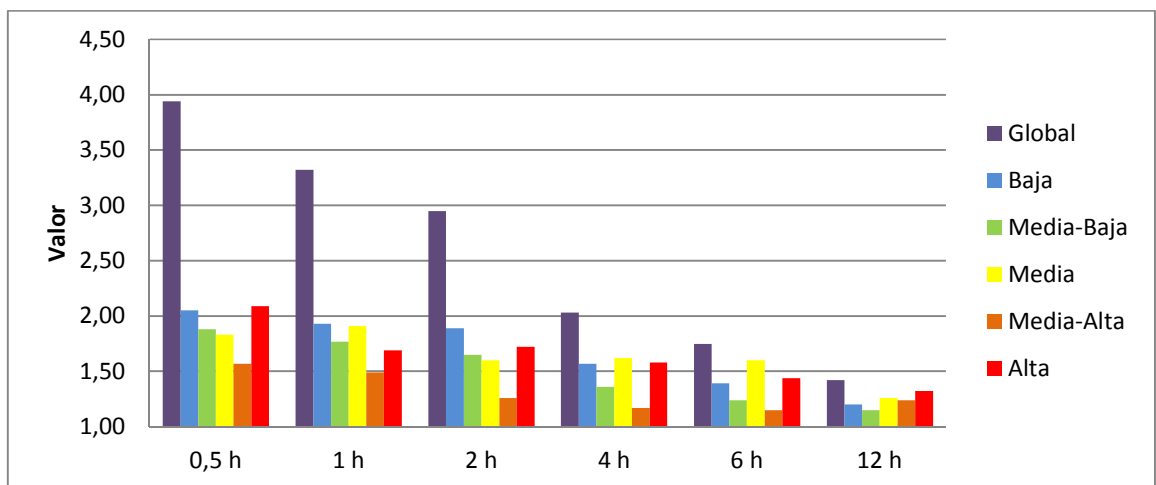


Gráfico N°6: Valor PMM del total de datos con respecto a cada categoría de altitud, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.

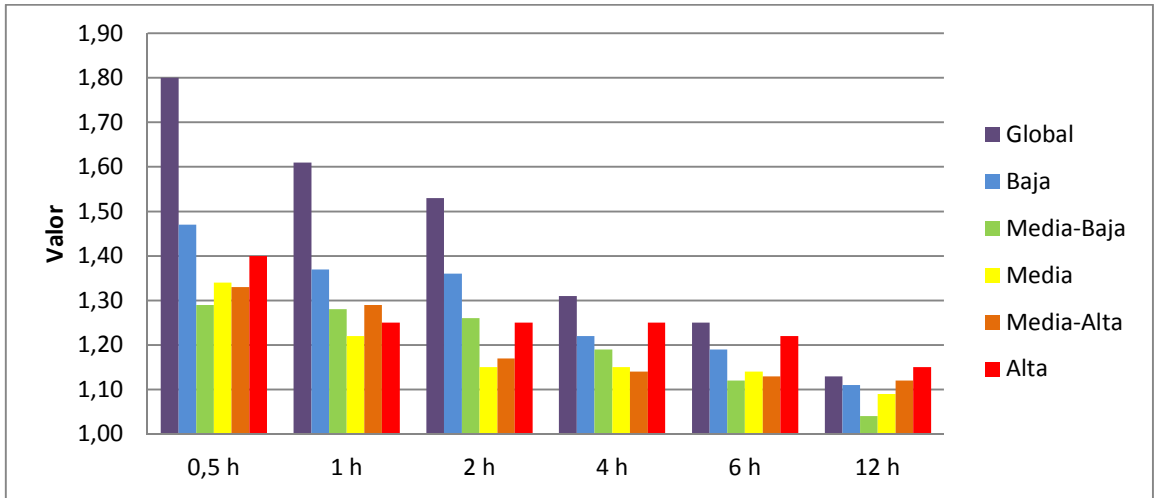


Gráfico N°7: Valor PMP del total de datos con respecto a cada categoría de altitud, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 5 años.

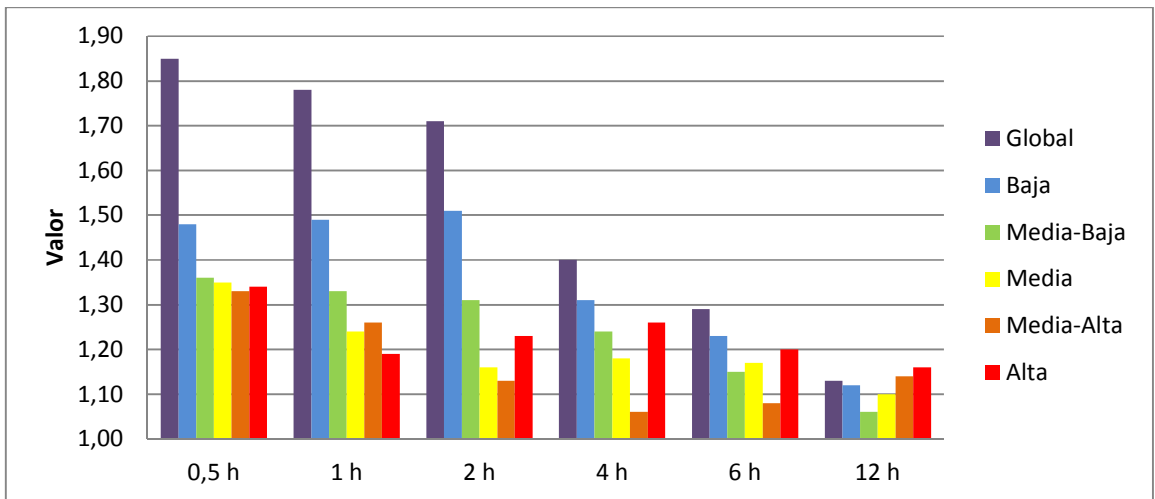
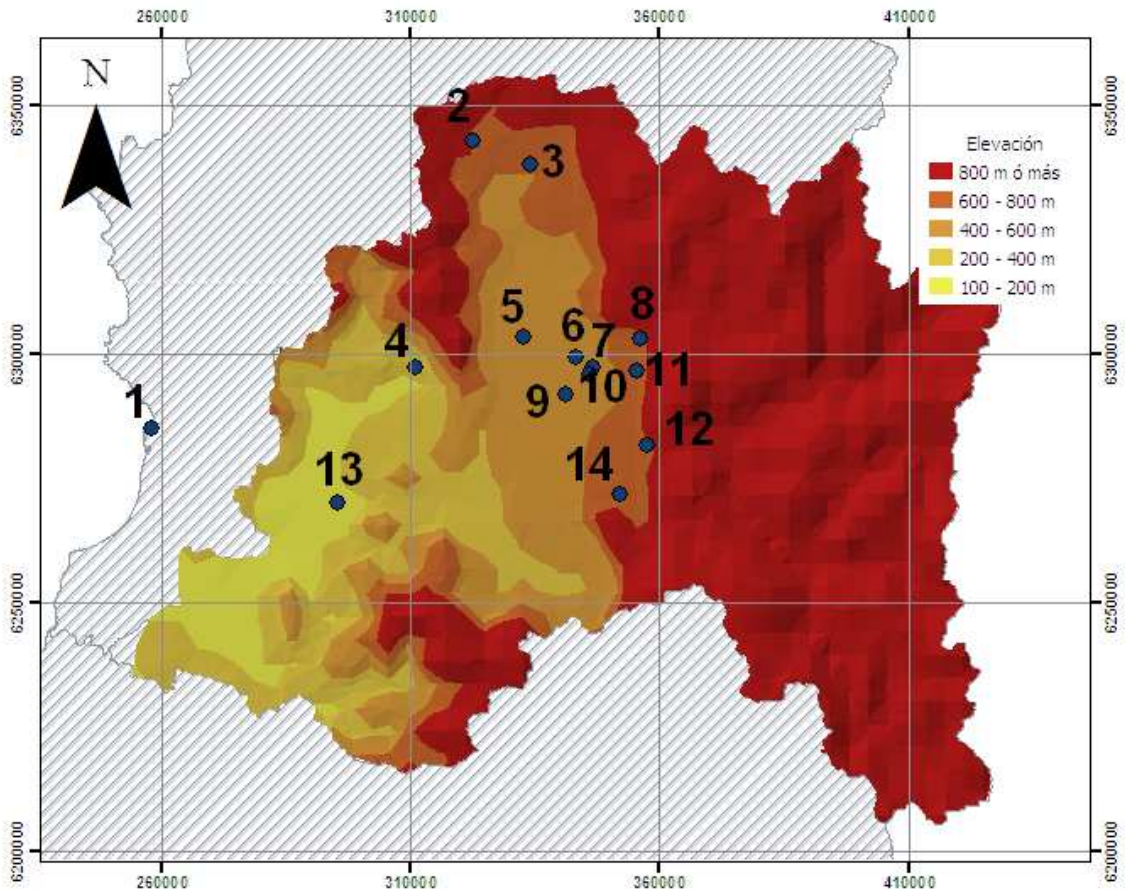


Gráfico N°8: Valor PMP del total de datos con respecto a cada categoría de altitud, para cada duración horaria y para un periodo de retorno de 50 años.

ANEXOS

Anexo I. Ubicación Geográfica de las Estaciones por Región.

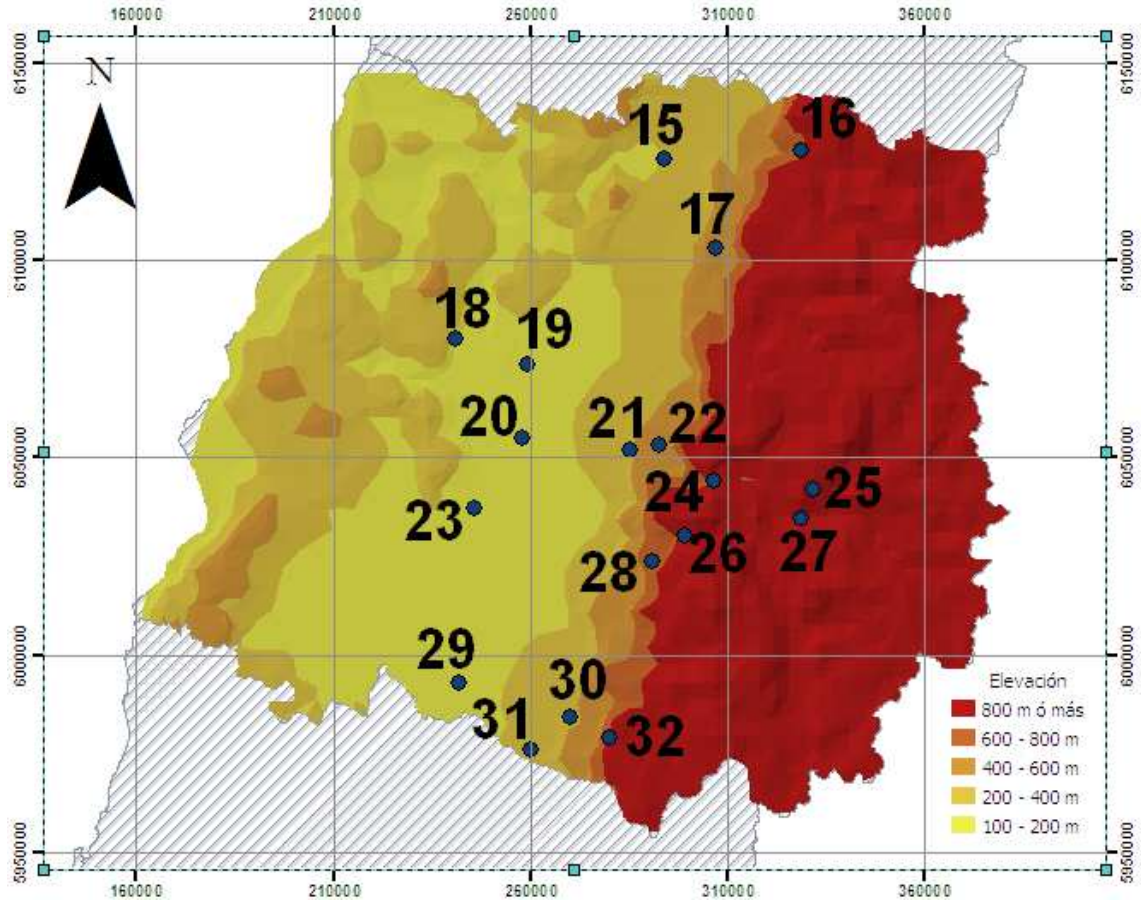
i. Región Metropolitana



Mapa N°1: Ubicación geográfica de las estaciones de la Región Metropolitana: 1) San Antonio*; 2) Embalse Rungue; 3) Huechún; 4) Los Panguiles; 5) Pudahuel; 6) Quinta Normal; 7) Edificio Central; 8) Cerro Calán; 9) Cerrillos; 10) MOP-DGA; 11) Tobalaba; 12) La Obra; 13) Melipilla y 14) Pirque.

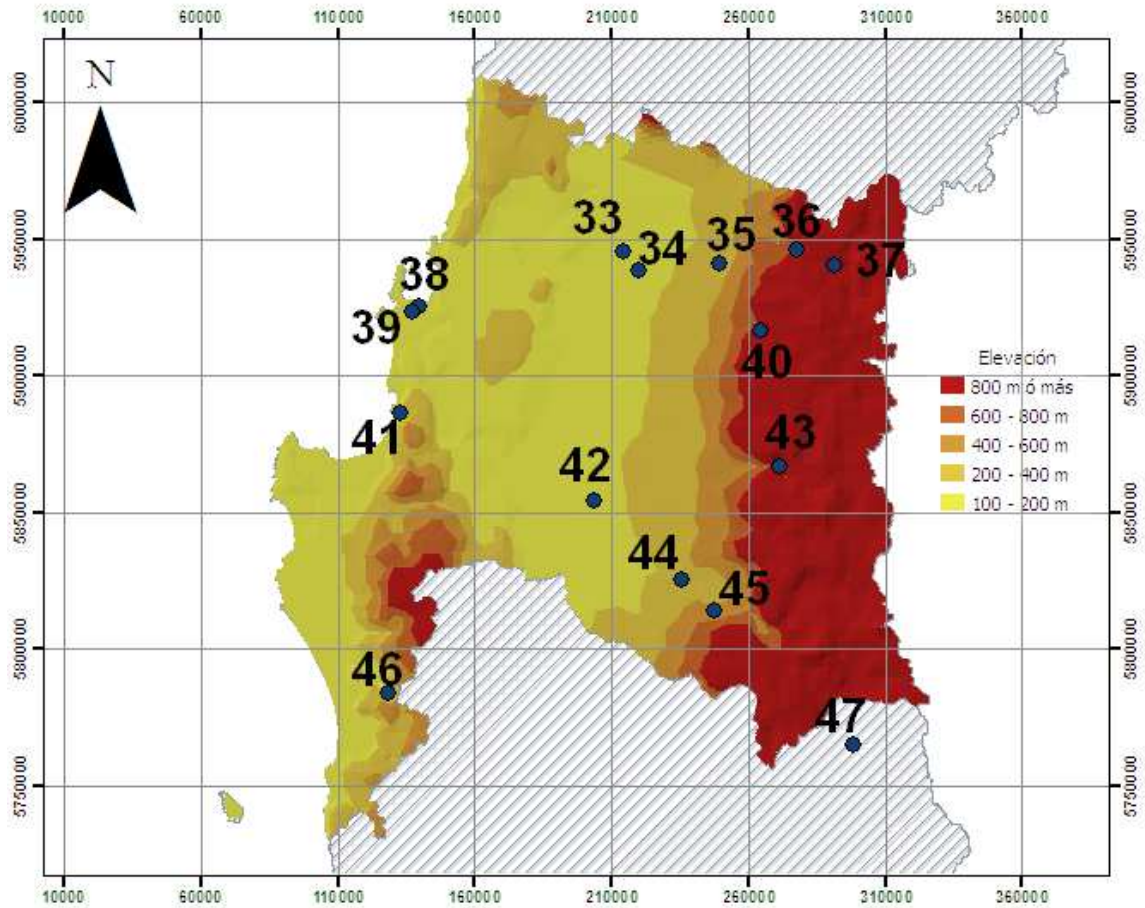
** Estación situada en la Región de Valparaíso pero considerada como parte de la Región Metropolitana en el estudio.*

ii. Región del Maule



Mapa N°2: Ubicación geográfica de las estaciones de la región del Maule: 15) Curicó; 16) Los Queñes; 17) Potrero Grande; 18) Penciahue; 19) Talca; 20) San Javier; 21) El Lirio; 22) Colorado; 23) Melozal; 24) Armerillo; 25) Laguna La Invernada; 26) Melado; 27) Casa de Máquinas; 28) Ancoa; 29) Parral; 30) Embalse Digua; 31) San Manuel; y 32) Embalse Bullileo.

iii. Región del Biobío



Mapa N°3: Ubicación geográfica de las estaciones de la región del Biobío: 33) Chillán; 34) Chillán Viejo; 35) Embalse Coihueco; 36) Caracol; 37) la Punilla; 38) Hualpencillo; 39) Carriel Sur; 40) Embalse Diguillín; 41) Bellavista; 42) Los Ángeles; 43) Polcura; 44) Quilaco; 45) Cerro el Padre; 46) Contulmo y 47) Troyo *

** Estación ubicada en la Región de la Araucanía pero considerada como parte de la Región del Biobío en el estudio.*

