



**Facultad de Ciencias Forestales
Escuela de Ingeniería Forestal**

**ANÁLISIS Y APLICACIÓN DEL MÉTODO GEOESTADÍSTICO KRIGING
ORDINARIO, EN ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS DE LA REGIÓN
METROPOLITANA, MAULE Y BÍOBÍO.**

MARÍA INÉS CORTÉS REYES

Memoria para optar al título de:

INGENIERO FORESTAL

PROFESOR GUÍA: Ph. D. BENJAMIN INGRAM

PROFESOR INFORMANTE: DR. ING.ROBERTO PIZARRO TAPIA

TALCA – CHILE

2013

AGRADECIMIENTOS

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

A mis padres José y Sofía y mis hermanos José y Carlos, por su incondicional amor, apoyo, comprensión e infinita paciencia.

A mis amigos Johanna, Pablo, Ricardo, Juan y Camila, gracias por su amistad y todos los momentos vividos.

A Maryela (Maryelita), por sus consejos y compañía en maratónicas jornadas de trabajo hasta la madrugada.

A mi profesor Informante el Dr, Ing. Roberto Pizarro, por brindarme su confianza y la oportunidad de efectuar este estudio.

A mi profesor Guía el Dr. Ben Ingram, por su tiempo, paciencia y apoyo en el desarrollo de esta memoria.

Al profesor, Oscar Vallejos, por su gran apoyo y sus consejos.

A María Eliana, por su apoyo, consejos y su gran disponibilidad para ayudar.

FINANCIAMIENTO

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

RESUMEN

El estudio que se presenta a continuación, tiene como objetivo estimar precipitaciones con diferentes duraciones horarias en estaciones pluviográficas mediante el método geoestadístico Kriging Ordinario. Se consideró un total de 46 estaciones distribuidas en las Regiones Metropolitana, Maule y Biobío, de las que se seleccionó el período de 30 años entre 1980 y 2009, período que presentó la mayor cantidad de datos anuales.

En primer lugar, se construyó el variograma empírico, para posteriormente ajustar al modelo global de variograma Exponencial en cada una de las duraciones horarias, determinando además los parámetros de la validación cruzada dejando uno fuera (LOOCV), con el fin de evaluar el modelo de variograma y los errores entre todos los valores observados y estimados de precipitación en las 47 estaciones. Luego, se seleccionaron 6 estaciones pluviográficas por Región; tres provenientes del centro y tres del borde de la nube geográfica de puntos a las que se le estimó el valor de precipitación a través de Kriging Ordinario. Para evaluar la diferencia entre los valores estimados y los observados obtenidos en cada una de las 18 estaciones, se aplicaron el error estándar de estimación, el coeficiente de correlación, el de determinación y el de variación, a si mismo se analizaron las varianzas Kriging obtenidas con cada estimación, las que determinaron qué predicción era la más confiable.

A partir de los resultados obtenidos, se pudo inferir que el método Kriging Ordinario parece ser una herramienta adecuada para la interpolación o estimación de valores de precipitación con diferente duración horaria; sin embargo, es recomendable estimar valores sólo en duraciones menores a 2 horas, ya que dichas duraciones presentan una baja variabilidad en sus datos de precipitación, por lo que su predicción es más confiable.

SUMMARY

The study presented below aims to estimate rainfall with different time durations in pluviographic stations by geostatistical method Ordinary Kriging. We considered a total of 46 stations distributed in Metropolitan Regions, Maule and Biobío, of which we selected the 30-year period between 1980 and 2009, a period that had the highest amount of annual data.

First, empirical variogram was constructed to subsequently adjust the global variogram model Exponential in each of the time durations, determining further parameters leave one out cross validation (LOOCV), to evaluate the model variogram and the errors between all observed and estimated values of precipitation at the 47 stations. Then 6 pluviographic stations were selected by Region, three from the center and three from the edge of geographic cloud points to which the value was estimated by precipitation Ordinary Kriging. For evaluating the difference between the observed and estimated values obtained in each of the 18 stations were applied the standard error of estimate, the correlation coefficient, and determining the variation, itself analyzed variances obtained Kriging with each estimate, which determined what was the most reliable prediction.

From the results, it was inferred that the Ordinary Kriging method seems to be a suitable tool for interpolation or estimation of rainfall values with different duration time, however, it is advisable to estimate durations only values less than 2 hours, and that these durations have low variability in precipitation data, so their prediction is more reliable.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo General.....	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3	ANTECEDENTES GENERALES.....	4
3.1	Región Metropolitana de Santiago.....	5
3.2	Región del Maule.....	6
3.3	Región del Biobío.....	8
4	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	9
4.1	Cambio climático.....	9
4.2	Características de las precipitaciones.....	10
4.3	Estimación geoestadística.....	11
4.3.1	Teoría de la variable regionalizada.....	12
4.3.2	Función aleatoria.....	13
4.3.3	Covarianza espacial.....	13
4.3.4	Estacionariedad.....	14
4.3.5	Función de covarianza.....	15
4.4	Variograma y semivariograma.....	17
4.4.1	Modelos teóricos del variograma.....	19
4.4.2	Descripción de modelos teóricos de variograma.....	21
4.4.3	Características del variograma y semivariograma.....	23
4.5	Estimación local o predicción: Kriging.....	26
4.6	Teoría del Kriging ordinario.....	28
4.6.1	Varianza Kriging.....	31
4.6.2	Ecuación Kriging.....	32
4.6.3	Pesos.....	33
4.7	Aplicación de geoestadística.....	34
4.8	Estudios realizados en torno a Geoestadística.....	36
5	METODOLOGÍA.....	38
5.1	ETAPAS METODOLÓGICAS.....	38
5.1.1	Revisión bibliográfica.....	38
5.1.2	Recopilación de la información.....	38

5.1.3	Construcción del variograma empírico y ajuste al modelo	40
5.1.4	Selección del método geoestadístico utilizado	41
5.1.5	Determinación de estaciones pluviográficas a interpolar.	41
5.1.6	Evaluación de la efectividad de Kriging Ordinario	42
5.1.7	Presentación de resultados	50
5.1.8	Análisis de resultados	50
5.1.9	Conclusiones y recomendaciones	50
5.2	Materiales	51
6	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	52
6.1	Estaciones a estimar	52
6.2	Variograma Empírico y modelo global.....	53
6.3	Estimación por medio de Kriging Ordinario	61
6.3.1	Contraste de valores promedio de precipitación estimada y observada	66
6.4	Análisis de la efectividad de la interpolación a través de Kriging Ordinario.....	69
6.4.1	Validación Cruzada LOOCV	69
6.4.1	Varianza Kriging	72
6.5	Análisis de datos estimados en relación a datos observados de precipitación.....	78
7	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	89
7.1	Estaciones disponibles	89
7.2	Análisis de variogramas.....	90
7.3	Estimación a través de Kriging Ordinario	93
7.3.1	Análisis del Modelo Kriging	93
7.3.1	Análisis del comportamiento de varianzas Kriging.....	94
7.4	Comparación de las precipitaciones estimadas en función de los valores reales.....	97
7.5	Análisis de predicción por estaciones pluviográficas	100
7.6	Análisis estadístico.....	101
7.6.1	Coefficiente de determinación	101
7.6.1	Coefficiente de Correlación.....	103
7.6.2	Error estándar de estimación.....	106
7.6.3	Coefficiente de variación de las precipitaciones	111
7.6.1	Efecto de la ubicación geográfica del punto a estimar	113

8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
8.1	Conclusiones.....	119
8.2	Recomendaciones.....	122
9	BIBLIOGRAFÍA	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de estaciones pluviográficas con información de precipitación por décadas.	39
Tabla 2: Estaciones Seleccionadas para la estimación Kriging	52
Tabla 3: Parámetros del variograma Exponencial para las duraciones 0.25 y 0.5 horas.	55
Tabla 4: Parámetros del variograma Exponencial para las duraciones 0.75 y 1 hora.	56
Tabla 5: Parámetros del variograma Exponencial para las duraciones 2 y 4 horas	57
Tabla 6: Parámetros del variograma Exponencial para las duraciones 6 y 12 horas	58
Tabla 7: Parámetros del variograma Exponencial para las duraciones 24 horas.	59
Tabla 8: Valores promedio de precipitación observada* y estimada* en mm, a través de Kriging ordinario por duración y estación pluviográfica.....	67
Tabla 9: (Continuación Tabla 8) Valores promedio de precipitación observada* y estimada* a través de Kriging ordinario por duración y estación pluviográfica.	68
Tabla 10: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV, (error medio (ME), error medio absoluto (MAE), raíz del error cuadrático medio (RMSE) y razón cuadrática media de la desviación (MSDR)), para duración 0.25 horas,	70
Tabla 11: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 0.25 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas.	79
Tabla 12: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 0.5 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas	80

Tabla 13: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 0.75 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas	81
Tabla 14: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 1 hora y para las estaciones pluviográficas seleccionadas	82
Tabla 15: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 2 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas	83
Tabla 16: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 4 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas	84
Tabla 17: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 6 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas	85
Tabla 18: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 12 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas	86
Tabla 19: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 24 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas	87
Tabla 20: Densidad promedio de estaciones por Región en km^2	89
Tabla 21: Valores promedio de los parámetros obtenidos del método validación cruzada dejando uno fuera (LOOCV: leave one out cross validation) error medio (ME), error medio absoluto (MAE), raíz del error cuadrático medio (RMSE) y razón cuadrática media de la desviación (MSDR).	93
Tabla 22: Resumen de valores obtenidos en varianza Kriging para cada duración y región.	95

Tabla 23: Valores máximos y mínimos de precipitación observada y estimada para cada duración horaria.....	99
Tabla 24: Estaciones mejor y peor predichas a través de Kriging Ordinario, para cada duración.....	100
Tabla 25: Resumen de los valores obtenidos del Coeficiente de Determinación (R^2) para cada Región y duración.	101
Tabla 26: (Continuación) Resumen del Coeficiente de Determinación para la Región del Biobío	102
Tabla 27: Valores máximo, mínimo, promedio y coeficiente de variación de los valores obtenidos del coeficiente de correlación.....	103
Tabla 28: (Continuación), resumen de parámetro Coeficiente de correlación para las Región del Biobío.....	104
Tabla 29: Valores máximo, mínimo, promedio y coeficiente de variación para el parámetro Error Estándar de Estimación.....	106
Tabla 30: (Continuación), resumen de parámetro Error Estándar de Estimación ara la Región del Biobío	107
Tabla 31: Valores máximo, mínimo, promedio y coeficiente de variación para el parámetro Error Estándar de Estimación, de las intensidades de lluvia en mm/h.	109
Tabla 32: Valores máximo, mínimo y promedio del coeficiente de variación, de las precipitaciones para cada región y duración horaria.....	111
Tabla 33: Valores - p para el análisis de varianza entre regiones, de los valores obtenidos de varianza Kriging.	113
Tabla 34: Medianas de varianza Kriging obtenidas por duración para las regiones Metropolitana, Maule y Biobío.....	114
Tabla 35: Estaciones Borde y Centro para cada Región del área de estudio.	116
Tabla 36: Valor – p y medianas del análisis de varianza para la ubicación geográfica de las estaciones predichas para cada duración.	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio.....	4
Figura 2: Ilustración del proceso de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV	45
Figura 3: Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 0.25 horas (a) y la duración 0.5 horas (b).	55
Figura 4: Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 0.75 horas(c) y la duración 1 hora (d).	56
Figura 5: Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 2 horas (e) y la duración 4 horas (f).	57
Figura 6: Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 6 horas (g) y la duración 12 horas (h).	58
Figura 7: Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 24 horas (i).	59
Figura 8: Estimación Kriging Ordinario para las duraciones, 0.25 (a), 0.5 (b), 0.75 (c) y 1 horas (d).	62
Figura 9: Estimación Kriging Ordinario para las duraciones, 2 (e), 4 (f), 6 (g) y 12 horas (h).	63
Figura 10: Estimación Kriging Ordinario para la duración 24 horas.	64
Figura 11: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 0.25 horas.	72
Figura 12: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 0.5 horas.	73
Figura 13: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 0.75 horas.	73
Figura 14: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 1 hora.	74
Figura 15: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 2 horas.	74

Figura 16: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 4 horas.	75
Figura 17: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 6 horas.	75
Figura 18: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 12 horas.	76
Figura 19: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 24 horas.	76
Figura 20: Variación del parámetro Nugget en función de la duración horaria, perteneciente al variograma exponencial.....	91
Figura 21: Variación del parámetro Sill del variograma Exponencial en función de la duración.....	91
Figura 22: Variación del parámetro Rango del variograma Exponencial en función de la duración	92
Figura 23: Varianza Kriging promedio del total de datos del área de estudio y para cada duración.	96
Figura 24: Contraste entre precipitaciones estimadas y observadas, de la duración 1 hora. Pertenecientes a la estación MOP - DGA, Región Metropolitana (a) y la estación Embalse Ancoa, Región del Maule	98
Figura 25: Valores promedio del coeficiente de correlación obtenidos para cada duración.	105
Figura 26: Valores promedio del error estándar de estimación para cada duración horaria.	108
Figura 27: Valores promedio de error estándar de estimación para cada duración.	110
Figura 28: Valores de coeficiente de variación promedio de todas las estaciones analizadas para cada duración.	112
Figura 29: Medianas de varianza Kriging de las regiones del área de estudio para cada duración en horas.	115
Figura 30: Valores de varianza Kriging promedio según su ubicación sobre la superficie de estudio para cada duración horaria.....	118

1 INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso valioso en el desarrollo del ser humano y parte fundamental para mantener el equilibrio del medioambiente; por esto, las mediciones de las precipitaciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control de este recurso, principalmente debido al predominio de actividades relacionadas con el aprovechamiento de recursos hídricos. Así, las precipitaciones aportan la mayor cantidad de agua a una cuenca, recargando acuíferos y abasteciendo cauces. Por esto, su importancia radica en ser el suministro natural de agua a los ecosistemas.

En este contexto, es de gran importancia capturar, procesar y analizar la distribución espacial del ciclo hidrológico, para comprender el funcionamiento de este fenómeno natural. Estas acciones pueden proporcionar información relevante para analizar el comportamiento de las precipitaciones en lugares sin registro pluviográfico. Para esto, se requiere conocer la aplicación de técnicas que involucran las precipitaciones, su distribución en el espacio y la topografía del área de estudio, así como métodos que integren estas variables.

Una forma de caracterizar las precipitaciones en función de su distribución espacial y topografía es a través de la geoestadística, que describe la correlación de variables aleatorias distribuidas espacialmente. En este sentido se obtiene un modelo que minimiza la varianza del error de estimación, el que determina un valor de precipitación, para una coordenada geográfica exacta dada, en base a la distancia y valores de precipitación observada que se encuentran dentro de la superficie de estudio.

En este marco, para llevar a cabo dicho análisis es necesario contar con datos de precipitación georreferenciados; éstos pueden ser precipitación media anual, duraciones horarias o datos de intensidad,

para generar un variograma, el que describe la relación espacial en función de la distancia entre los puntos conocidos de precipitación. El variograma es la herramienta fundamental en el método Kriging, que entrega los valores de precipitación estimados en función de éste y un peso otorgado por las distancias entre los valores conocidos.

Otro aspecto relevante en este método es la cantidad de datos conocidos, pues si la superficie de estudio es amplia, sería conveniente contar con gran cantidad de datos, en lo posible distribuidos uniformemente sobre el área, para así disminuir el error de estimación para los valores predichos.

Por consiguiente, este estudio pretende analizar el método geoestadístico Kriging, con datos provenientes de estaciones pluviográficas, en diferentes duraciones, con la finalidad de determinar su factibilidad en la predicción de datos de precipitación en zonas sin registros pluviográficos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Proveer información respecto a la interpolación geoestadística en estaciones pluviográficas de la Región Metropolitana, Maule y Biobío.

2.2 Objetivos específicos

- Aplicar y verificar el modelo Kriging Ordinario en comparación con datos observados de precipitación.
- Determinar la factibilidad del uso del método Kriging Ordinario, para la obtención de datos de precipitación en zonas sin registro pluviográfico.

3 ANTECEDENTES GENERALES

El área a estudiar abarca tres regiones de Chile, a saber, la Región Metropolitana, la Región del Maule y la Región del Biobío. En esta zona se cuenta con un total de 46 estaciones pluviográficas, que pertenecen a la Dirección General de Aguas, Dirección Meteorológica de Chile y Endesa.

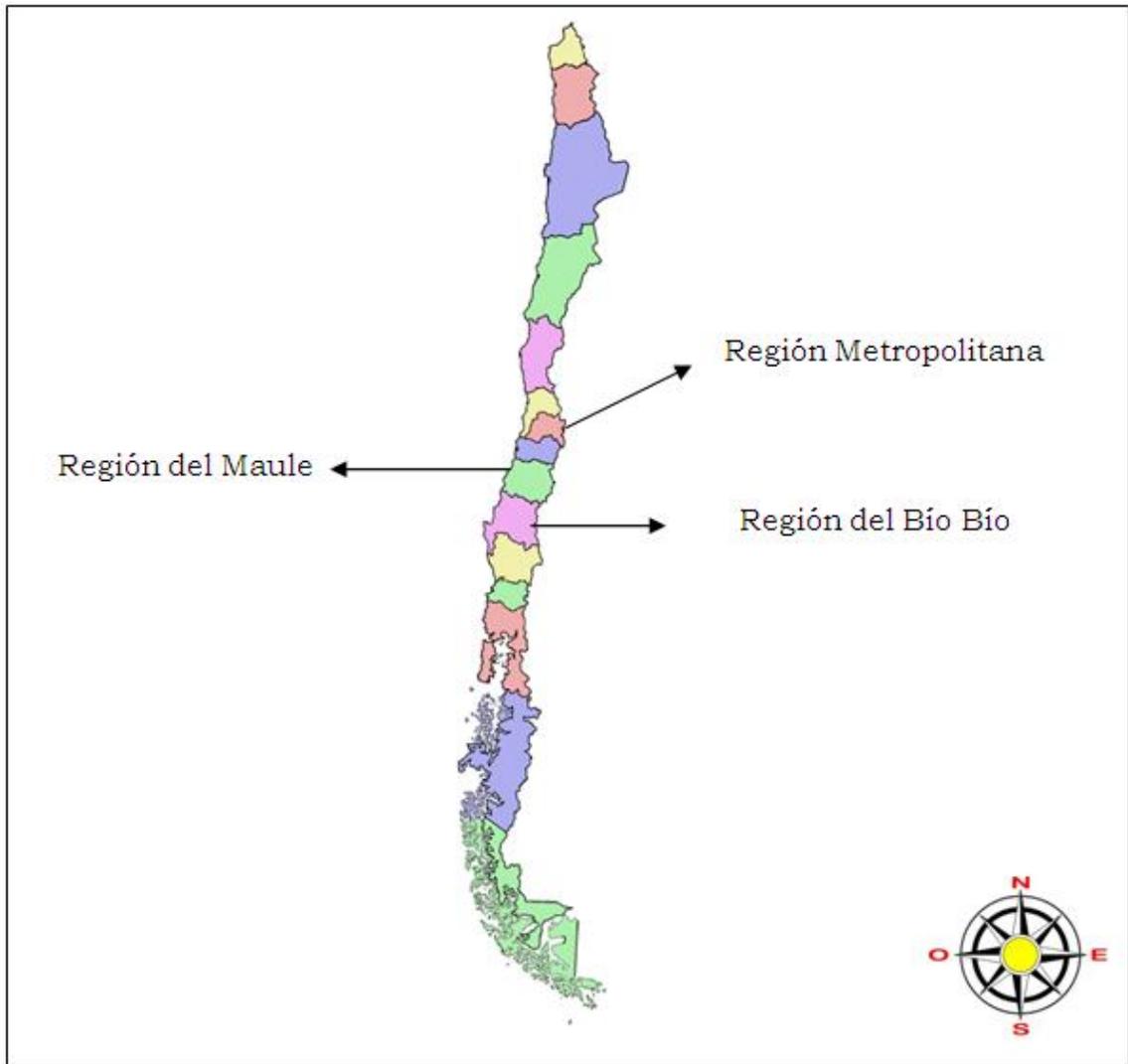


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio.

3.1 Región Metropolitana de Santiago.

Se ubica entre los 32°55' y 34°19' de latitud Sur, y entre los 69°47' y 71°43' longitud Oeste. Limita al Norte y al Oeste con la Región de Valparaíso, al Sur con la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y al Este con la República Argentina. Presenta una superficie de 15,554.51 Km² y tiene la particularidad de ser la única región mediterránea del país.

El relieve se caracteriza por presentar tres unidades principales; la Cordillera de los Andes, que se presenta alta y maciza con alturas que superan los 6000 msnm; la cuenca de Santiago, que se encuentra ocupada por el área urbana de la ciudad; y la Cordillera de la Costa, que es el límite con la Región de Valparaíso.

La hidrología de la zona se constituye principalmente por el Río Maipo, el que presenta tres grandes tributarios; los ríos Volcán, Yeso y Colorado. En la cuenca de Santiago su principal afluente es el Río Mapocho. El río principal presenta dos crecidas anuales; la primera es producto de lluvias torrenciales en invierno y la otra es generada por los deshielos entre Noviembre y Febrero.

El clima que presenta la Región es templado cálido con lluvias invernales con una estación seca de alrededor de 8 meses en el valle y que va disminuyendo a medida que aumenta la altura, llegando a 4 – 5 meses sobre los 2000 msnm.

Respecto a las precipitaciones, éstas decrecen desde la costa a la depresión intermedia y aumentan hacia la cordillera de los Andes, alcanzando promedios anuales de 356.2 mm.

3.2 Región del Maule

Se ubica entre los 34°41' y los 36°33' de latitud sur. Limita al norte con la Región del Libertador General Bernardo O' Higgins, al sur con la Región del Biobío, al Oeste con el océano Pacífico y al Este con el límite Internacional de la República Argentina. Posee una superficie de 30,469.1 km².

La Región presenta cuatro unidades de relieve: la depresión intermedia, que presenta un relieve plano sólo interrumpido por los ríos que lo atraviesan; la Cordillera de la Costa que se presenta baja en esta región, con alturas que no superan los 700 msnm; las planicies litorales que aumentan gradualmente hacia el sur y la Cordillera de los Andes con numerosos volcanes que no superan los 4000 msnm. Hacia el sur de la Región entre la depresión intermedia y la Cordillera de los Andes aparece un relieve precordillerano con alturas que oscilan entre los 400 y los 1000 msnm que es conocido como "La Montaña"

La hidrografía de la Región se divide en dos sistemas: el río Mataquito, de régimen mixto y cuyos afluentes son el río Teno y el Lontué, que posee un caudal medio de 153 m³/s. Desemboca en el mar a la altura del balneario Iloca, ubicado en la comuna de Licantén.

El segundo sistema se estructura en base al río Maule, que constituye la cuarta cuenca más grande del país, con una superficie de 20,300 km². Presenta un caudal medio de 467 m³/s y en la cordillera tiene como afluentes a los ríos Puelche, Cipreses, Claro y Melado. En el valle tiene por tributario al río Loncomilla. El Maule desemboca en el mar, en la ciudad de Constitución.

La Región presenta un clima templado cálido con estación seca, con ciertas variaciones producto de la latitud y altitud.

Las precipitaciones alcanzan un promedio de 700 mm y se encuentran concentradas entre los meses de Mayo y Agosto, tendiendo a aumentar hacia las zonas de mayor altura.

3.3 Región del Biobío.

Se ubica entre los 36°00' y los 38°30' de latitud sur y entre los 71°00' de longitud oeste. Limita al Norte con la Región del Maule, al Sur con la Región de la Araucanía, al este con la República Argentina y al oeste con el Océano Pacífico.

En la Región se pueden distinguir claramente las unidades morfológicas. La cordillera de los Andes, se presenta más baja, con alturas promedio de 2000 msnm. La depresión intermedia se caracteriza por presentar una topografía uniforme, aumentando su ancho hacia al sur; la Cordillera de la Costa se presenta baja y ondulada con alturas promedio de 400 msnm al Norte del río Biobío y con alturas de más de 1500 msnm al Sur de dicho río, constituyendo la Cordillera de Nahuelbuta. Las planicies litorales se presentan homogéneas, aumentando su ancho hacia el sur, llegando hasta los 35 km.

En cuanto a la hidrografía, se encuentran dos ríos principales; el río Biobío y el río Itata, ambos nacidos en la Cordillera de los Andes. El río Itata ubicado al norte de la Región, es de régimen mixto y presenta como afluentes a los ríos Diguillín, Larqui y Ñuble. El río Biobío ubicado hacia el sur de la Región, es de régimen mixto y presenta como afluentes a los ríos Vergara y Laja.

Respecto al clima se pueden distinguir tres subclimas: clima templado cálido con estación seca y lluviosa y templado lluvioso con influencia mediterránea.

Las precipitaciones varían con respecto a la latitud y la longitud y alcanzan un promedio de 1,100 mm anuales.

4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Cambio climático

El cambio climático corresponde a una modificación atribuida directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. (Ley 20.417 Artículo segundo)

Según los informes de evaluación del estado del clima realizados por la IPCC en 2007, el cambio climático que está experimentando el planeta se debe a las altas emisiones de gases de efecto invernadero tales como Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso. Así mismo, se ha comprobado con un 90% de probabilidad de ocurrencia, que la procedencia de estos gases provenga de la actividad humana.

De acuerdo al Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, quienes estudiaron datos pluviográficos y pluviométricos entre los años 1930 y 2000, se pronostica una reducción generalizada de las precipitaciones en todo el territorio nacional, especialmente en la zona centro-sur, con una importante reducción del área andina con capacidad de almacenar nieve y en consecuencia un decremento de la capacidad de regular los caudales durante el año.

4.2 Características de las precipitaciones

La precipitación es el agua que proviene de la humedad atmosférica y que cae a la superficie terrestre, principalmente en estado líquido (lluvia) o sólido (granizo o nieve). (Llamas 1993).

Según lo planteado por Linsley *et al* (1988), se encuentran tres tipos de precipitaciones. Por *convección*, que se producen cuando masas de aire cálido, ascienden en altura y posteriormente se enfrían precipitando por diferencia de temperatura. Son típicamente puntuales, de corta duración y gran intensidad y se producen generalmente en zonas cálidas y húmedas. *Orográficas*, donde masas de aire caliente se encuentran con zonas montañosas, por lo que son obligadas a elevarse para finalmente enfriarse, formando nubes y precipitar en forma líquida. Finalmente, se encuentran las lluvias *frontales*, que son el resultado del choque de dos masas de aire a diferentes temperaturas. La mayor parte del volumen recogido en una cuenca se debe a este tipo de precipitación.

La precipitación según Llamas (1993), es la fuente primaria de energía en la superficie terrestre, por lo que sus mediciones son claves para los estudios que evalúan el uso y control del agua. Así mismo, Aparicio (2003) plantea que los aparatos más usados para medir precipitaciones son los pluviógrafos y pluviómetros.

Una estación pluviométrica, según Pizarro *et al* (1988), cuenta con un pluviómetro, el que permite un registro diario de las precipitaciones, además de conocer la intensidad en 24 horas. Por otra parte, la estación pluviográfica consta además de un pluviómetro, de un pluviógrafo, los que son idóneos para determinar precipitaciones de corta duración y alta intensidad, ya que permiten un registro continuo de las precipitaciones y de la intensidad de la misma.

Con respecto a las estaciones pluviométricas, sólo se podrá conocer la intensidad media en 24 horas, por lo que esta información puede provocar grandes errores por defecto en cuanto a las lluvias de corta duración las que son en general más intensas. Entonces es recomendable utilizar los datos proporcionados por las estaciones pluviográficas para determinar las intensidades de lluvia. (Aros, 1997).

4.3 Estimación geoestadística

La geoestadística según Prudhomme *et al.* (1999) se refiere a procesos estadísticos que describen la correlación de variables aleatorias espacialmente distribuidas, cuyo fin es realizar interpolaciones y estimaciones de dichas variables.

Journel y Huijbregts (1978), definen la geoestadística como una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales, con el fin de proveer una herramienta que permita describir la continuidad espacial.

La geoestadística puede tener dos enfoques de estudio: *la modelación espacial*, donde cualquier disciplina que trabaja con datos reunidos en diferentes locaciones espaciales, necesita desarrollar modelos que indiquen que hay relación entre las medias de los diferentes sitios. A su vez, cuando el objetivo es la *predicción de datos espaciales*, el estudio se enfoca primero en el análisis estructural, donde se describe la correlación entre los puntos en el espacio. Luego, se hacen predicciones en sitios de la región donde no hay información por medio de la técnica llamada Kriging. Este es un proceso que calcula los promedios ponderados de las observaciones muestrales, asignándoles un peso según la estructura espacial de correlación y por la configuración del muestreo.

Por otra parte, Subyani (2004) indica que la geoestadística fue desarrollada para el estudio estadístico de fenómenos naturales, los cuales poseen propiedades de variación espacial con una aparente continuidad en estructura. La primera etapa involucra el análisis de la estructura espacial de la variable en base a datos históricos a través de una muestra de variograma. Luego, se ajusta un modelo funcional de variograma el que contiene información que puede ser usada, por medio de la interpolación, para estimar las características de zonas sin registro y para interpretar el comportamiento regional del fenómeno natural estudiado. Este método de interpolación es conocido como la técnica Kriging.

4.3.1 Teoría de la variable regionalizada

Según Webster y Oliver (2007), se entiende por variable regionalizada a una variable medida en el espacio de forma que presente una estructura de correlación. Dicha variable no presenta sólo un valor en cada punto del espacio, sino un conjunto de valores, por lo tanto el valor obtenido es extraído al azar de acuerdo a alguna distribución de probabilidad. Esto significa que en cada punto del espacio hay una variación. Por lo anterior, cada punto x tiene una propiedad $Z(x)$, que corresponde a una variable aleatoria con media μ , varianza σ^2 , los momentos de orden superior y la función de distribución acumulada. Para variables continuas espacialmente, como es por ejemplo el pH del suelo, el valor $Z(x)$ de la variable aleatoria, puede tomar un número infinito de valores, con una función de distribución acumulada, que corresponde a la probabilidad que Z tome cualquier valor menor o igual a Z_c .

$$F\{Z(\mathbf{x}; z)\} = Prob[Z(x) \leq z_c] \quad (1)$$

Donde $F\{Z(x; z)\}$, corresponde a la función de distribución acumulada de la variable aleatoria $Z(x)$ y z_c cualquier valor particular observado de dicha variable.

4.3.2 Función aleatoria

La descripción anterior para un punto individual x se aplica a los infinitos puntos en el espacio. Por lo tanto un conjunto de variables aleatorias $Z(x_1), \dots, Z(x_n)$ puede constituir una función aleatoria, procesos aleatorios o un proceso estocástico. El grupo de actuales valores de Z , que corresponde a una variable aleatoria, comprende la realización de la función aleatoria que se conoce como *variable regionalizada* la que se considera como una región compuesta por una población de unidades, por lo que se puede asumir que una función aleatoria $Z(x)$ es una superpoblación, con un número infinito de unidades en el espacio e infinitos valores Z para cada punto en el espacio, (Webster y Oliver, 2007).

4.3.3 Covarianza espacial

Según Montgomery y Runger (1996), la covarianza es una medida de dispersión usada para determinar la relación entre dos variables para observaciones pareadas. Esta definición puede extenderse para relacionar dos variables aleatorias.

En un medio espacial, z_1 y z_2 son variables aleatorias, las que son convertidas a $Z(x_1)$ y $Z(x_2)$ que corresponden a funciones aleatorias, lo que indica que corresponden a conjuntos con la misma

propiedad Z en dos lugares x_1 y x_2 . La notación Z indica que corresponden a variables aleatorias y su covarianza es:

$$C(x_1, x_2) = E[\{Z(x_1) - \mu(x_1)\} \{Z(x_2) - \mu(x_2)\}], \quad (2)$$

Donde $\mu(x_1)$ y $\mu(x_2)$ son los promedios de Z en x_1 y x_2 . Sin embargo, su solución no está disponible, debido a que se tiene solo un valor para cada punto, por lo tanto no es posible conocer los valores medios. Debido a esto, para tratar los valores en diferentes lugares, se debe recurrir al supuesto de estacionariedad, (Webster y Oliver, 2007).

4.3.4 Estacionariedad

Por estacionariedad se entiende que la distribución del proceso aleatorio tiene ciertos atributos que son iguales en todas las locaciones. A partir de lo anterior se supone que la media $\mu = E[Z(x)]$, sobre la cual los valores fluctúan, es constante para todo x . Esto permite reemplazar $\mu(x_1)$ y $\mu(x_2)$ por el valor μ el cual puede ser estimado mediante un muestreo repetitivo (Webster y Oliver 2007).

Cuando se presenta el caso donde x_1 y x_2 coinciden, la varianza y la media por defecto sería la misma en todas partes. Por el contrario si x_1 y x_2 no coinciden, su covarianza depende de la separación de las observaciones (Webster y Oliver 2007).

La hipótesis de estacionariedad puede definirse en dos términos. El primero, *estacionariedad de segundo orden*, donde el valor esperado de la variable aleatoria es finito y constante para todo el punto de dominio; además, la covarianza es función única de la distancia h . En segundo lugar, si se presenta una *estacionariedad débil o intrínseca*,

indica que la varianza definida no es finita, por lo que se asume que los incrementos $[Z(x + h) - Z(x)]$ son estacionarios y se define la varianza de éste como función única de la distancia h , (Webster y Oliver, 2007).

4.3.5 Función de covarianza

Si se reescribe la ecuación 2, se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} cov[Z(x), Z(x, h)] &= E[\{Z(x) - \mu\} \{Z(x + h) - \mu\}] \\ &= E[\{Z(x)\} \{Z(x + h)\} - \mu^2] \\ &= C(h) \end{aligned} \tag{3}$$

Donde $cov[Z(x), Z(x, h)]$, indica la covarianza de dos variables aleatorias separadas a una distancia h y μ corresponde a la media, la que por el supuesto de estacionariedad, se asume que es constante para todo x (Webster y Oliver, 2007).

De acuerdo a lo anterior, la covarianza es una función de la distancia h y esta distancia corresponde a la función de autocovarianza, puesto que representa la covarianza de Z con sí mismo. Esta función describe la dependencia entre los valores $Z(x)$ de distancia. Si $Z(x)$ tiene una distribución normal multivariante para todas las posiciones, entonces la media y la función de covarianza caracterizarán completamente el proceso, debido a que los momentos de orden superior son constantes (Webster y Oliver, 2007).

Por otra parte si se presenta estacionariedad débil, indica que la media varía a través de la región y la varianza tiende a incrementarse sin límite a medida que el área de interés aumenta. Debido a esto la

covarianza no puede ser definida, ya que no se puede insertar un valor de μ en la fórmula (Clark, 1979).

Respecto a esto Matheron (1965), señala que la media μ puede no ser constante; esto sería así para pequeñas distancias $|h|$ de modo que las diferencias esperadas serían 0. Adicionalmente se reemplazan las covarianzas por las varianzas de los diferentes registros de la relación espacial, los que al igual que las covarianzas, dependen de la distancia, pero no respecto a la posición absoluta, lo que conduce a:

$$\begin{aligned} \text{var}[Z(x) - Z(x + h)] &= E[\{Z(x) - Z(x + h)\}^2] \\ &= 2\gamma(h) \end{aligned} \tag{4}$$

Donde $E[\{Z(x) - Z(x + h)\}^2]$ representa la esperanza que los valores de la variable aleatoria correspondan a la varianza; mientras que $\text{var}[Z(x) - Z(x + h)]$ es la varianza de dos variables aleatorias, separadas a una distancia h y $2\gamma(h)$ corresponde a la varianza a una distancia h (Webster y Oliver, 2007).

Esta teoría indica que la varianza está definida como una función única de la distancia h . Por otra parte el valor $\gamma(h)$ es conocido como la semivarianza a una distancia h pero a su vez corresponde a la varianza por observaciones, cuando los puntos son considerados pares. Lo anterior es lo que se conoce como una función de h y es el semivariograma o variograma (Webster y Oliver, 2007).

4.4 Variograma y semivariograma

El semivariograma está determinado por la presunción de que la varianza de las distancias de la variable regionalizada es finita y representa mediante una gráfica la semivarianza en función de la distancia. Por tanto, utilizando la definición teórica de la varianza en términos del valor esperado de una variable aleatoria, se tiene que:

$$\gamma(h) = E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} \quad (5)$$

La expresión $Z(x)$ indica que el valor de la variable en un sitio x , $Z(x+h)$, es otro valor muestral separado del anterior a una distancia h , (Wackernagel, 1995).

A su vez, Wackernagel (1995) señala que la expresión $\gamma(h)$ es conocida como la función de semivarianza, la que caracteriza las propiedades de dependencia espacial del proceso. Esta función es calculada para varias distancias, por lo tanto, el semivariograma experimental corresponde a una distancia promedio de parejas.

Subyani (2005) señala que el variograma o semivariograma es una gráfica o fórmula que describe la diferencia de la esperanza al cuadrado entre pares de valores de una muestra con una coordenada. Su fórmula es:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (6)$$

Donde N corresponde al número de pares con una distancia h y la expresión $\hat{\gamma}(h)$ es la diferencia cuadrática de los pares de puntos. Un gráfico de $\hat{\gamma}(h)$ versus h es denominado como un variograma experimental.

Por otra parte, Webster y Oliver (2007) señalan que el gráfico del variograma corresponde a una región especular de la función de covarianza, sobre una línea o un plano paralelo al eje de abscisas.

Para interpretar el semivariograma experimental, se considera que a menor distancia entre sitios, se encuentra mayor correlación espacial entre las observaciones (Wackernagel, 1995).

Cuando se calcula un variograma experimental o empírico, se obtiene un conjunto ordenado de valores, a distancias específicas; en éste se resumen las relaciones espaciales de los datos. Sin embargo, se necesita un variograma que describa la región. Así, cada semivarianza calculada para una distancia particular, es sólo una estimación de la semivarianza media de dicha distancia, por lo tanto existe un error.

Este error surge en gran medida debido a la fluctuación del muestreo, lo que puede dar al variograma experimental un aspecto errático. Esto se debe a que la fluctuación del variograma es mayor cuando los datos están más separados y hay pocos.

El variograma experimental que representa la relación espacial en una región es continuo; sin embargo, éste representa la variación espacial de las coordenadas conocidas. Por esto es necesario encontrar un modelo de variograma que represente la variación espacial de las locaciones intermedias entre puntos conocidos. Teóricamente este modelo de variograma debería ajustarse lo máximo posible al variograma experimental; sin embargo, debido a que no se sabe con certeza el grado de error producto del muestreo y el error estructural, se ignora la variación punto a punto y la estimación se centra en las variaciones globales (Webster y Oliver, 2007).

Otro aspecto importante para ajustar un modelo de variograma a una función continua, es describir la variación espacial de modo que sea posible estimar o predecir valores en lugares donde no existe registro. Esto requiere valores de semivarianza a distancias no

muestreadas, para las cuales no existen comparaciones directas para verificar su eficacia. Por lo tanto, la función de variograma debe ser matemáticamente definida para toda distancia h real (Samper y Carrera, 1990).

4.4.1 Modelos teóricos del variograma

Debido a que el variograma experimental es calculado para algunas distancias promedio particulares, es necesario el ajuste de modelos que generalicen lo observado en el semivariograma experimental a cualquier distancia.

Los modelos teóricos de variograma pueden clasificarse en no acotados (lineal, logarítmico y potencial), los que no se hacen constantes a una determinada distancia; y acotados (esférico, exponencial y gaussiano), donde hay presencia de un rango y de la meseta, en inglés Sill. Ambas clasificaciones anteriormente mencionadas tienen en común tres parámetros, (Warrick *et al.*, 1986), a saber C_0 , C_1 y a .

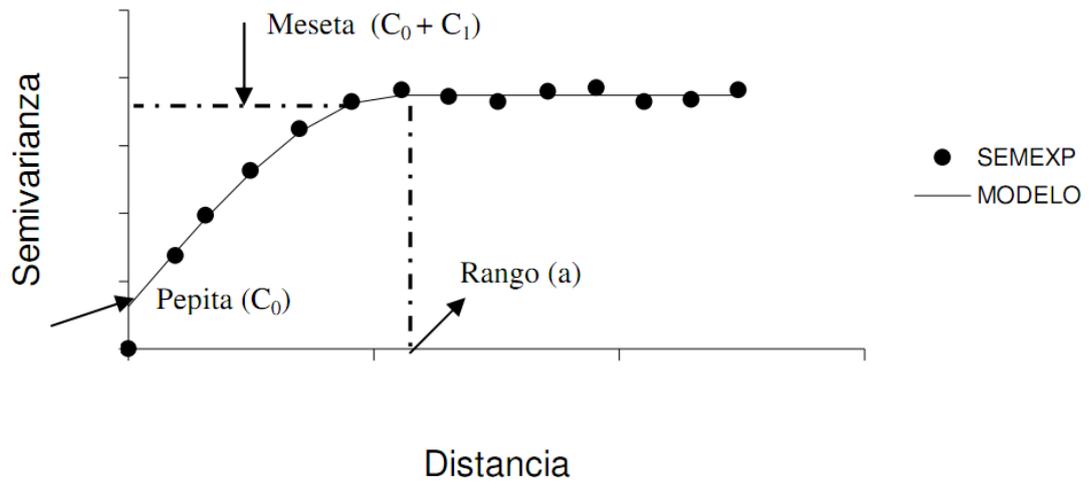


Figura 1: Parámetros básicos del semivariograma. SEMEXP corresponde al semivariograma experimental y MODELO al ajuste del modelo ajustado.

- **Efecto Nugget o pepita**

Denotado por C_0 representa una discontinuidad en el origen o en el eje vertical. Esta discontinuidad puede ser causada por errores muestrales o bien, por la presencia de variaciones espaciales menores a una escala mínima de muestreo; esto indica que por debajo del nugget no se encuentra relación espacial y por lo tanto no se puede predecir (Prudhomme *et al.*, 1999)

- **Rango**

Es denominado por la letra a ; sin embargo, la expresión cambia de acuerdo a los diferentes modelos. Este parámetro corresponde al valor que toma la distancia h cuando la función del variograma comienza a ser constante. En otras palabras, es la distancia a partir de la cual las observaciones dejan de estar relacionadas y son independientes, por lo que no existe correlación espacial.

Entre más pequeño sea el rango, más pequeña es la distancia en la cual existe una relación espacial (Prudhomme *et al.*, 1999).

- **Sill o meseta**

Está constituida por $C_0 + C_1$, es decir cuando el nugget es diferente de 0 y es la cota superior del semivariograma. A su vez puede definirse como el límite del semivariograma, cuando la distancia h tiende a mantenerse constante (Prudhomme *et al.*, 1999).

4.4.2 Descripción de modelos teóricos de variograma

- **Modelo esférico**

Tiene un crecimiento rápido cercano al origen y luego comienza a hacerse constante en un punto aproximado de h , donde ya no se encuentran incrementos. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left\{ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right\} & h \leq a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases} \quad (7)$$

Donde $C_0 + C_1$ representa el sill, h la distancia y a el rango (Verworn *et al.*, 2011).

- **Modelo exponencial**

Posee un incremento rápido hasta llegar al sill; a partir de ese punto el comportamiento comienza a hacerse constante. Su fórmula es expresada por:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{h}{r}\right) \right\} \quad (8)$$

Donde $C_0 + C_1$ corresponde al sill y r es un parámetro de distancia que define la extensión espacial del modelo en función al rango efectivo a . La función es aproximada asintóticamente a su borde inferior, por lo que no tiene un rango finito. Por esto es conveniente asignarle un alcance efectivo donde γ equivale al 95% del sill, aproximadamente $3r$ lo que es llamado rango efectivo (Ming *et al.*, 2009).

- **Modelo gaussiano**

En este modelo la dependencia espacial se desvanece en una distancia que tiende a infinito. Cuenta con una forma parabólica cerca del origen.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{h^2}{r^2}\right) \right\} \quad (9)$$

Donde $C_0 + C_1$ es el sill y r el parámetro de distancia. Al igual que el modelo exponencial, la función se aproxima asintóticamente al borde inferior y tiene un rango efectivo de aproximadamente $\sqrt{3}r$ donde llega al 95% del sill (Wackernagel, 2003).

A continuación se presenta una comparación entre los modelos acotados.

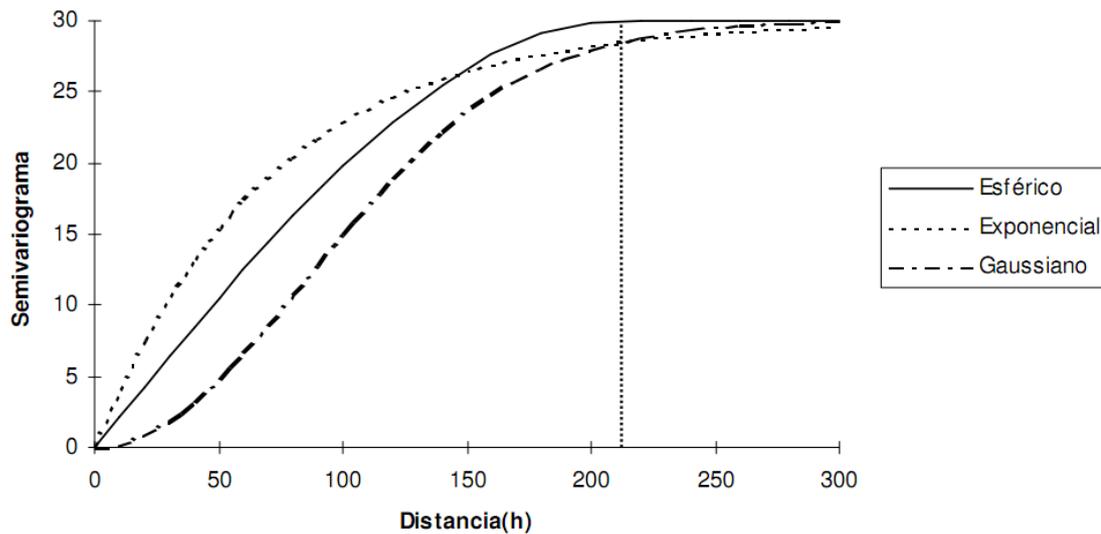


Figura 2: Comparación entre los modelos Exponencial, Esférico y Gaussiano.

4.4.3 Características del variograma y semivariograma

El variograma, así como la covarianza tienen características que hacen posible describir la relación espacial existente entre la variable de estudio. Según Webster y Oliver (2007), las características más relevantes son las siguientes:

- *Autocorrelación:*

Define la propiedad de un conjunto de datos espaciales que muestran un patrón de organización. La función de correlación varía entre 1 y -1. El valor a una distancia 0 es 1.

- *Simetría:*
Tanto el variograma como la autocovarianza son simétricas en el espacio. Esto indica que sólo se deben considerar las distancias positivas, como es el caso del gráfico del semivariograma, que muestra sólo la mitad derecha de la función.
- *Continuidad*
Las variables ambientales, en su mayoría son continuas. Por esto los procesos estocásticos que las representan, como la función de covarianza y de variograma a una distancia continua h . Entonces, es posible determinar que $\gamma(h)$ (variograma) y $C(h)$ (covarianza) con continuos a una distancia $h = 0$, lo que indica que serán continuas en todas las distancias.
- *Monotonía creciente*
Esto indica que a medida que aumenta la varianza, también lo hace la distancia. Visto desde la correlación, ésta aumenta a medida que la distancia disminuye, lo que se conoce como autocorrelación o dependencia espacial.
- *Variograma ilimitado:*
El variograma aumenta indefinidamente, con la distancia creciente, por lo tanto el proceso puede ser intrínseco. Esto indica que la esperanza de la función aleatoria no depende de su localización. Sin embargo, en este caso no hay presencia de covarianza.
- *Hole effect:*
En algunos casos el variograma disminuye desde su máximo a un mínimo local y luego aumenta nuevamente. Este máximo equivale a un mínimo en la función de covarianza. Un variograma que

continúa fluctuando en una forma ondulada con distancia creciente, indica una mayor regularidad.

- *Anisotropía*

La variación espacial no necesariamente sigue el mismo patrón en todas direcciones. Si el proceso es anisotrópico (hay más correlación en una dirección que en otra), quiere decir que el variograma también lo es. La anisotropía puede tomar diferentes formas. Si el variograma presenta un sill, entonces la variación es generada por la anisotropía y dicha variación dará lugar a un intervalo o alcance efectivo. Si la variación producida por el cambio de dirección en el variograma, puede ser eliminada por un cambio en las coordenadas, entonces se presenta una anisotropía geométrica.

Por otra parte, una región puede contener diferentes zonas con distintos promedios, en este caso se presenta anisotropía zonal, debido a que el sill varía en función de la fluctuación de la varianza.

- *Tendencia*

En algunos casos, el variograma experimental se acerca al origen con curvas suaves decrecientes: las curvas tienen formas cóncavas hacia arriba y esta forma puede provenir de la tendencia local, es decir, se suceden cambios suaves en la estructura subyacente. En otros casos, las estimaciones experimentales aumentan abruptamente hasta alcanzar el sill o umbral; esto puede ser un signo de una tendencia a largo alcance. En ambos casos el valor esperado $E[Z(x)]$ no es constante, incluso en pequeñas zonas cercanas.

4.5 Estimación local o predicción: Kriging

Kriging según Webster y Oliver (2007), es una herramienta que proporciona una solución al problema de estimación o interpolación, basado en un modelo continuo de variación espacial estocástica, tomando en cuenta la variación espacial a través del variograma. El término es genérico y abarca varios tipos de Kriging, los que se clasifican en lineales y no lineales. En los primeros, las estimaciones son obtenidas por combinaciones lineales de los datos. Por otra parte los Kriging no lineales, son más complejos debido a que están asociados a las distribuciones estadísticas de las variables que se desean estudiar.

Según Zoubeida (2008), la primera aproximación Kriging en el área hidrológica fue realizada con el objetivo de determinar las mejores ubicaciones para la implementación de nuevas estaciones de observación de precipitación. El criterio usado para determinar dichas estaciones, fue la varianza Kriging, la que mide el error de predicción y el sesgo, y se basa en el modelo del variograma que representa la variabilidad espacial de la precipitación.

A continuación se presentan los tipos de Kriging lineales, que abarcan un rango del método de mínimos cuadrados para la predicción espacial.

- *Kriging simple:*

Es poco utilizado en su forma actual, ya que generalmente el promedio de la variable no es conocido. Este tipo de Kriging es usado como indicador donde los datos son transformados para tener promedios conocidos. Para este caso es necesario tener alguna noción de la variación espacial (Weckernagel, 2003).

- *Kriging Lognormal:*
Es el Kriging Ordinario de los logaritmos de los datos medidos. Se utiliza para datos con un sesgo positivo que se aproximan a una distribución lognormal (Webster y Oliver, 2007).
- *Kriging Universal:*
Reconoce componentes aleatorios y no estacionarios determinísticos en una variable aleatoria. Estima el variograma del primero, la tendencia del segundo y se recombinan ambos para la estimación. Esto permite integrar la máxima probabilidad residual en el proceso (Kastelec *et al.*, 2002).
- *Kriging Factorial:*
Estima los componentes individuales de variación por separado pero en un solo análisis. En este tipo de Kriging hay presente más de una escala, por lo que es de valor particular (Webster y Oliver, 2007).
- *Cokriging Ordinario:*
Es la extensión de Kriging Ordinario (de una variable) a dos o más variables. Debe existir una correogionalización entre las variables para que este método pueda ser usado. Este tipo de Kriging permite estimar la variable deseada con menos datos base y a su vez entrega una mayor precisión (Webster y Oliver, 2007).
- *Indicador Kriging:*
Es un tipo de Kriging no lineal y no paramétrico, donde variables continuas son convertidas en variables binarias (indicadores). Con este método es posible trabajar con cualquier tipo de distribución acumulativa y así entrega límites confiables de dichas distribuciones (Goovaerts, 1997).

- *Kriging disyuntivo:*
Es un método no lineal, pero estrictamente paramétrico. Es de utilidad para la toma de decisiones, ya que se determina la probabilidad de no exceder cierto sill o umbral, además de las estimaciones propias de Kriging (Rivoirard, 1994).
- *Probabilidad Kriging:*
Este método fue propuesto debido a que Kriging no toma en cuenta la proximidad de un valor al sill, sino sólo su ubicación en el espacio, por lo tanto se utiliza un orden de rangos para cada valor $z(x)$ normalizados a 1, como una segunda variable para estimar el indicador a través de Cokriging (Webster y Oliver, 2007).
- *Kriging Bayesiano:*
Se aplica en situaciones donde existe algún conocimiento previo de la variación espacial. Es intermedio entre Kriging simple y Kriging universal, ya que extrae propiedades de ambos, dado que utiliza las ecuaciones del Kriging Ordinario, pero con una covarianza no estacionaria (Omre, 1987).

4.6 Teoría del Kriging ordinario

El objetivo de Kriging es estimar el valor de una variable aleatoria Z , en uno o más puntos donde no se realizaron mediciones. Específicamente Kriging ordinario parte del supuesto de que la varianza no es conocida (Mair *et al.*, 2011; Webster y Oliver, 2007).

Según lo señalado por Mair *et al.* (2011), Kriging Ordinario permite dar cuenta de la variación local, limitado por el dominio de la estacionariedad de la media presente en la zona de estudio.

Suponiendo que se realizan mediciones de la variable Z en los puntos $x_i = 1, 2, \dots, n$ en el área de estudio, es decir se tienen realizaciones de la función aleatoria $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$, donde se desea predecir $Z(x_0)$ en el punto x_0 donde no existe registro y si en primer lugar se considera la estimación puntual, se estimará Z en el punto x_0 con $\hat{Z}(x_0)$ que resulta con el apoyo de los datos muestreados y cuya expresión es:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (10)$$

Donde λ_i representa los pesos o ponderaciones de los valores originales. Los pesos se calculan en función a la distancia entre los puntos muestreados y la ubicación donde se hará la predicción. La suma de dichos pesos debe ser igual a 1, (Webster y Oliver, 2007)

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (11)$$

Esto es necesario para determinar la presencia de insesgamiento, donde la esperanza del predictor es igual a la esperanza de la variable aleatoria $E[\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)] = 0$. En base a esto, la estimación de la varianza sería,

$$\begin{aligned} var[\hat{Z}(x_0)] &= E \left[\{\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)\}^2 \right] \\ var[\hat{Z}(x_0)] &= 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_i, x_0) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j), \end{aligned} \quad (12)$$

Donde $\gamma(x_i, x_j)$ corresponde a la semivarianza de Z entre los puntos conocidos x_i e x_j , mientras que $\gamma(x_i, x_0)$ es la semivarianza entre el punto x_i y el punto que se desea estimar (Webster y Oliver, 2007).

En un caso más general se puede desear estimar Z en un bloque, el que puede ser una línea, un área o un volumen dependiendo de cuantas dimensiones espaciales se tenga. La estimación Kriging para el bloque B es también un promedio ponderado simple de los datos.

$$\hat{Z}(B) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

Donde B corresponde al bloque, línea o área que se desea estimar. En base a lo anterior la varianza sería la siguiente:

$$\begin{aligned} var[\hat{Z}(B)] &= E \left[\{\hat{Z}(B) - Z(B)\}^2 \right] \\ &= 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, B) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \bar{\gamma}(x_i, x_j) - \bar{\gamma}(B, B) \end{aligned} \quad (13)$$

Donde λ corresponde a los pesos de los valores originales, $\bar{\gamma}(x_i, B)$ es el promedio de las semivarianzas entre los puntos muestreados y el bloque B , mientras que $\bar{\gamma}(B, B)$ es la semivarianza dentro del bloque (Webster y Oliver, 2007).

4.6.1 Varianza Kriging

Para cada estimación de Kriging, se determina una varianza asociada a dicho Kriging; esta varianza puede denotarse por $\sigma^2(x_0)$ para un valor puntual o $\sigma^2(B_0)$ para un bloque, (Webster y Oliver, 2007).

El siguiente paso en Kriging es encontrar los pesos que minimicen las varianzas antes mencionadas, con la restricción que los pesos sumen 1; esto se lleva a cabo con multiplicadores de Lagrange (Azimi-Zonooz *et al.*, 1989).

En primer lugar se define una función auxiliar $f(\lambda_i, \psi)$, que incluye la varianza que se desea minimizar, más un término del multiplicador de Lagrange. Para la estimación de un valor puntual se tiene que:

$$T(\lambda_i, \psi) = \text{var}[\hat{Z}(x_0) - z(x_0)] - 2\psi \left\{ \sum_{i=1}^N \lambda_i - 1 \right\} \quad (14)$$

Luego se establecen las derivadas parciales de la función con respecto a los pesos que tiendan a 0.

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(\lambda_i, \psi)}{\partial \lambda_i} &= 0 \\ \frac{\partial f(\lambda_i, \psi)}{\partial \psi} &= 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Para $i = 1, 2, \dots, N$ esto conduce a un conjunto de $N + 1$ ecuaciones con $N + 1$ incógnitas.

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_i, x_j) + \psi(x_0) = \gamma(x_j, x_0)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (16)$$

Lo anterior corresponde al sistema de Kriging Ordinario y su solución proporciona los pesos λ_i , los que son introducidos en la ecuación 10 y de la cual la estimación de la varianza puede obtenerse como:

$$\sigma^2(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_i, x_0) + \psi(x_0) \quad (17)$$

Si el punto a estimar x_0 , pasa a ser uno de los puntos de datos x_j , entonces $\sigma^2(x_0)$ es minimizado cuando $\lambda(x_j) = 1$ y todos los otros pesos son 0. Por tanto si $\sigma^2(x_0) = 0$ y mediante la intersección de los pesos en la ecuación general de Kriging, se obtiene un valor registrado $z(x_j)$, como un estimado de $z(x_0)$, por lo tanto el Kriging puntual es un interpolador exacto (Webster y Oliver, 2007).

4.6.2 Ecuación Kriging

La ecuación Kriging puede ser representada a través de una matriz. Así, para la interpolación de un valor se tiene que:

$$A\lambda = b \quad (18)$$

Donde:

$$A = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_1) & \cdots & \gamma(x_1, x_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma(x_N, x_1) & \cdots & \gamma(x_N, x_N) \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ \psi(z_0) \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_N, x_0) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Luego, la matriz A es invertida y entonces los pesos de los datos y el multiplicador de Lagrange son obtenidos dada la siguiente fórmula:

$$\lambda = A^{-1}b \quad (19)$$

Por otra parte, la varianza Kriging en base a matrices, está dada por:

$$\sigma^2(x_0) = B^T \lambda \quad (20)$$

4.6.3 Pesos

Cuando las ecuaciones Kriging son resueltas para obtener los pesos λ_i , generalmente los pesos con mayor valor, son aquellos que están más cerca del punto o bloque que se desea predecir. Los cuatro o cinco puntos más cercanos a x_0 pueden contribuir hasta en un 80% del peso total y la decena más cercana con el porcentaje restante. Los pesos también dependen de la configuración de la muestra con la que se cuenta para la estimación. Según Webster y Oliver (2007), los factores que influyen en los pesos son los siguientes:

- i. Los puntos cercanos tienen más peso que los distantes al bloque o punto que se desea predecir. Sus proporciones relativas dependen de las posiciones de los puntos de muestreo y en el variograma, cuando mayor es la varianza nugget, menores son los pesos que están más cerca del objetivo de predicción.
- ii. Los pesos relativos de los puntos también dependerán del tamaño del bloque: a medida que aumenta el tamaño del bloque, los

pesos de los puntos más cercanos disminuyen, mientras que los más lejanos tienen un peso mayor.

- iii. Los puntos agrupados tienen menos peso en contraste con el correspondiente a un punto aislado a una misma distancia.

Los efectos mencionados son deseables y el primero (i), indica que este tipo de Kriging es local. A su vez también tienen implicaciones prácticas; la más importante, es que los datos más cercanos a la ubicación donde se desea predecir son los que presentan un peso más significativo. Por lo tanto no es necesario que la matriz A sea grande, para que su predicción sea aceptable.

4.7 Aplicación de geoestadística

La geoestadística tiene su base en la estimación de reservas minerales, específicamente, en fenómenos naturales que presentan un comportamiento aleatorio a escala local, pero a la vez estructural a gran escala.

Según Webster y Oliver (2007), los cambios ocurridos en el medioambiente pueden ser evidentes de observar en grandes superficies por medio de imágenes satelitales, pero existen otras modificaciones que son más sutiles, y propiedades importantes de estudiar como la composición química, la temperatura y las precipitaciones deben ser estudiadas sólo a través de la medición y análisis de pequeñas muestras, por lo que es importante obtener una aproximación global de estos fenómenos a gran escala.

En este marco, existe un gran número de artículos que estudian la distribución espacial y temporal de las precipitaciones medias anuales,

así como también analizan interpolaciones de intensidades máximas de precipitación.

Subyani (2004), aplicó métodos geoestadísticos para determinar el comportamiento espacial y la variabilidad temporal de precipitaciones en Arabia Saudita, que presenta un clima seco, pero con la ocurrencia de eventos lluviosos que se generan por influencia de la topografía.

Por su parte, Soenario *et al* (2010) analizaron métodos de interpolación de precipitaciones para precipitaciones diarias y mensuales, con el fin de entregar datos estimados que puedan ser usados en otros estudios, obteniendo que tanto el método distancia inversa ponderada, como el método Kriging Ordinario, entregan buenas estimaciones en patrones generales.

Anxiang *et al* (2012) aplicaron métodos geoestadísticos para determinar la distribución espacial y las posibles fuentes de metales pesados en zonas agrícolas en Shunyi, un suburbio de Beijing, China. Extrajeron un total de 412 muestras de suelo superficial con una densidad de 1 muestra/Km². Los resultados indicaron que la presencia de Cobre, Cadmio y Zinc se deben a la práctica agrícola, mientras que la presencia de Arsénico y Plomo están determinadas principalmente por el material parental del suelo y la presencia de mercurio fue causada por las emisiones a la atmósfera en la ciudad de Beijing.

4.8 Estudios realizados en torno a Geoestadística

Cheng *et al* (2003) aplicaron el método Kriging Ordinario para desarrollar mapas de contorno de diseños de profundidad de tormenta en el norte de Taiwán, usando curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.

Los resultados de la modelación de variograma indican que existen dos tipos de diseño de tormentas; tormentas de corta duración y alta variación espacial y tormentas de larga duración y poca variabilidad espacial. Para los primeros la influencia del rango de profundidad de precipitación disminuye cuando el periodo de retorno disminuye, debido a que el grado de dependencia espacial es mayor. En cambio para las tormentas de la segunda categoría, el rango de influencia de profundidad de precipitación no cambia significativamente.

Para eventos extremos, como por ejemplo, eventos de corta duración y periodo de retorno mayor, no se recomienda el uso de los diseños de tormenta establecidos, ya que las distancias entre estaciones exceden los rangos de influencia.

Finalmente se concluye que el rango de influencia de los diseños de tormenta, depende de la duración y el periodo de retorno.

Shoji *et al.* (2006) analizaron datos de precipitación diaria, mensual y anual por medio del análisis de variogramas experimentales o empíricos, con el fin de obtener información fundamental para la evaluación de recursos hídricos y la predicción de eventos extremos de lluvia en la zona montañosa de Chubu y la llanura del distrito de Kanto en Japón central. Los resultados indican que el rango de los variogramas espaciales obtenidos, es aproximadamente siete veces la distancia media entre estaciones, lo que indica que la densidad de estaciones es suficiente para la evaluación de los recursos hídricos.

Por otra parte, el análisis de variogramas temporales de precipitación de duración 1 hora, indica que los rangos de dicho

variograma, presentan una relación directamente proporcional respecto a la duración; luego, esta relación se vuelve constante a una duración 3-5 horas con un rango entre 120 – 150 Km. Este rango es 2 ó 3 veces la distancia media entre estaciones y la duración es 3 a 5 veces la duración de los datos utilizados para el análisis y por lo tanto se concluyó que la densidad de estaciones y las duraciones medidas son insuficientes para predecir eventos extremos de lluvia.

Por otra parte, Alijani *et al.* (2008), aplicaron métodos geoestadísticos en la precipitación diaria, en 90 estaciones distribuidas a través de Irán para determinar la intensidad y la concentración de precipitación diaria. Los resultados indican que la precipitación tiende a ser intensa e irregular en gran parte del país y que una gran proporción de precipitación anual proviene de eventos extremos de lluvia. El análisis de la concentración de precipitaciones confirma que los eventos extremos se encuentran ampliamente distribuidos a través del país, con más del 20% de la superficie expuesta a precipitaciones extremas.

5 METODOLOGÍA

5.1 ETAPAS METODOLÓGICAS

5.1.1 Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica, consistió en la búsqueda de toda la información disponible relacionada con el tema de estudio. Tomando en cuenta que la Geoestadística aún no es ampliamente conocida en Chile, se recurrió a varias fuentes que explican su mecanismo de manera simple y precisa, con la intención de definir una base para sustentar los procesos realizados con los datos de precipitación y así tomar las decisiones pertinentes frente a posibles imprevistos.

La información para el apartado de Geoestadística fue extraída en su totalidad de bibliografía en inglés, principalmente de artículos de revistas científicas y libros de texto. Por otra parte la información en torno a precipitaciones, fue obtenida de libros de texto y memorias de título anteriores.

5.1.2 Recopilación de la información

La Dirección General de Aguas (DGA), organismo dependiente del Ministerio de Obras Públicas, cuenta con una completa red de estaciones pluviográficas, las que se encuentran dispersas por el área de estudio. Adicional a lo anterior se cuenta con información perteneciente a Endesa, además de estaciones provenientes de la

Dirección Meteorológica de Chile (DMC), sumando un total de 46 estaciones.

En primer lugar se verificó el período que comprende cada estación, para así determinar los intervalos comunes con más información en todas las estaciones. Dichos intervalos decadales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 1: Número de estaciones pluviográficas con información de precipitación por décadas.

Década	Número de estaciones
<i>1917 – 1929</i>	2
<i>1930 – 1939</i>	2
<i>1940 – 1949</i>	3
<i>1950 – 1959</i>	3
<i>1960 – 1969</i>	16
<i>1970 – 1979</i>	34
<i>1980 – 1989</i>	37
<i>1990 – 1999</i>	44
<i>2000 - 2009</i>	39

Es relevante considerar cuántos datos existen por año, ya que para aplicar la técnica Kriging, mientras más información de puntos conocidos existan, se presume que mejor será la calidad de la predicción. Por lo anterior, de acuerdo a la Tabla 1, se decidió aplicar el método geoestadístico a 30 años, desde 1980 a 2009.

Debido a que las estaciones pluviográficas permiten el registro continuo de las precipitaciones, se obtuvieron 9 duraciones para cada uno de los años seleccionados. Estas duraciones son 15, 30 y 45 minutos, además de 1, 2, 4, 6, 12 y 24 horas.

Una vez realizada la selección del período a utilizar, se procedió a ordenar los datos en planillas Excel con las coordenadas geográficas de cada estación, un ID que indica el nombre de cada una de ellas, el año

correspondiente y los montos de precipitación para las duraciones mencionadas anteriormente.

Luego, se crearon archivos en forma de tabla con extensión .csv (comma-separated values), donde las columnas son separadas por comas y las filas por saltos de líneas. Esto se realizó para cada uno de los años, indicando las coordenadas geográficas, la ID y las precipitaciones para cada una de las duraciones y estaciones que cuentan con registro de información para cada año.

Lo anterior fue necesario debido a que se utilizó el programa R, con el paquete Gstat el cual permitió la obtención del variograma empírico, el ajuste al modelo general de variograma, la estimación Kriging y el análisis estadístico.

5.1.3 Construcción del variograma empírico y ajuste al modelo

Se obtuvieron variogramas empíricos o experimentales, que muestran la relación espacial global dentro de cada una de las duraciones para los 30 años y las 9 duraciones. Posteriormente, se investigó sobre las características y usos para cada uno de los tipos de modelos de variograma, con lo que se encontró que según Webster y Oliver (2007), el modelo exponencial representa la aleatoriedad en el espacio y su función de autocorrelación equivalente ha sido la base de varios estudios teóricos sobre la eficiencia de los diseños de muestreo, debido a que muestra las variaciones de la variable de interés, tomando en cuenta que su comportamiento cambia al azar dentro de la zona de estudio.

5.1.4 Selección del método geoestadístico utilizado

Una vez obtenidos los variogramas empíricos y su modelo global, se investigó respecto al tipo de Kriging que sería conveniente usar y respecto a la naturaleza de los datos.

Cheng *et al.* (2003) señalan que el método Kriging Ordinario revela características importantes que se observan en tormentas. También demuestra que las estructuras de variación espacial de la precipitación media anual pueden ser significativamente diferentes, mientras que otros métodos no distinguen esta diferencia. Por esto el método Kriging Ordinario establece la estructura de la variación espacial para cada tormenta, en un diseño individual y por lo tanto conduce a mejores estimaciones de las precipitaciones.

Por otra parte Mair y Fares (2011), indican que al comparar métodos tradicionales de interpolación como polígonos de Thiessen con Kriging Ordinario, éste último produce el menor error en todas las duraciones, pues considera el patrón de dependencia espacial a través del variograma.

Finalmente, es importante destacar que con cada estimación Kriging obtenida, se obtiene además la varianza de dicha estimación, la que indica, cuan confiable es dicha predicción.

5.1.5 Determinación de estaciones pluviográficas a interpolar.

En esta etapa se verificó la posición geográfica y la disposición en el espacio de las estaciones para determinar cuáles serían a las que se les estimaría la precipitación para las 9 duraciones.

Tomando en cuenta que en base a la superficie de estudio, las 46 estaciones son consideradas pocas para una buena predicción, se decidió que al estimar los datos de una estación, ésta sería eliminada de los archivos .csv. Asimismo y de forma inversa, al estimar una segunda estación, se agregarían los datos reales de la primera y se eliminarían los de la segunda.

Así por ejemplo, para estimar la precipitación de la estación Bullileo, perteneciente a la Región del Maule, se eliminaron todos sus datos de los 30 archivos .csv cada uno perteneciente a un año y se realizó una estimación de Kriging Ordinario para cada año prediciendo así sus datos en las 9 duraciones en base a las 45 estaciones restantes. Posteriormente, para estimar los datos de la estación Pirque de la Región Metropolitana, se agregó la información de la estación Bullileo y se eliminaron los datos de Pirque en cada uno de los archivos para los 30 años y se aplicó Kriging Ordinario.

Debido a que el proceso es demoroso, se decidió seleccionar 6 estaciones pluviográficas por región, dependiendo de la distribución espacial de ellas, tomando 3 estaciones ubicadas en el centro de los datos y 3 estaciones que se encuentran en los bordes, con el fin de evaluar el efecto que podría producir la carencia de datos por el lado exterior de la región, constituyendo un total de 18 estaciones a estimar.

5.1.6 Evaluación de la efectividad de Kriging Ordinario

Luego de realizar Kriging ordinario para las 18 estaciones seleccionadas, se procedió a analizar los resultados de la interpolación en base a los datos observados de las estaciones, lo que se verificó por medio de la validación cruzada, el error estándar de estimación (EEE),

el Coeficiente de Variación, el Coeficiente de Determinación (R^2) y el Coeficiente de Correlación, con la finalidad de verificar la calidad de la predicción a través de Kriging Ordinario.

5.1.6.1 Validación cruzada

La validación cruzada es una técnica que permite evaluar los resultados de un análisis a través de una muestra de datos que es dividida en subconjuntos, donde con uno de ellos se realiza la construcción del modelo y con los restantes se confirma y valida el análisis inicial (Aravena, 2011).

Existe la validación simple, donde se subdivide la muestra en dos conjuntos de datos; uno de ellos se denomina entrenamiento, con el cual se construye el modelo, y el otro llamado prueba, con el que se mide el error del modelo construido.

A su vez, es posible dividir en k conjuntos la muestra, donde $k > 2$, por lo que la validación cruzada se aplicaría $k - veces$, utilizando uno de los conjuntos como prueba y el resto como entrenamiento. En este caso se obtiene un promedio de error de la muestra de prueba y éste se contrasta con el promedio del conjunto de entrenamiento.

5.1.6.2 Validación Cruzada LOOCV

La validación cruzada dejando uno fuera, (LOOCV, del inglés leave out one cross validation), según Aravena (2011) permite el remuestreo del conjunto original, aumentando su tamaño y es una alternativa para estimar el error de generalización del modelo.

Por otra parte según Webster y Oliver (2007), para cada modelo Z , correspondiente a una variable aleatoria, se estima el variograma empírico de los datos obtenidos. Posteriormente, con el variograma obtenido se aplica el método Kriging, que entrega la predicción y la varianza sobre el punto. Lo particular de este método, es que excluye un valor de la muestra, y con el nuevo conjunto de datos se estima un nuevo variograma y se aplica Kriging, obteniendo así una nueva predicción, este proceso se repite en $n - 1$ ocasiones.

Con otras palabras, para este caso, la validación cruzada se realiza con todos los datos base de precipitación, es decir sobre las 46 estaciones separadas por año, debido a que el programa no permite que se repita la misma coordenada geográfica para realizar la interpolación. Luego, para cada una de las veces que se realice la fase de aprendizaje, se consideran $n - 1$ instancias de entrenamiento y sólo una instancia para validación, es decir automáticamente se elimina un valor de precipitación y con los restantes se estima Kriging; luego, el valor original es agregado y se elimina el segundo y esto se repite tantas veces como tantos datos reales de precipitación existan.

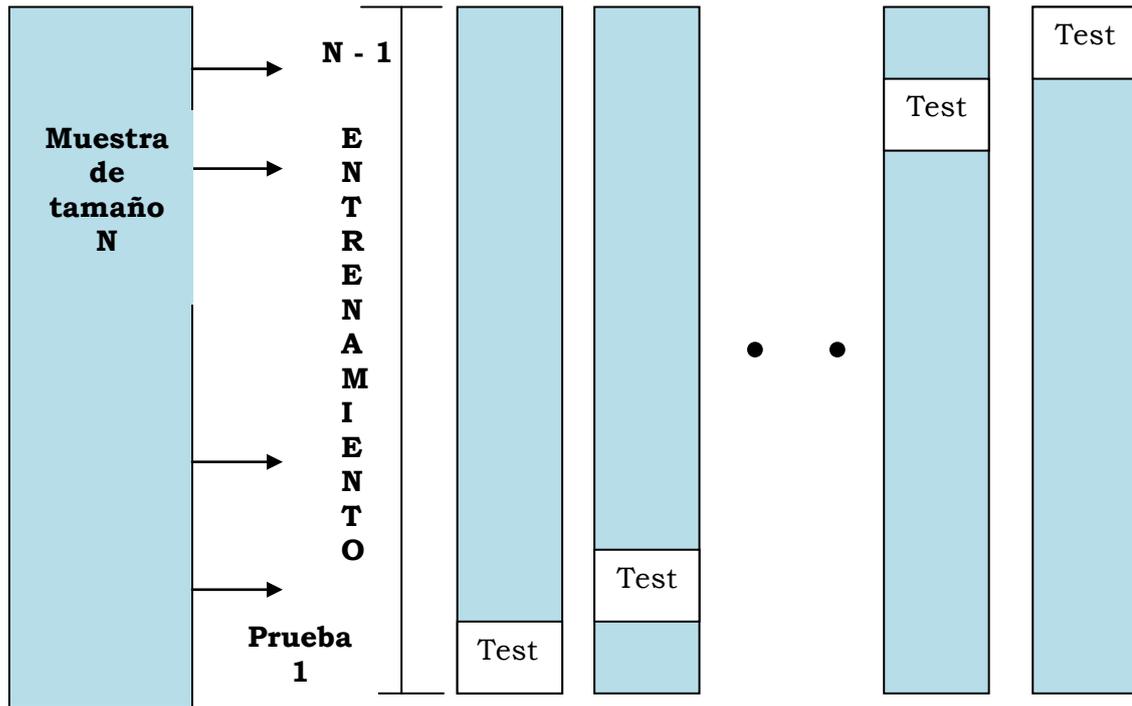


Figura 2: Ilustración del proceso de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV

Con la realización de este proceso es posible obtener n estimaciones parciales del error. Una de las ventajas de esta prueba es que se utiliza el máximo posible de datos.

A partir del proceso descrito anteriormente, es posible obtener ciertos parámetros que ayudarán a decidir respecto a la calidad de la predicción.

- *Error medio (ME)*

Es de utilidad para medir la bondad del ajuste. En Kriging debe tender a 0, debido a que Kriging es imparcial. Es la media aritmética de las diferencias entre los valores observados y estimados.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)\} \quad (21)$$

Donde $Z(x_i)$ es el valor de precipitación observada obtenido de la estación pluviográfica, $\hat{Z}(x_i)$ el valor de precipitación obtenido por Kriging Ordinario y N el número de pares.

- *Error medio absoluto (MAE)*

Es la media aritmética de la suma de las diferencias absolutas entre los valores de precipitación observada y los valores obtenidos por Kriging Ordinario. Mientras menor sea este valor, se considera más adecuada la predicción.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)| \quad (22)$$

- *Raíz del error cuadrático medio (RMSE)*

Es la medida de la raíz cuadrada del promedio de la suma de diferencias cuadráticas entre los valores de precipitación observada y los valores estimados a través de Kriging Ordinario. Al igual que el parámetro anterior, mientras menor sea, más adecuada se considera la predicción.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z(x_i) - \hat{Z}(x_i))^2} \quad (23)$$

- *Razón cuadrática media de la desviación (MSDR)*

Corresponde al error cuadrático medio entre los datos de precipitación y los datos obtenidos por Kriging Ordinario y las varianzas Kriging $\sigma^2(x_i)$. Se espera que si el variograma es correcto, el error cuadrático medio sea igual a la varianza Kriging, por lo tanto MSDR debe ser igual a 1.

$$MSDR = \frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)\}^2}{\sigma^2(x_i)} \quad (24)$$

Por otra parte, al contrastar MAE y RMSE se determina la presencia de valores atípicos, donde se tiene que si la raíz del error cuadrático medio es mayor al error medio absoluto, se encuentra que efectivamente existen valores atípicos.

$$RMSE > MAE \quad (25)$$

5.1.6.3 Error estándar de estimación (EEE)

Este parámetro mide la disparidad promedio entre las precipitaciones observadas de la estación pluviográfica y las estimadas a través de Kriging ordinario, donde los valores cercanos a cero indican que la predicción a través del método geoestadístico seleccionado, hace una buena descripción de las precipitaciones; la fórmula de este indicador es la siguiente:

$$EEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)\}^2}{n - 2}} \quad (26)$$

Donde $Z(x_i)$ son las precipitaciones observadas, $\hat{Z}(x_i)$, las precipitaciones estimadas y n el número de datos de precipitación considerados.

5.1.6.4 Coeficiente de variación

Se expresa el error estándar de estimación como porcentaje de la media aritmética y muestra el grado de variabilidad del error estándar de estimación.

$$Cv = \frac{EEE}{\bar{X}} \quad (27)$$

5.1.6.5 Coeficiente de determinación (R^2)

Este coeficiente determina qué proporción de la variación total de las precipitaciones observadas (valores reales), es explicada por las precipitaciones estimadas (modeladas por Kriging Ordinario); su fórmula es la siguiente:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum\{Z(x_i) - \bar{x}_i\}^2}{\sum\{Z(x_i) - \hat{Z}(X_i)\}^2} \quad (28)$$

Donde $Z(x_i)$ corresponde a los valores de precipitación observada, \bar{x}_i es la media aritmética de dichas precipitaciones y $\hat{Z}(X_i)$ la precipitación estimada a través de Kriging ordinario.

5.1.6.6 Coeficiente de correlación de Pearson (r)

Es un índice que mide el grado de la relación lineal entre dos variables aleatorias. Este parámetro busca determinar si los datos de precipitación observada tienen el mismo comportamiento que los datos

de precipitación estimado a través de Kriging Ordinario. Por lo tanto, se espera que el valor de este coeficiente sea cercano a 1. Su fórmula es:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left\{ \frac{Z(x_i) - \overline{Z(x)}}{S_{Z(x)}} \right\} \left\{ \frac{\hat{Z}(x_i) - \overline{\hat{Z}(x_i)}}{S_{\hat{Z}(x)}} \right\} \quad (29)$$

Donde $Z(x_i)$ es la suma de los valores reales de precipitación, mientras que $Z(x)$ es la media aritmética de estos valores, el término $\hat{Z}(x_i)$ representa las precipitaciones estimadas y $\overline{\hat{Z}(x_i)}$ su media. Tanto $S_{Z(x)}$, como $S_{\hat{Z}(x)}$ son las desviaciones estándar de ambos grupos.

5.1.6.7 Análisis de varianza ANOVA

El análisis de varianza compara las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_k$$

$$H_1: \mu_j \neq \mu_2 = \mu, j = 1, 2, \dots, k$$

La hipótesis nula (H_0) indica que las medias de las k poblaciones son iguales, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) indica que a lo menos una media es diferente a las demás en cuanto a su valor esperado.

En este contexto el análisis de varianza será utilizado con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre las medias de varianza Kriging, lo que debería ser dependiendo de la región de procedencia y la ubicación geográfica de la estación a estimar.

5.1.7 Presentación de resultados

Debido a que el método Kriging es largo y se debió aplicar repetidamente para cada año y duración, se cuenta con muchos datos y cálculos, por lo que en esta etapa se muestra la información más importante para desarrollar un adecuado análisis.

5.1.8 Análisis de resultados

Una vez expuestos los resultados, fue posible discutir y concluir con respecto a los valores de precipitación estimados. Ello en base a las pruebas de bondad de las predicciones estadísticas realizadas por el método Kriging.

5.1.9 Conclusiones y recomendaciones

En esta etapa, en base a los resultados obtenidos, se determinaron las principales conclusiones. Además, se consideró la factibilidad de aplicar los métodos utilizados y la metodología, con el objetivo de determinar recomendaciones de uso para investigaciones de este tipo.

5.2 Materiales

Los materiales utilizados para llevar a cabo este estudio fueron los siguientes: Datos de precipitación pertenecientes a la región Metropolitana, Maule y Biobío aportados por el proyecto “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”; Software R versión 2.14.2, con el paquete Gstat, para Kriging y análisis estadístico; Software Microsoft Office Excel y Software Microsoft Word.

6 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1 Estaciones a estimar

Como se mencionó en la metodología, se decidió seleccionar seis estaciones por región; tres del centro del área de estudio y tres del borde, dependiendo de la distribución espacial de las estaciones, con el fin de predecir la precipitación por medio de Kriging Ordinario.

Tabla 2: Estaciones Seleccionadas para la estimación Kriging

Región	Estaciones centro	Estaciones borde
Metropolitana	MOP – DGA	Embalse Rungue
	Quinta Normal	La Obra
	Edificio central Endesa	San Antonio
Maule	Embalse Ancoa	Bullileo
	San Javier	Parral
	Digua	Pencahue
Biobío	Chillán DMC	Carrier Sur
	Caracol	Contulmo
	Embalse Coihueco	Polcura en Embalsadero

Las estaciones pluviográficas de la Tabla 2, fueron seleccionadas según su procedencia, con el fin de verificar si la calidad de la predicción se ve influenciada por la carencia de datos en el contorno exterior a la zona de estudio, como es el caso de las estaciones borde, en contraste con las estaciones que se encuentran rodeadas de datos observados.

6.2 Variograma Empírico y modelo global

Para la construcción de los variogramas fueron considerados todos los datos de las 46 estaciones presentes en el período de 30 años. Esto, con el propósito de que el variograma represente la variación espacial de todos los datos, en cuanto a distancia y año.

Debido a que los montos de precipitación son diferentes para cada duración, fue necesario separar la información de acuerdo a este criterio, por lo que en total se construyeron nueve variogramas, los que incluyen todas las estaciones que presentan registros de medición en el período establecido. Así, en primer lugar se construyeron variogramas empíricos o experimentales, los que muestran la variación espacial existente dentro de las precipitaciones de acuerdo a las distancias entre las estaciones pluviográficas. Posteriormente y en base a lo anterior, se obtuvo el ajuste del variograma al modelo Exponencial; este modelo es el que permite la estimación de precipitación a zonas donde no se cuenta con registros, ya que generaliza la relación espacial encontrada en el variograma empírico, a todas las distancias posibles.

Cabe mencionar que en el caso del ajuste del variograma al modelo Exponencial, fueron utilizadas las 46 estaciones de la zona de estudio sin excluir las 18 estaciones seleccionadas para predecir la precipitación por medio de Kriging Ordinario, debido a que alternadamente se agregan y eliminan estaciones para la aplicación del método Kriging, con el fin de mantener el mayor número de datos base posibles en cada predicción.

En las Figuras 3 a 7 se muestran el variograma empírico y el ajuste al modelo exponencial. Así mismo y a continuación de cada figura, la tabla correspondiente muestra los valores de los parámetros Nugget, Sill o Umbral y Rango para cada duración.

Es importante señalar que la unidad de medida de los parámetros del variograma son, para el caso del Rango, Longitud/Latitud, debido a que las coordenadas se ingresaron en grados. Tanto el Sill como Nugget son adimensionales, puesto que representan un valor de la semivarianza.

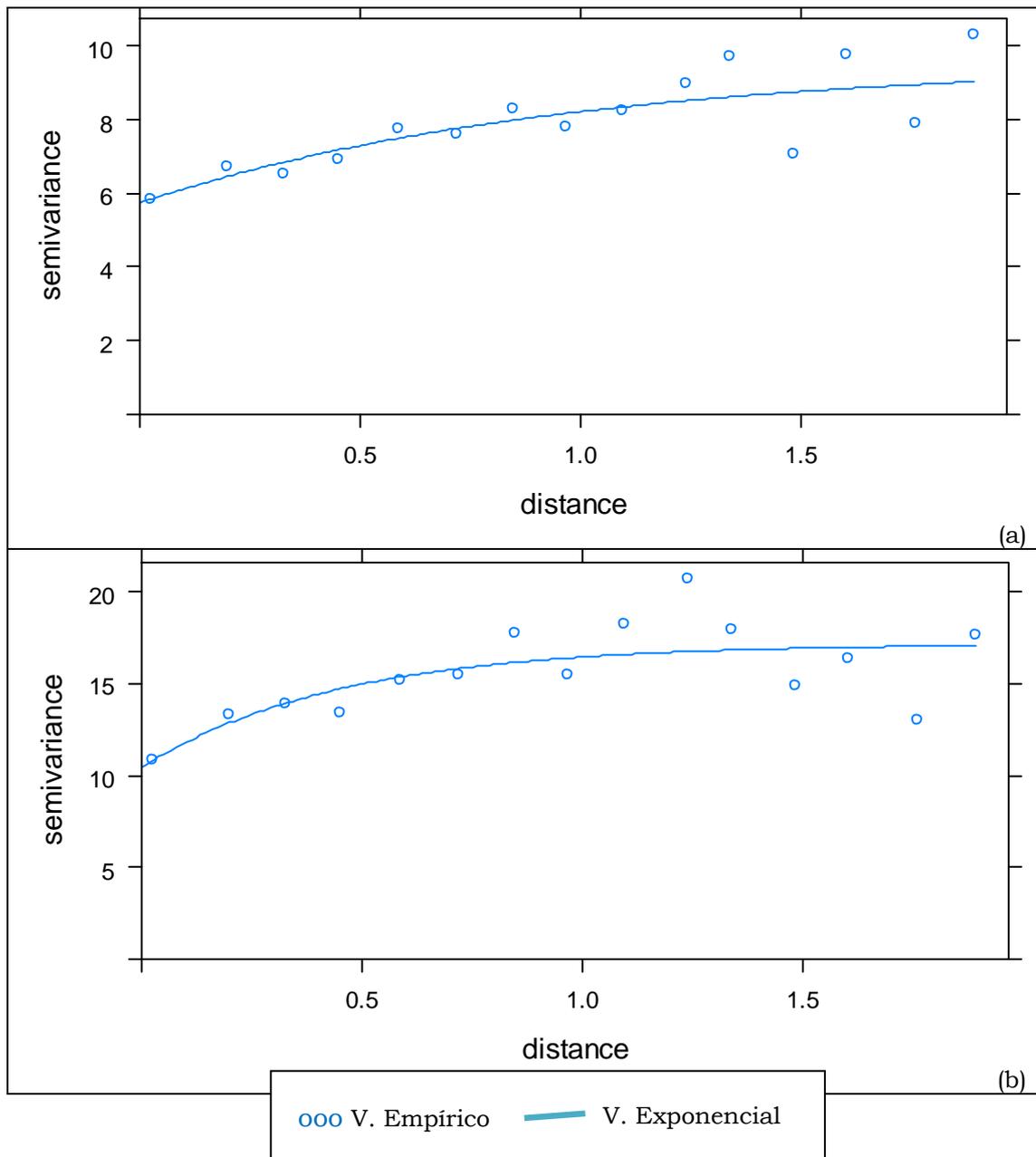


Figura 3: Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 0.25 horas (a) y la duración 0.5 horas (b).

Tabla 3: Parámetros del variograma Exponencial para las duraciones 0.25 y 0.5 horas.

Parámetros del variograma	Duración 0.25 horas	Duración 0.5 horas
<i>Nugget</i>	5.746301	10.448644
<i>Sill o umbral</i>	3.816335	6.725655
<i>Rango</i>	0.9545729	0.4459248

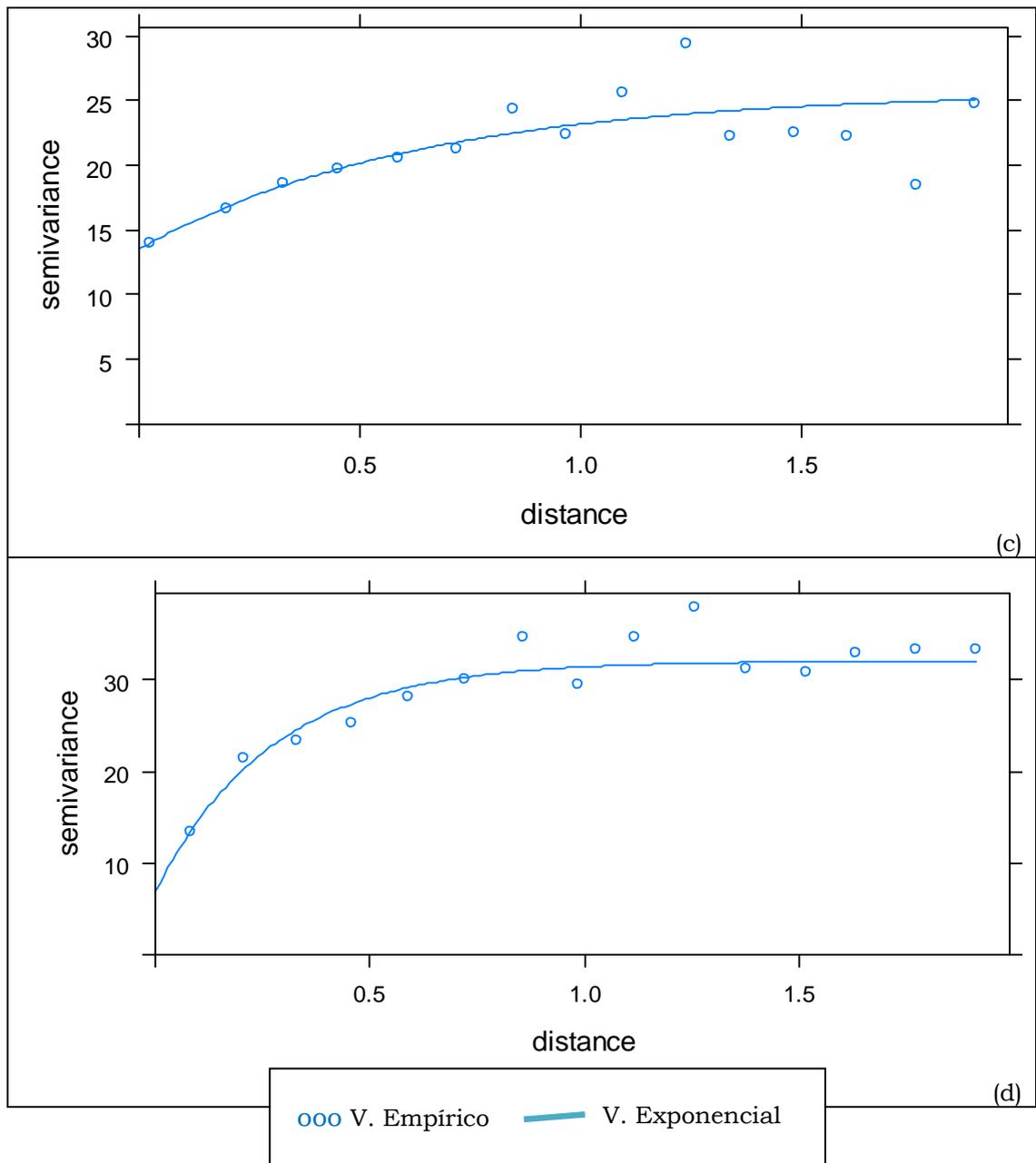


Figura 4: Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 0.75 horas(c) y la duración 1 hora (d).

Tabla 4: Parámetros del variograma Exponencial para las duraciones 0.75 y 1 hora.

Parámetros del variograma	Duración 0.75 horas	Duración 1 hora
Nugget	13.54185	6.964866
Sill o umbral	12.11646	25.114132
Rango	0.6305486	0.2730758

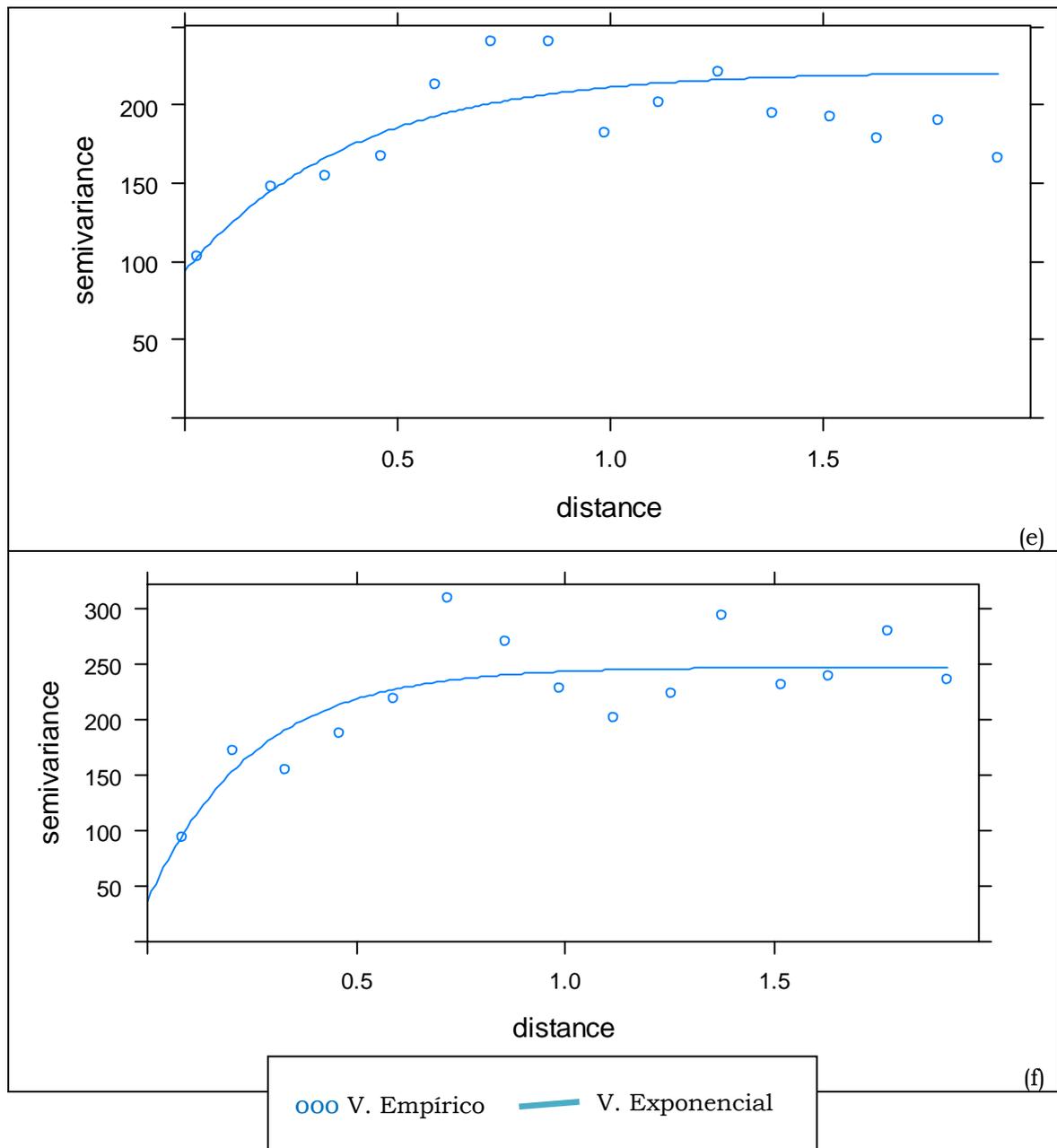


Figura 5: Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 2 horas (e) y la duración 4 horas (f).

Tabla 5: Parámetros del variograma Exponencial para las duraciones 2 y 4 horas

Parámetros del variograma	Duración 2 horas	Duración 4 horas
Nugget	93.76507	36.3880
Sill o umbral	127.48201	210.46886
Rango	0.3923918	0.2509957

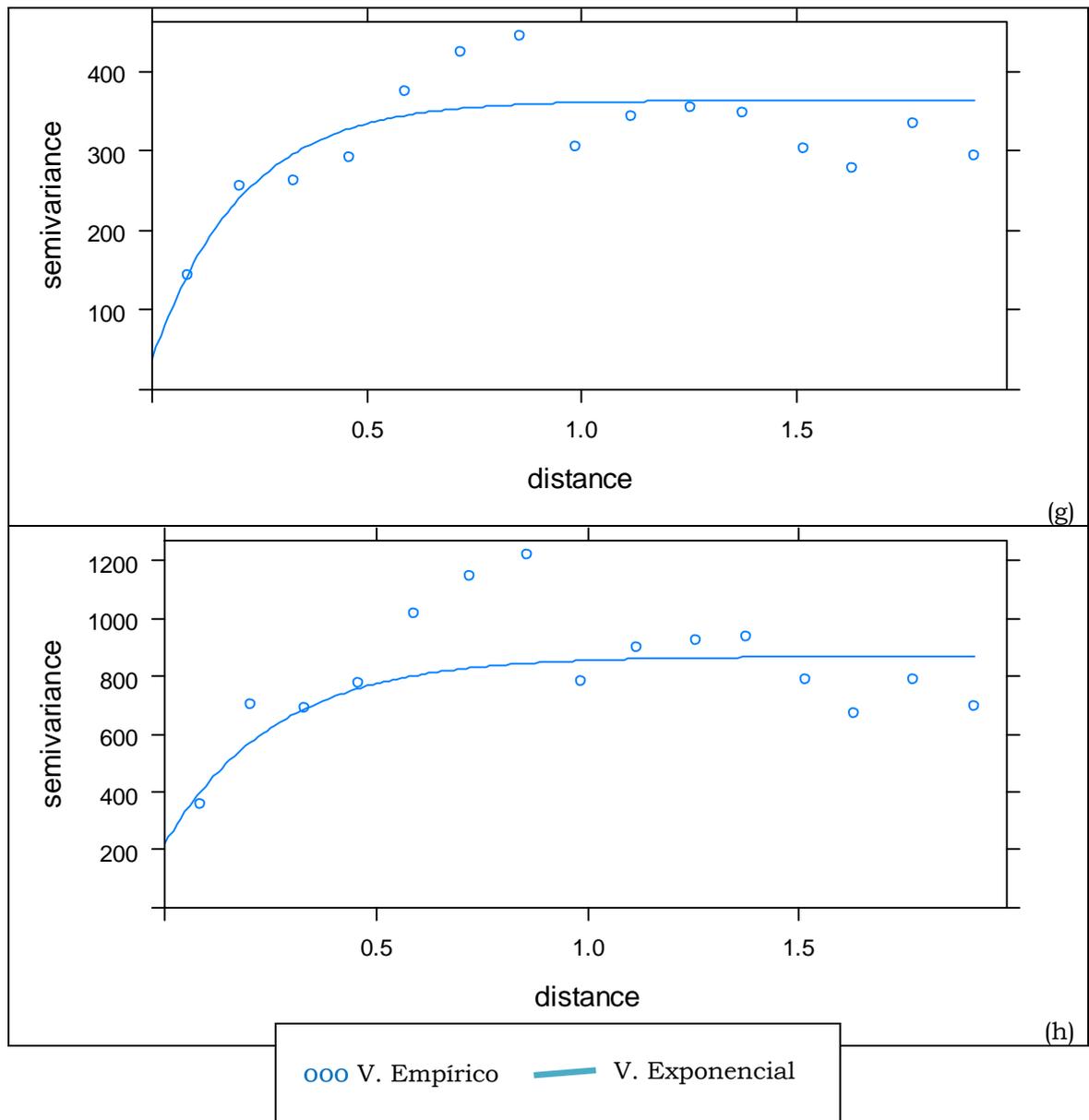


Figura 6: Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 6 horas (g) y la duración 12 horas (h).

Tabla 6: Parámetros del variograma Exponencial para las duraciones 6 y 12 horas

Parámetros del variograma	Duración 6 horas	Duración 12 horas
Nugget	37.62162	220
Sill o umbral	325.62031	650
Rango	0.2081721	0.26

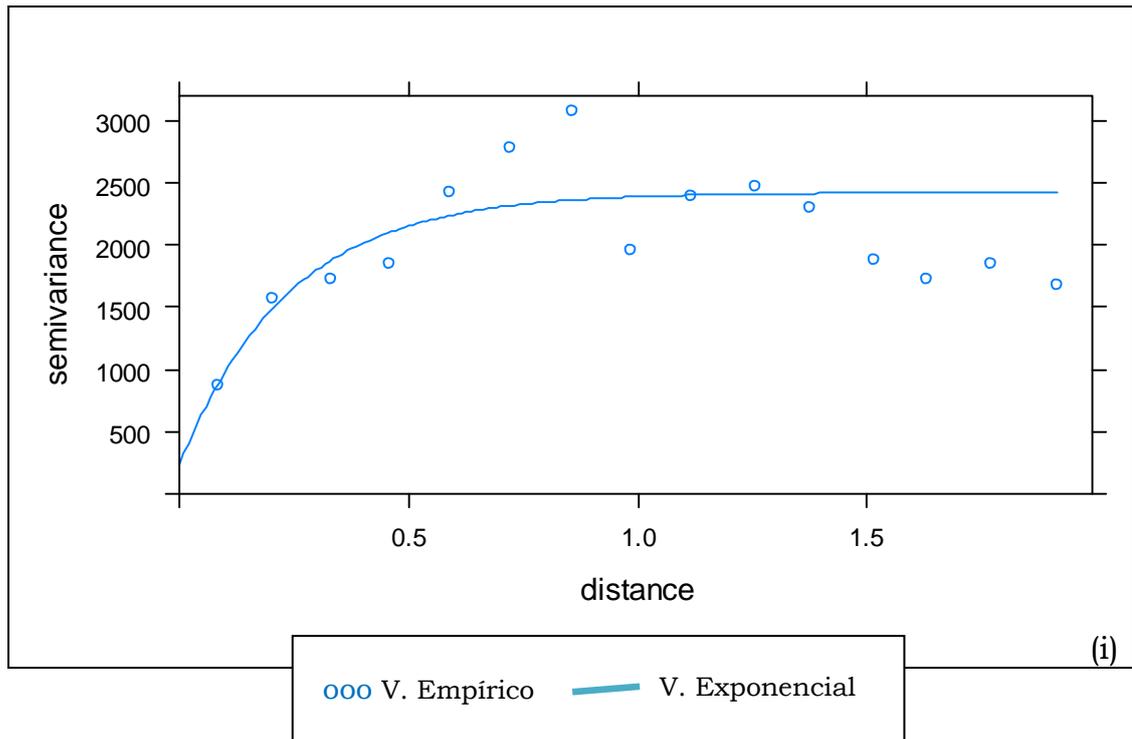


Figura 7: Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 24 horas (i)

Tabla 7: Parámetros del variograma Exponencial para las duraciones 24 horas.

Parámetros del variograma	Duración 6 horas
Nugget	231.9648
Sill o umbral	2190.2519
Rango	0.2377717

Las figuras anteriores muestran la variabilidad del modelo exponencial para cada una de las duraciones, en donde algunas de ellas manifiestan una muy buena calidad de ajuste al modelo seleccionado, como es el caso de las duraciones 0.75 y 1 hora, mientras que otras duraciones como la de 24 horas, muestran una dispersión en el variograma empírico, lo que se traduce en un ajuste menos preciso del modelo Exponencial.

En relación a los parámetros del variograma, específicamente al Nugget, éste y como ya fue explicado en la metodología, indica que en los valores bajo este parámetro no encuentra relación espacial, por lo tanto no es posible predecir en base al mismo. Se observa que los valores de este parámetro fluctúan en forma aleatoria entre duraciones, con pequeñas variaciones en las duraciones menores a 2 horas y grandes variaciones en las duraciones mayores a 4 horas.

En el caso del sill o umbral, que se definió anteriormente como el límite superior del variograma, donde la distancia h tiende a mantenerse constante, se encuentra que este valor aumenta a medida que lo hace la duración.

Finalmente, el rango, que es definido como el valor que toma la distancia h cuando la función del semivariograma comienza a ser constante, se aprecia, en los casos expuestos anteriormente, que el valor de la distancia h va disminuyendo a medida que aumenta la duración, sin embargo se aprecian grandes fluctuaciones entre duraciones.

6.3 Estimación por medio de Kriging Ordinario

Para las 18 estaciones pluviográficas seleccionadas, se aplicó la técnica Kriging Ordinario, donde para cada una de ellas fue necesario realizar una estimación Kriging por duración y año, lo que significó realizar un total de 270 predicciones por estación. Debido a que este proceso es muy extenso, los datos obtenidos año a año se presentan en el Anexo 3.

Por otra parte, es posible obtener una estimación visual aproximada de la predicción Kriging, para la superficie que comprende las regiones Metropolitana, Maule y Biobío, incluida la región de O'Higgins, que no presenta registros, en función de los puntos geográficos con precipitación conocida.

A continuación se presentan imágenes de Kriging, correspondientes al año 2000, año que presenta mayor cantidad de datos (38 estaciones, ver Anexo 2) para cada duración, en tonos de grises. A la izquierda de cada imagen se encuentra la escala de valores de precipitación obtenidos por el método, mientras que los puntos indican la presencia de una estación pluviográfica.

Además, dichas imágenes fueron construidas con todos los datos observados, es decir con las 38 estaciones disponibles para el año 2000, con el fin de obtener una predicción visual de toda el área de estudio, incluyendo la Región de O'Higgins.

Cabe señalar que estas imágenes fueron creadas en R, en formato .tif, para posteriormente visualizarlas y editarlas en un programa SIG, en este caso, utilizando el programa de versión libre Quantum Gis, versión 6.4.

Figura 8: Estimación Kriging Ordinario para las duraciones, 0.25 (a), 0.5 (b), 0.75 (c) y 1 horas (d).

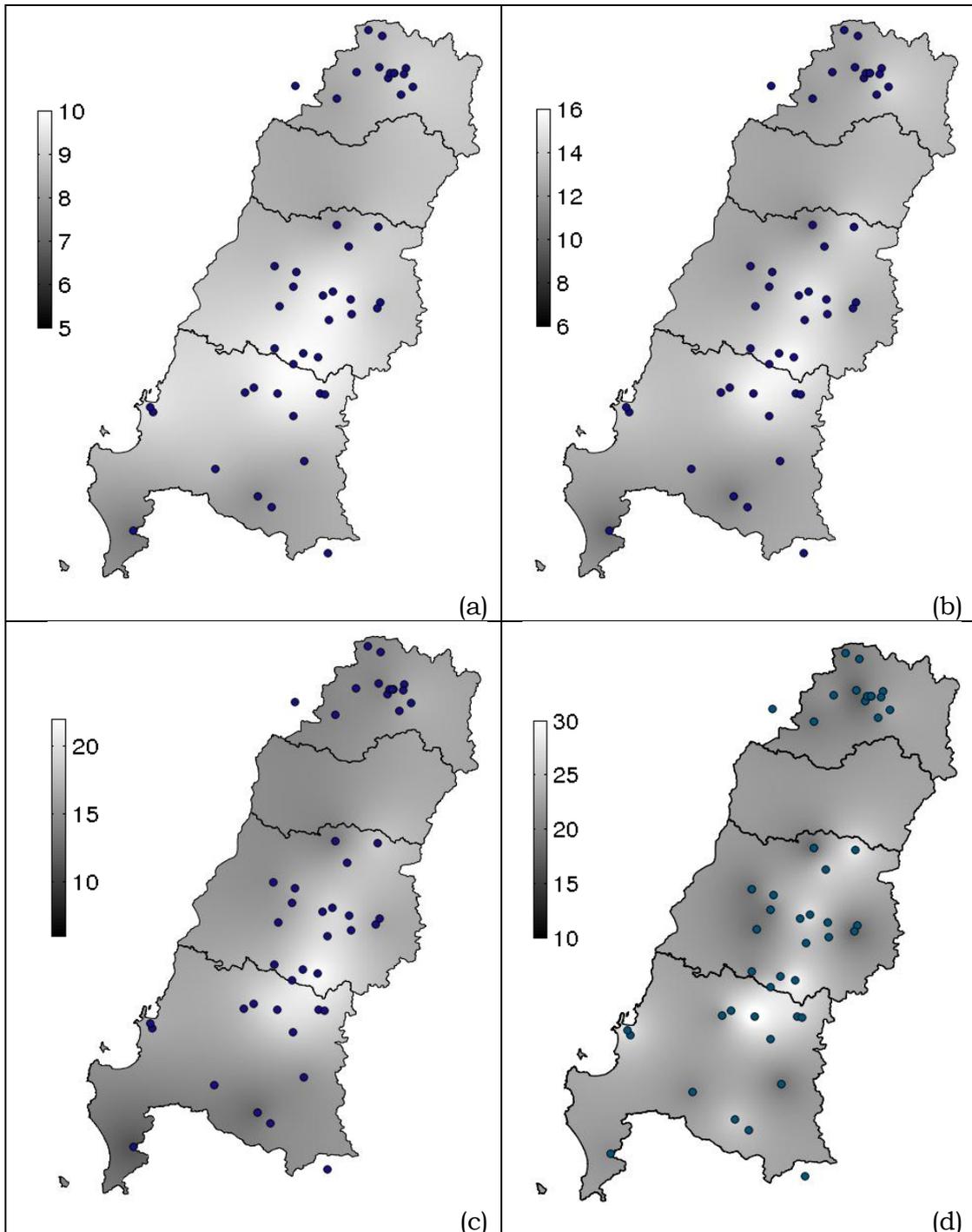


Figura 9: Estimación Kriging Ordinario para las duraciones, 2 (e), 4 (f), 6 (g) y 12 horas (h).

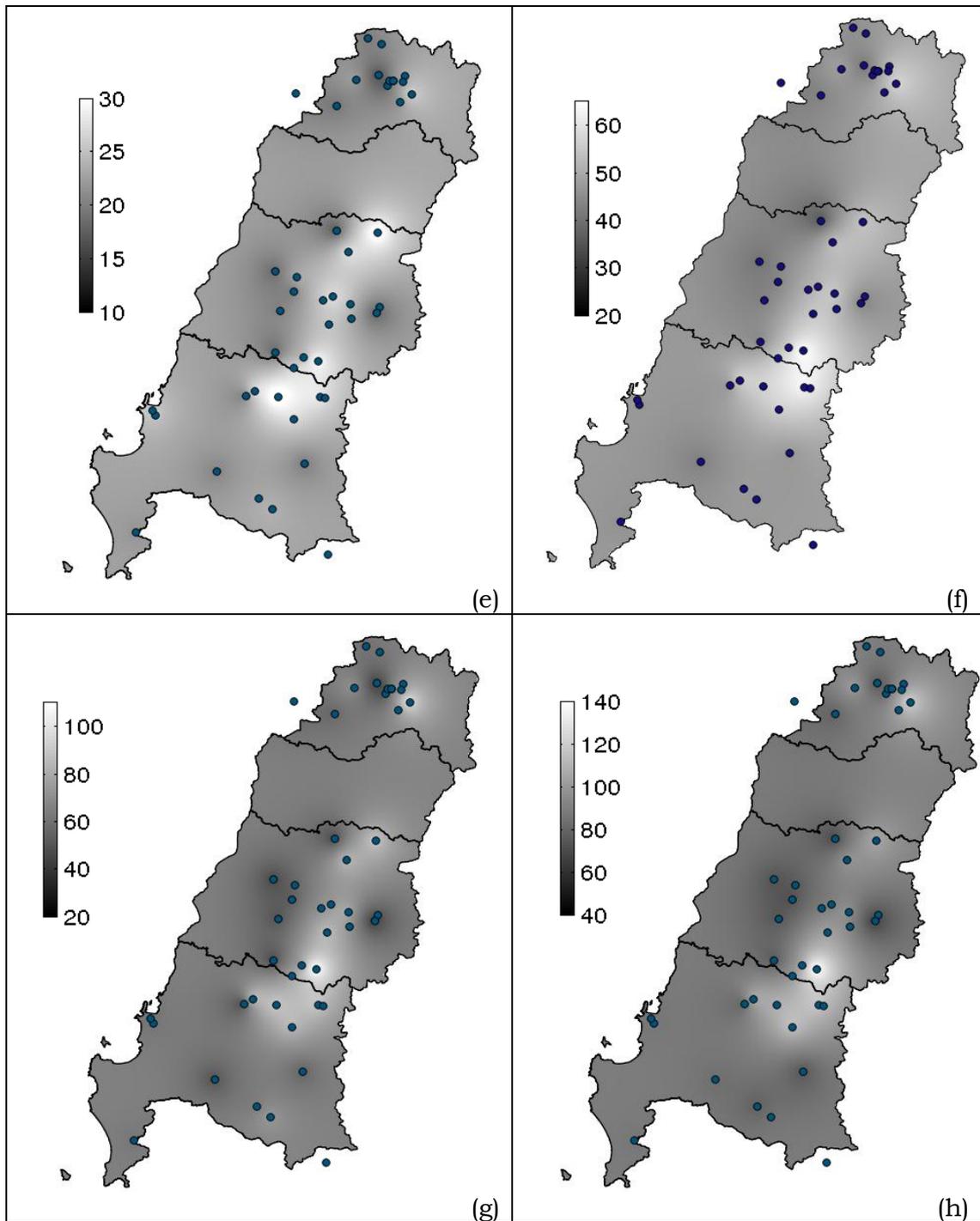
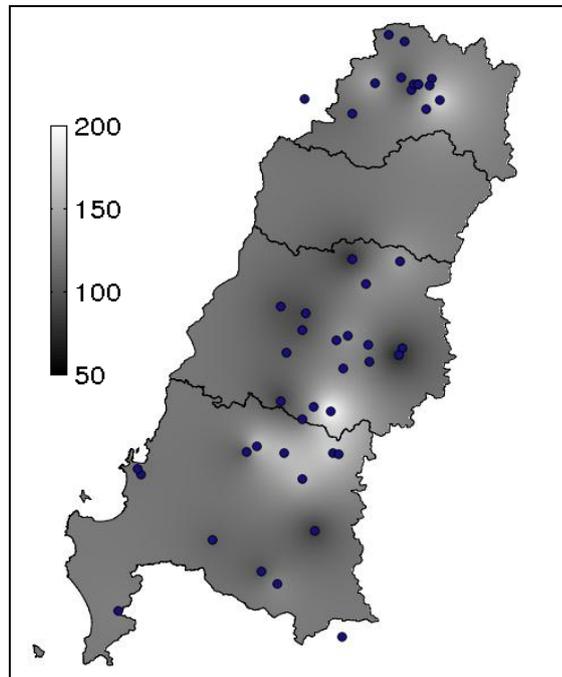


Figura 10: Estimación Kriging Ordinario para la duración 24 horas.

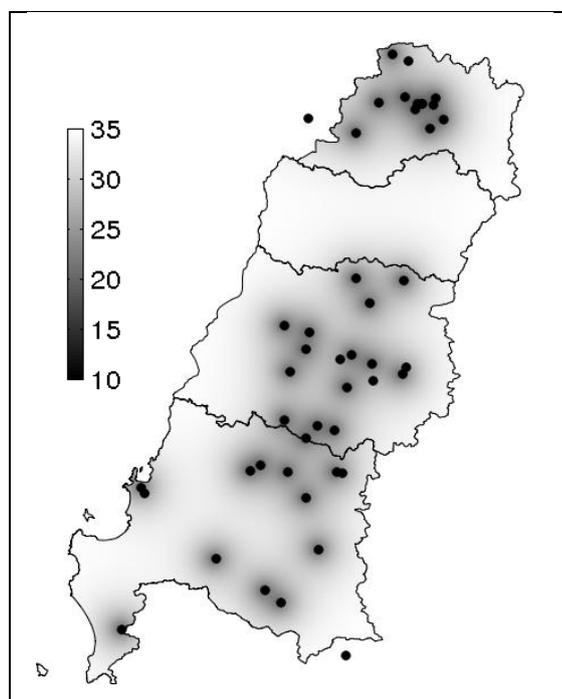


Las figuras anteriores muestran la predicción a través de Kriging Ordinario, en base a las 36 estaciones con información existentes para el año 2000, donde se aprecia que si bien los tonos de gris, que indican intervalos de variación de las precipitaciones, son mayores a medida que aumenta la duración, las áreas de cobertura para dichos montos también aumentan, lo que se traduce en la presencia del mismo valor en grandes extensiones de superficie.

Por otra parte, en las nueve imágenes se observa que en la ubicación geográfica correspondiente a la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, se aprecia un vacío de información, generando en la imagen una zona con poca variación de precipitación. Esto demuestra la importancia de la carencia de información en dicha zona, ya que por esto no es posible determinar de mejor forma la variación espacial de precipitación producida en dicha Región.

A su vez, es posible obtener imágenes de varianza Kriging, las que permiten obtener una aproximación visual de la confiabilidad de las predicciones en el área de estudio.

La imagen que se muestra a continuación, corresponde a la varianza Kriging para la duración 1 hora, en el año 2000. Cabe destacar que las imágenes para las 8 duraciones restantes se encuentran en el Anexo 4.



En la imagen anterior es posible observar que los valores de varianza menores se obtienen en los puntos cercanos a las observaciones de precipitación existentes, mientras que los valores mayores, aquellos que indican una baja confiabilidad en la predicción ocurren en las zonas donde no hay presencia de valores observados.

6.3.1 Contraste de valores promedio de precipitación estimada y observada

Como se mencionó en la metodología, se realizó Kriging Ordinario a las 18 estaciones pluviográficas detalladas en la tabla 2 y a una serie de datos de 30 años.

Debido a la gran cantidad de información estimada en las tablas 8 y 9, se presenta una comparación entre los promedios de precipitación estimada y la observada para las 18 estaciones y las 9 duraciones horarias analizadas.

Tabla 8: Valores promedio de precipitación observada* y estimada* en mm, a través de Kriging ordinario por duración y estación pluviográfica.

Estaciones Pluviográficas	Duración (horas)							
	0.25		0.5		0.75		1	
	Valor Observado (mm)	Valor Estimado (mm)	Valor Observado (mm)	Valor Estimado (mm)	Valor Observado (mm)	Valor Estimado (mm)	Valor Observado (mm)	Valor Estimado (mm)
Edificio Central Endesa	4.26	6.36	5.57	8.5	7.05	9.98	8.57	9.88
MOP - DGA	5.25	6.14	7.19	8.12	8.66	9.54	10.26	9.43
Quinta Normal	4.62	6.17	6.38	8.13	7.74	9.52	8.76	9.48
San Antonio	7.19	6.7	10.13	9.76	11.78	11.39	13.52	14.32
Embalse Rungue	6.99	6.29	8.81	9.08	10.55	10.52	12.23	12.84
La Obra	8.73	6.45	13.07	8.92	14.78	8.24	17.25	12.51
Digua	8.95	8.37	11.6	11.63	14.67	14.82	17.1	17.44
San Javier	6.53	7.85	9.25	10.27	11.16	12.58	12.96	13.68
Embalse Ancoa	8.74	8.42	12.22	11.47	15.59	14.42	17.81	17.28
Pencahue	5.79	7.74	7.97	10.3	10.41	12.38	12.44	14.12
Parral	7.04	8.45	9.92	11.36	12.49	14.36	14.41	16.19
Bullileo	9.56	8.43	13.89	11.55	17.2	14.8	20.33	16.95
Embalse Coihueco	9.45	8.53	13.98	11.75	18.32	15.04	20.73	17.78
Chillán DMC	8.62	8.86	13.23	12.11	17.12	15.14	20.38	17.78
Caracol	8.33	8.55	12.17	11.65	16.43	15.03	20.27	17.1
Polcura en Embalsadero	8.14	8.37	10.11	11.42	12.41	14.82	15.27	16.56
Carrier sur	11.81	7.9	14.2	10.65	16.16	13.36	18.85	16.08
Contulmo	-	-	-	-	-	-	14.02	15.55

* Todos los valores representan el promedio de la serie analizada, que comprende los años 1980 a 2009.

Tabla 9: (Continuación Tabla 8) Valores promedio de precipitación observada* y estimada* a través de Kriging ordinario por duración y estación pluviográfica.

Estaciones Pluviográficas	Duración (horas)									
	2		4		6		12		24	
	Valor observado (mm)	Valor Estimado (mm)								
Edificio Central Endesa	13.05	14.65	20.49	22.85	26.14	27.85	37.4	39.36	48.13	50.96
MOP - DGA	15.31	13.81	23.47	22.61	29.21	26.62	39.79	38.39	52.22	48.45
Quinta Normal	12.87	14.02	20.25	22.58	25.35	26.15	34.93	38.06	46.52	47.62
San Antonio	18.51	21.26	24.49	30.02	29.69	40.37	40.51	57.13	50.21	79.13
Embalse Rungue	17.7	19.21	27.1	26.99	33.74	36.25	50.2	50.79	65.27	68.92
La Obra	26.29	18.21	40.74	26.0	51.48	33.59	78.19	47.7	98.36	63.31
Digua	25.86	26.65	36.6	39.84	47.01	52.63	67.91	78.72	93.17	109.66
San Javier	18.06	19.92	25.06	30.07	30.35	35.84	41.5	50.62	51.93	64.13
Embalse Ancoa	27.73	26.22	43.44	39.65	57.75	50.63	83.63	75.83	112.52	107.42
Pencahue	16.99	20.64	23.77	29.92	30.1	37.63	41.3	52.28	53.59	69.09
Parral	20.16	23.81	28.86	35.71	36.59	44.15	50.13	64.87	66.81	88.66
Bullileo	32.51	25.51	50.22	38.07	67.43	47.61	106.6	70.14	145.46	98.01
Embalse Coihueco	29.09	26.69	39.57	39.53	50.59	50.5	71.67	75.3	102.07	109.5
Chillán DMC	31.76	24.83	48.77	35.23	60.92	44.33	91.96	63.29	134.04	88.72
Caracol	31.9	25.55	47.32	39.26	60.46	49.45	90.26	74.93	133.03	107.08
Polcura en Embalsadero	23.84	24.13	39.56	36.28	53.1	44.11	79.72	65.78	112.28	91.7
Carrier sur	24.12	23.63	29.85	34.17	37.33	43.36	47.69	61.99	63.4	84.6
Contulmo	19.53	22.79	29.08	33.24	37.3	42.39	56.05	61.18	73.66	84.56

* Todos los valores representan el promedio de la serie analizada, que comprende los años 1980 a 2009.

6.4 Análisis de la efectividad de la interpolación a través de Kriging Ordinario.

6.4.1 Validación Cruzada LOOCV

Como se describió en la metodología, la manera más práctica de verificar la efectividad del método Kriging es a través de la validación cruzada dejando uno fuera, LOOCV, que consiste en tomar el total de datos para efectuar el proceso de cálculo, eliminando secuencialmente un dato a la vez y en donde el cálculo se realiza siempre con $n - 1$ datos, es decir, excluyendo una observación y con los restantes y el modelo de variograma elegido, se predice por medio de Kriging Ordinario el valor de la variable en el punto que se excluyó. Este procedimiento se realiza secuencialmente para cada uno de los puntos, en cada año del periodo y siempre manteniendo $n - 1$ datos de precipitación.

Los parámetros de Error Medio (ME), Error Medio Absoluto (MAE) y Raíz del Error cuadrático medio (RMSE), indican qué tan adecuada es la predicción a través de Kriging. Por otra parte, la Raíz cuadrática media de la desviación (MSDR), indica la efectividad del modelo de variograma utilizado.

Como el cálculo de la validación cruzada se realiza repetitivamente, para cada estimación existe una validación correspondiente. Por ende, en el Anexo 5 se presenta el total de resultados obtenidos por esta validación. La tabla 9 muestra los resultados, a modo de ejemplo, de los parámetros para la duración 0.25 horas y para los distintos años de estudio.

Tabla 10: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV, (error medio (ME), error medio absoluto (MAE), raíz del error cuadrático medio (RMSE) y razón cuadrática media de la desviación (MSDR)), para duración 0.25 horas,

Año	ME	MAE	RMSE	MSDR
1980	-0.014	3.425	4.072	2.087
1981	-0.001	3.485	4.421	2.517
1982	0.053	2.996	3.663	1.716
1983	-0.021	3.307	3.756	1.830
1984	0.014	3.242	3.892	1.923
1985	-0.009	3.074	4.049	2.059
1986	-0.018	2.996	4.067	2.093
1987	-0.049	3.537	5.037	3.128
1988	-0.062	2.573	3.155	1.285
1989	-0.028	2.308	3.006	1.081
1990	-0.040	2.241	2.976	1.124
1991	0.063	2.810	3.794	1.779
1992	-0.011	2.811	3.806	1.702
1993	-0.080	3.304	4.190	2.235
1994	-0.070	1.935	2.544	0.780
1995	-0.017	2.272	3.304	1.360
1996	-0.054	2.043	2.587	0.823
1997	-0.023	2.925	4.161	2.176
1998	-0.019	2.486	2.992	1.145
1999	-0.013	2.027	2.912	1.021
2000	-0.059	2.562	3.351	1.384
2001	0.000	2.454	3.193	1.279
2002	0.015	3.210	4.309	2.289
2003	-0.022	2.586	3.285	1.386
2004	-0.034	2.723	3.638	1.662
2005	-0.012	2.328	3.337	1.392
2006	-0.024	2.093	3.209	1.304
2007	-0.016	2.140	2.646	0.872
2008	0.008	3.033	4.273	2.169
2009	-0.054	2.579	3.520	1.569

De la tabla anterior se observa que según el error medio en el 83.3% de los casos, la estimación Kriging sobreestima los valores de precipitación, puesto que el valor de ME es negativo, aunque dicha sobreestimación es baja, dados los valores analizados.

En este mismo análisis, se sabe que si el RSME es mayor que MAE, se está en presencia de valores atípicos, lo cual es esperable. En

este caso, se advierte en todos los años la presencia de datos atípicos, aunque cabe señalar que la diferencia entre estos parámetros en promedio es muy baja (0.87), lo que habla de un ajuste aceptable.

Por último, el parámetro MSDR arrojó valores con fluctuaciones amplias entre años; sin embargo, la mayoría de los años de la serie analizada entregó valores aceptables dado que, debiendo en teoría acercarse al valor 1, denotó un valor promedio de 1.63 y sólo en el año 1987 mostró un valor de 2.51 para la duración 0.25 horas.

6.4.1 Varianza Kriging

La varianza Kriging indica si el comportamiento de las precipitaciones estimadas es similar a las observadas. Así, valores pequeños de varianza indican una alta precisión de estimación y por el contrario, valores altos indican una precisión baja.

Los siguientes gráficos presentan histogramas de los valores de varianza Kriging clasificados por duración. En este caso no fue necesario separar dichos valores por año o estación, puesto que tanto el método geoestadístico como el modelo de variograma, corresponden al mismo para cada caso.

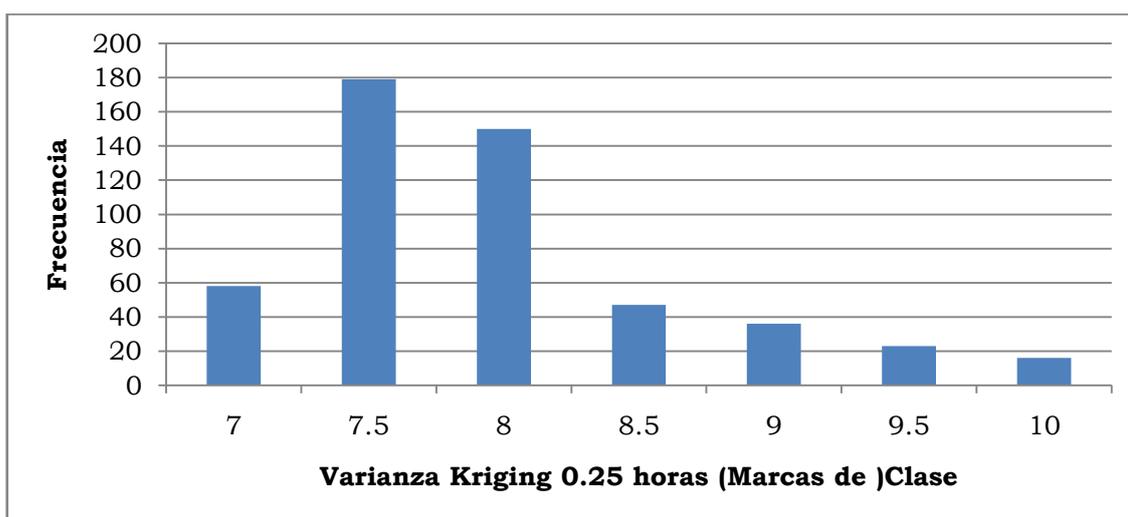


Figura 11: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 0.25 horas.

En la figura 11 se aprecia que de los 540 valores de varianza obtenidos con la predicción de precipitaciones y para la duración 0.25 horas, la mayoría se encuentra en la clase 7.5, que toma valores entre 7.25 y 7.75. Por el contrario, la clase 10, con valores entre 9.75 y 10.25 es la que presenta menos datos.

Varianza Kriging

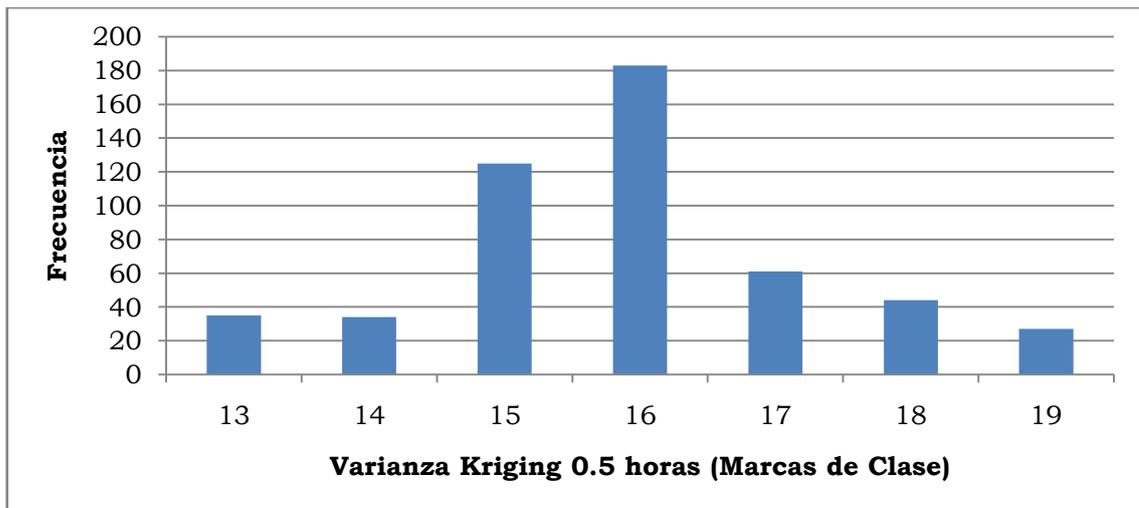


Figura 12: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 0.5 horas.

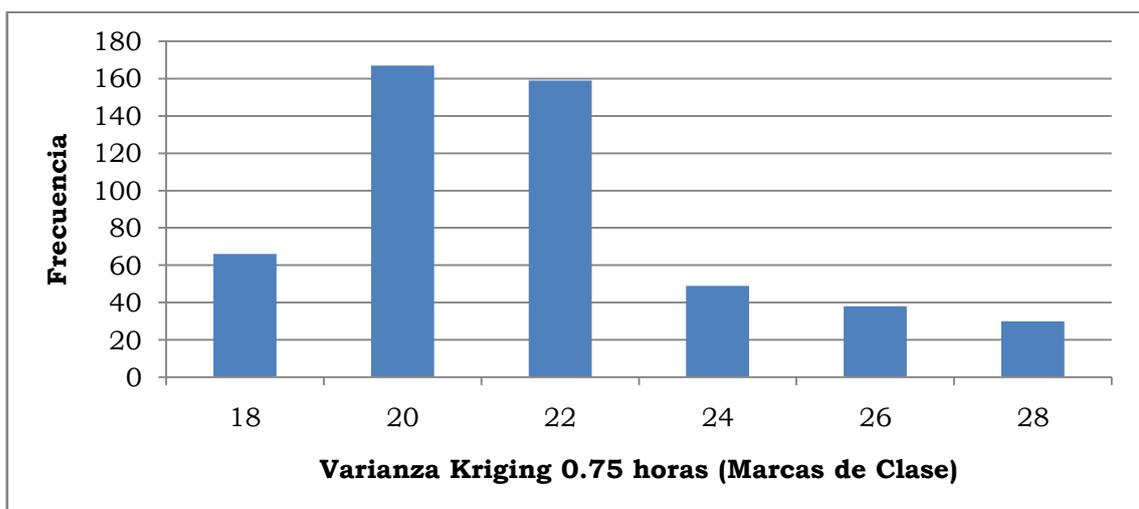


Figura 13: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 0.75 horas.

En las figuras anteriores se destaca que la duración 0.5 (figura 12), presenta varianzas que toman valores de marcas de clase entre 13 y 19, mientras que en la duración 0.75 horas (figura 13) los valores varían entre 18 y 28.

Varianza Kriging

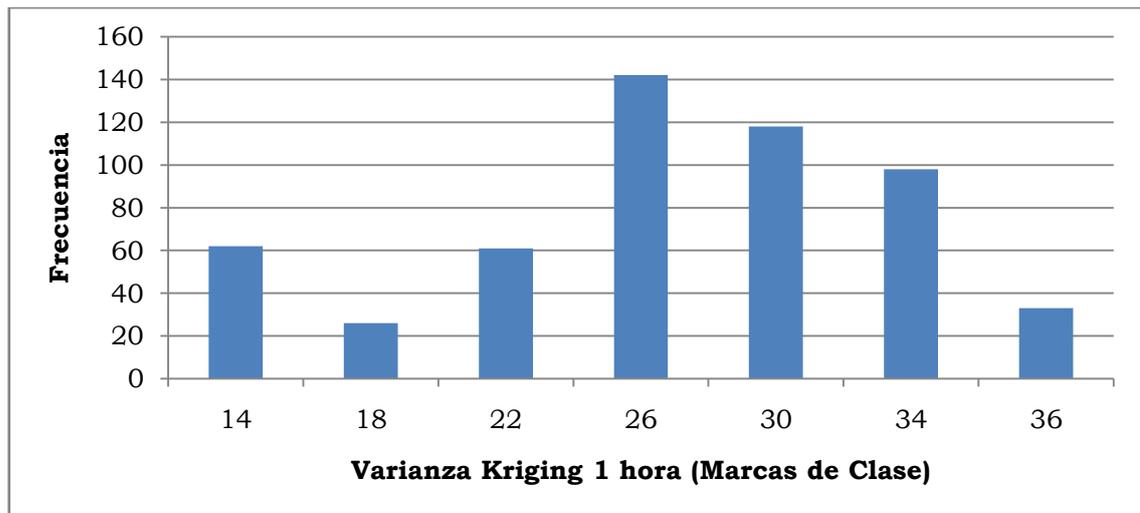


Figura 14: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 1 hora.

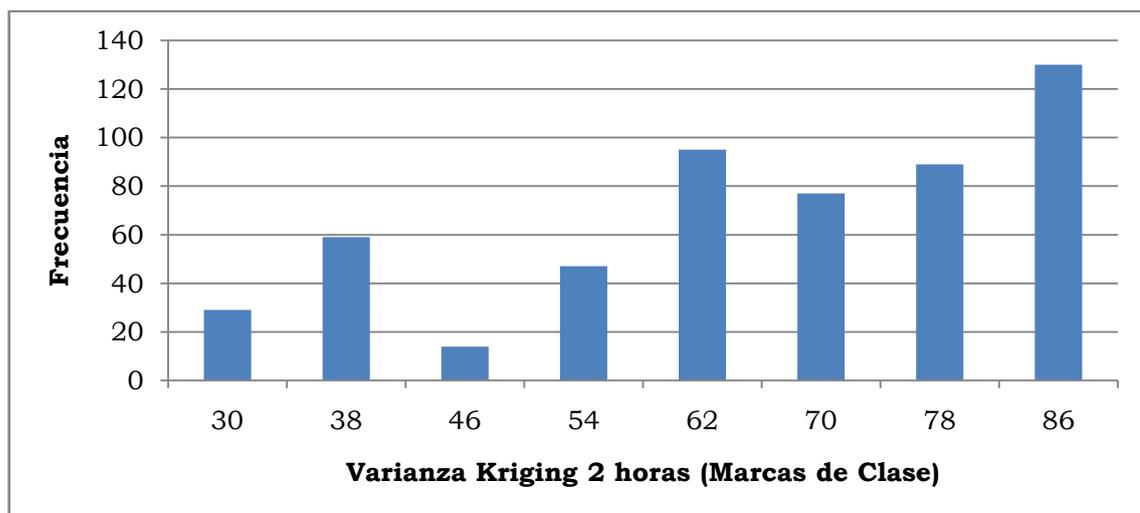


Figura 15: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 2 horas.

De las figuras anteriores se observa que los valores obtenidos de varianza se concentran entre las clases 26 y 34 para la duración 1 hora (figura 14), mientras que para la duración 2 horas la mayoría de los valores se encuentran entre las marcas de clase 62 y 86.

Varianza Kriging

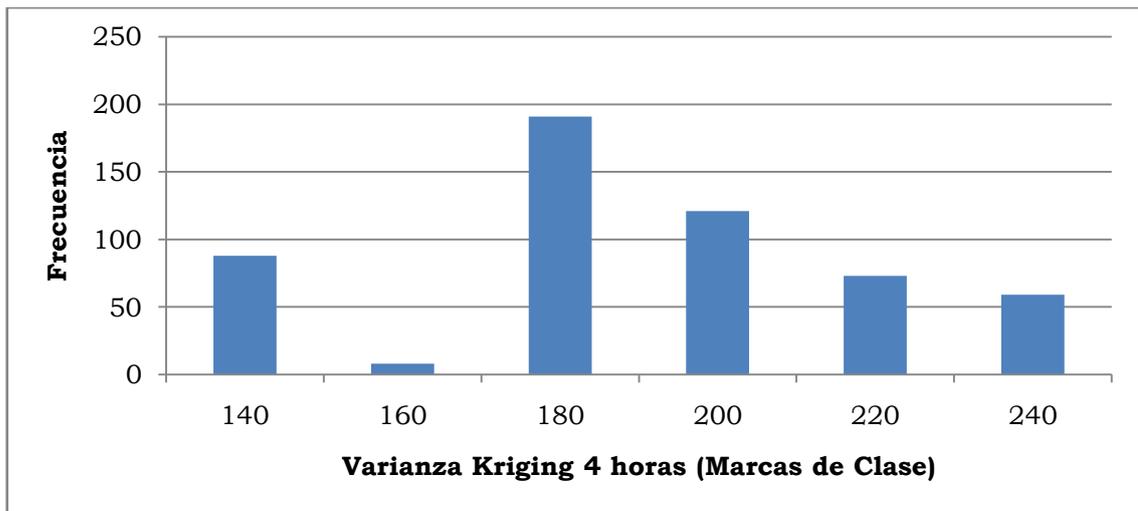


Figura 16: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 4 horas.

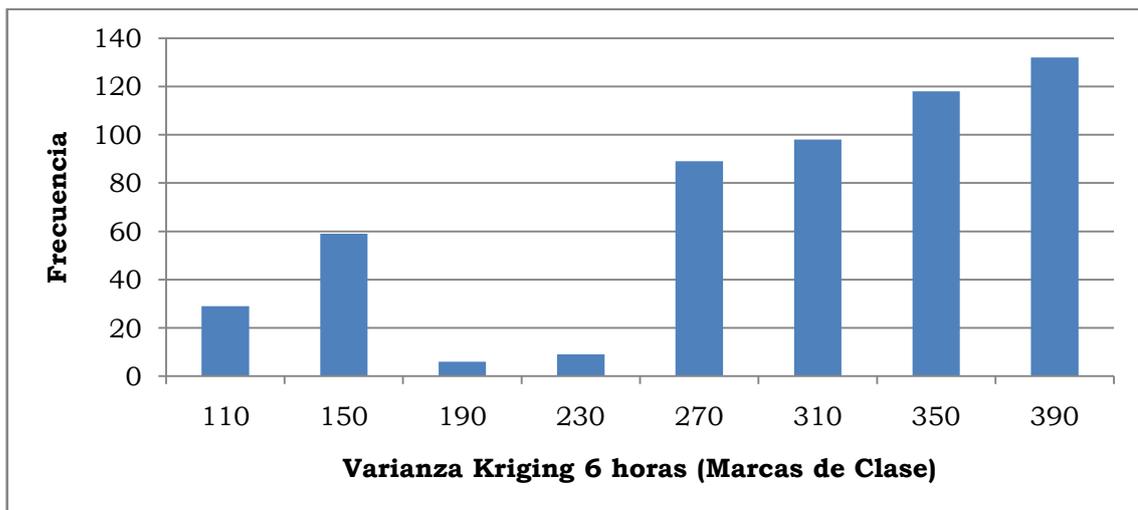


Figura 17: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 6 horas.

En las figuras anteriores se aprecia que la duración 6 horas (figura 17) presenta un rango de valores de varianza Kriging más amplio que los mostrados por la duración 4 horas (figura 16)

Varianza Kriging

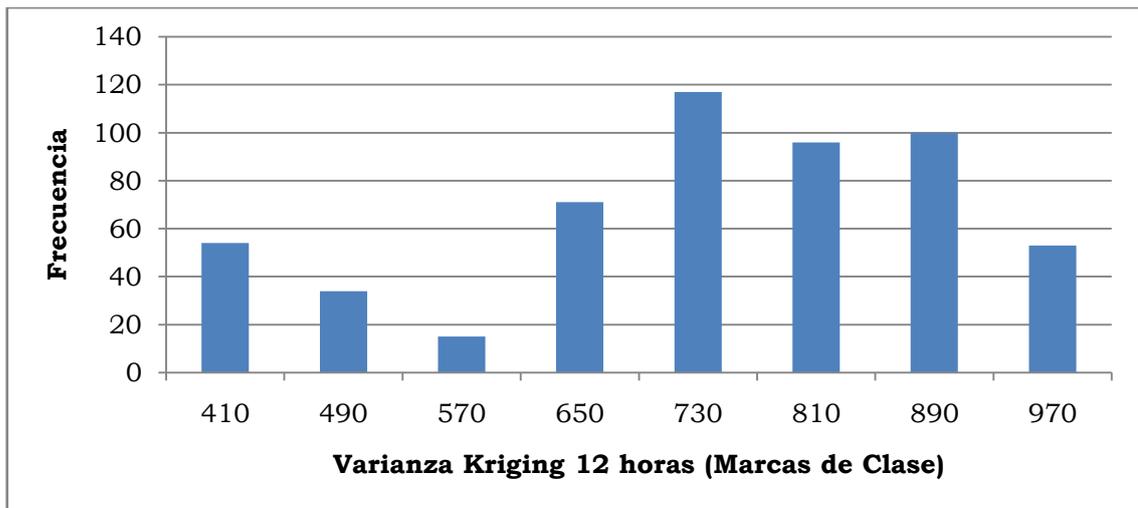


Figura 18: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 12 horas.

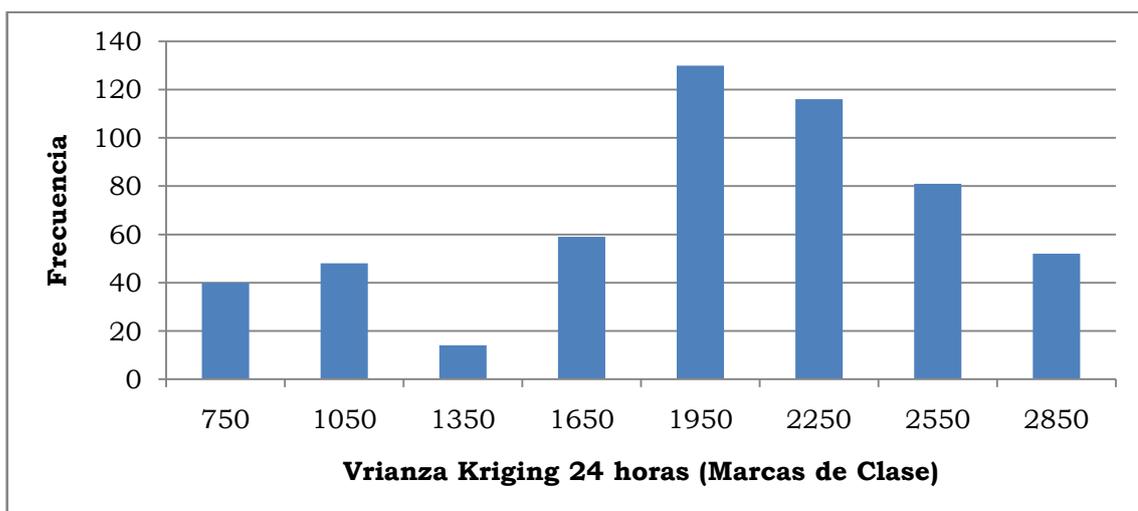


Figura 19: Histograma de Frecuencias de varianzas Kriging, para la duración 24 horas.

De las figuras anteriores se destaca que las varianzas Kriging pueden dividirse en tres grupos de varianza: menores a 100 (0.25, 0.5, 0.75, 1 y 2 horas), menores a mil (4, 6 y 12 horas) y mayores a mil (24 horas).

Lo anterior indica que existe una relación directamente proporcional entre la duración y la varianza Kriging, lo que significa que a medida que la duración aumenta, la efectividad de predicción a través de Kriging Ordinario disminuye.

6.5 Análisis de datos estimados en relación a datos observados de precipitación

La calidad de la predicción de Kriging Ordinario, en función de los datos observados de precipitación, se analizó por medio de los parámetros coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de correlación (r), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (C_v)

En cuanto al error estándar de estimación, se procedió a transformar las precipitaciones observadas y estimadas a intensidades, para así poder contrastarlo con el rango de error establecido, fundamentalmente mediante la ecuación racional, que permitió determinar que para cuencas con una superficie de 100 km², un coeficiente de esorrentía de 0.65 e intensidades máximas cuyas diferencias fuesen de 1.5 mm, el error del caudal máximo estimado es de un 10%, aproximadamente (Cereceda, 2008).

Cabe señalar que respecto a la estación Contulmo, para las duraciones 0.25, 0.5 y 0.75 horas, no se entregan resultados de los parámetros señalados puesto que si bien fue posible realizar la estimación Kriging, no se cuenta con datos observados de precipitación para obtener dichas medidas, debido a dificultades en la obtención de datos desde las bandas pluviográficas.

A continuación se presentan los valores de r , R^2 , EEE y C_v obtenidos, para cada una de las duraciones de precipitación y estaciones pluviográficas seleccionadas previamente en la sección 6.1 de este capítulo.

Tabla 11: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 0.25 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas.

Región	Estaciones	Parámetros			
		r	$R^2(\%)$	EEE	Cv
Metropolitana	Edificio Central Endesa	0.210	4.416	1.181	0.186
	MOP - DGA	0.499	24.884	0.797	0.130
	Quinta Normal	0.354	12.516	0.894	0.145
	San Antonio	0.264	6.953	0.911	0.136
	Embalse Rungue	0.446	19.918	0.964	0.153
	La Obra	0.214	4.586	1.103	0.171
Maule	Digua	0.358	12.802	0.872	0.104
	San Javier	-0.055	0.305	1.019	0.130
	Embalse Ancoa	0.202	4.061	0.833	0.099
	Pencahue	0.339	11.525	0.866	0.112
	Parral	0.344	11.867	0.963	0.114
	Bullileo	0.161	2.589	1.146	0.136
Biobío	Embalse Coihueco	0.149	2.223	1.151	0.135
	Chillán DMC	0.314	9.864	1.307	0.148
	Caracol	0.347	12.022	0.910	0.106
	Polcura en Embalsadero	-0.062	0.391	0.996	0.119
	Carrier sur	0.176	3.091	1.026	0.130
	Contulmo	-	-	-	-
Promedio		0.251	8.471	0.996	0.133

De la tabla anterior, se observa que los valores para el coeficiente de correlación (r) fluctúan entre -0.055 y 0.49, mientras que para el coeficiente de determinación (R) los valores fluctúan entre 0.05% y 34.6%.

Para el caso del error estándar de estimación (EEE), los valores se encuentran entre 0.83 y 1.3, mientras que en el caso del coeficiente de variación (CV), los valores obtenidos varían entre 0.09 y 0.19.

Tabla 12: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 0.5 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas

Región	Estaciones	Parámetros			
		r	$R^2(\%)$	EEE	Cv
Metropolitana	Edificio Central Endesa	0.244	5.943	1.623	0.291
	MOP - DGA	0.559	31.267	1.006	0.140
	Quinta Normal	0.646	41.749	0.965	0.151
	San Antonio	0.456	20.822	1.283	0.127
	Embalse Rungue	0.345	11.925	1.421	0.161
	La Obra	0.393	15.418	1.421	0.109
Maule	Digua	0.267	7.116	1.595	0.138
	San Javier	0.034	0.115	1.365	0.148
	Embalse Ancoa	0.291	8.488	1.484	0.121
	Pencahue	0.292	8.498	1.182	0.148
	Parral	0.211	4.471	1.439	0.145
	Bullileo	0.472	22.312	1.674	0.121
Biobío	Embalse Coihueco	0.095	0.894	1.661	0.119
	Chillán DMC	0.214	4.595	2.070	0.156
	Caracol	0.167	2.796	1.651	0.136
	Polcura en Embalsadero	0.013	0.017	1.501	0.148
	Carrier sur	0.324	10.513	1.375	0.097
	Contulmo				
Promedio		0.296	11.585	1.454	0.144

En la tabla puede observarse que los parámetros r y R^2 presentan los valores más altos en la región Metropolitana y los más bajos en la región del Biobío, mientras que tanto el coeficiente de variación como el error estándar de estimación, se mantiene en un rango constante en todas las duraciones y regiones.

Tabla 13: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 0.75 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas

Región	Estaciones	Parámetros			
		r	R ² (%)	EEE	Cv
Metropolitana	Edificio Central Endesa	0.378	14.308	2.050	0.291
	MOP - DGA	0.632	39.940	1.179	0.136
	Quinta Normal	0.882	77.776	0.699	0.090
	San Antonio	0.341	11.626	1.761	0.149
	Embalse Rungue	0.401	16.053	1.823	0.173
	La Obra	0.451	20.300	1.631	0.110
Maule	Digua	0.489	23.889	1.924	0.131
	San Javier	0.057	0.326	1.769	0.158
	Embalse Ancoa	0.417	17.395	1.687	0.108
	Pencahue	0.346	11.976	1.477	0.142
	Parral	0.190	3.621	2.021	0.162
	Bullileo	0.454	20.636	2.080	0.121
Biobío	Embalse Coihueco	0.236	5.558	2.189	0.119
	Chillán DMC	0.377	14.248	2.341	0.137
	Caracol	0.329	10.809	2.191	0.133
	Polcura en Embalsadero	0.117	1.374	1.905	0.154
	Carrier sur	0.321	10.319	1.808	0.112
	Contulmo				
Promedio		0.378	17.656	1.796	0.143

Para la duración horaria 0.75 horas los parámetros analizados muestran una distribución aleatoria en sus valores, ya que no se detecta un patrón de comportamiento como el mostrado en las duraciones 0.25 y 0.5 horas, donde los valores de dichos parámetros aumentan en sentido Norte – Sur.

Tabla 14: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 1 hora y para las estaciones pluviográficas seleccionadas

Región	Estaciones	Parámetros			
		r	$R^2(\%)$	EEE	Cv
Metropolitana	Edificio Central Endesa	0.114	1.292	2.004	0.234
	MOP - DGA	0.690	47.625	1.235	0.120
	Quinta Normal	0.596	35.514	1.079	0.123
	San Antonio	0.349	12.160	2.150	0.159
	Embalse Rungue	0.514	26.430	2.274	0.186
	La Obra	0.303	9.174	2.165	0.126
Maule	Digua	0.257	6.619	2.826	0.165
	San Javier	0.044	0.189	1.954	0.151
	Embalse Ancoa	0.454	20.616	2.168	0.122
	Pencahue	0.381	14.540	1.561	0.125
	Parral	0.127	1.603	2.339	0.162
	Bullileo	0.184	3.372	2.659	0.131
Biobío	Embalse Coihueco	0.293	8.581	2.669	0.129
	Chillán DMC	0.204	4.152	3.298	0.162
	Caracol	0.228	5.180	2.481	0.122
	Polcura en Embalsadero	4.89E-04	2.39E-05	2.141	0.140
	Carrier sur	0.097	0.935	4.291	0.228
	Contulmo	0.287	8.254	2.027	0.145
Promedio		0.284	11.458	2.295	0.152

En este caso se observa con claridad que los valores de los parámetros más altos ocurren en la región Metropolitana. En cuanto a las regiones del Maule y Biobío, se aprecian valores similares e igualmente bajos entre sí. En el caso del error estándar de estimación, los valores no presentan una tendencia definida, puesto que la mayoría los casos fluctúan en el mismo rango (1.06 y 2.6)

Tabla 15: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 2 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas

Región	Estaciones	Parámetros			
		r	R ² (%)	EEE	Cv
Metropolitana	Edificio Central Endesa	0.243	5.927	2.694	0.314
	MOP - DGA	0.648	41.996	2.454	0.239
	Quinta Normal	0.523	27.378	1.850	0.211
	San Antonio	0.527	27.797	2.764	0.204
	Embalse Rungue	0.490	23.999	3.711	0.303
	La Obra	0.395	15.638	3.714	0.215
Maule	Digua	0.315	9.946	4.372	0.256
	San Javier	0.055	0.307	2.992	0.231
	Embalse Ancoa	0.379	14.382	3.933	0.221
	Pencahue	0.396	15.653	2.320	0.187
	Parral	0.244	5.967	3.728	0.259
	Bullileo	0.149	2.233	4.361	0.215
Biobío	Embalse Coihueco	0.282	7.933	4.363	0.210
	Chillán DMC	0.126	1.600	4.936	0.242
	Caracol	0.320	10.261	3.656	0.180
	Polcura en Embalsadero	0.011	0.012	3.473	0.227
	Carrier sur	0.070	0.494	6.282	0.333
	Contulmo	0.339	11.473	2.916	0.208
Promedio		0.306	12.389	3.584	0.236

En este caso, al igual que en la duración 1 hora, los cuatro parámetros presentan un mejor ajuste en la región Metropolitana; sin embargo, en las regiones del Maule y Biobío los valores son similares, ya que denotan rangos numéricos cercanos.

Tabla 16: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 4 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas

Región	Estaciones	Parámetros			
		r	R ² (%)	EEE	Cv
Metropolitana	Edificio Central Endesa	0.336	11.320	4.508	0.345
	MOP - DGA	0.890	79.137	2.756	0.180
	Quinta Normal	0.680	46.227	3.426	0.266
	San Antonio	0.549	30.098	4.561	0.246
	Embalse Rungue	0.597	35.617	5.021	0.284
	La Obra	0.366	13.379	5.876	0.223
Maule	Digua	0.313	9.775	6.361	0.246
	San Javier	0.224	4.997	4.967	0.275
	Embalse Ancoa	0.360	12.960	6.216	0.224
	Pencahue	0.353	12.486	4.555	0.268
	Parral	0.247	6.119	5.655	0.281
	Bullileo	0.317	10.048	6.248	0.192
Biobío	Embalse Coihueco	0.417	17.428	5.947	0.204
	Chillán DMC	0.210	4.393	6.448	0.203
	Caracol	0.445	19.836	5.763	0.181
	Polcura en Embalsadero	0.008	0.007	5.346	0.224
	Carrier sur	0.205	4.219	8.098	0.336
	Contulmo	0.200	3.982	4.806	0.246
Promedio		0.373	17.890	5.364	0.246

Para la duración 4 horas, los parámetros presentan valores más altos en las estaciones pertenecientes a la región Metropolitana, mientras que para las regiones del Maule y Biobío, los valores son similares, siendo levemente más bajos en la Región del Maule. En cuanto al error estándar de estimación, no se observa una tendencia definida entre regiones, ya que se denotan rangos numéricos cercanos.

Tabla 17: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R²), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 6 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas

Región	Estaciones	Parámetros			
		r	R ² (%)	EEE	Cv
Metropolitana	Edificio Central Endesa	0.385	14.850	5.809	0.283
	MOP - DGA	0.847	71.684	4.245	0.181
	Quinta Normal	0.634	40.227	4.915	0.243
	San Antonio	0.555	30.772	5.628	0.230
	Embalse Rungue	0.515	26.499	7.888	0.291
	La Obra	0.464	21.563	7.952	0.195
Maule	Digua	0.403	16.274	8.327	0.228
	San Javier	0.147	2.163	7.278	0.290
	Embalse Ancoa	0.272	7.424	8.680	0.200
	Pencahue	0.411	16.863	5.637	0.237
	Parral	0.362	13.072	7.180	0.249
	Bullileo	0.286	8.176	8.777	0.175
Biobío	Embalse Coihueco	0.593	35.125	6.757	0.171
	Chillán DMC	0.313	9.828	7.454	0.153
	Caracol	0.426	18.182	7.453	0.157
	Polcura en Embalsadero	-0.136	1.861	6.683	0.169
	Carrier sur	0.092	0.847	12.01 2	0.402
	Contulmo	0.328	10.790	6.010	0.207
Promedio		0.383	19.233	7.149	0.226

En este caso, la tabla 17 indica que los valores más altos observados en los 4 parámetros ocurren en la región Metropolitana, mientras que en la región del Maule y Biobío, los valores son más bajos y más variables entre estaciones.

Por otra parte en cuanto al error estándar de estimación, los valores aumentan en dirección Norte – Sur.

Tabla 18: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 12 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas

Región	Estaciones	Parámetros			
		r	$R^2(\%)$	EEE	Cv
Metropolitana	Edificio Central Endesa	0.753	56.767	7.043	0.269
	MOP - DGA	0.895	80.139	6.063	0.208
	Quinta Normal	0.711	50.484	8.039	0.317
	San Antonio	0.693	48.060	8.359	0.282
	Embalse Rungue	0.643	41.342	11.501	0.341
	La Obra	0.563	31.735	12.081	0.235
Maule	Digua	0.494	24.442	12.596	0.268
	San Javier	0.399	15.903	11.102	0.366
	Embalse Ancoa	0.191	3.648	15.061	0.261
	Pencahue	0.422	17.773	9.703	0.322
	Parral	0.545	29.733	10.591	0.289
	Bullileo	0.345	11.896	13.135	0.195
Biobío	Embalse Coihueco	0.602	36.266	11.268	0.223
	Chillán DMC	0.421	17.701	11.798	0.194
	Caracol	0.593	35.182	11.669	0.193
	Polcura en Embalsadero	-0.106	1.119	10.702	0.202
	Carrier sur	0.273	7.455	13.431	0.360
	Contulmo	0.401	16.044	9.711	0.260
Promedio		0.491	29.205	10.770	0.266

En la tabla anterior se observa que en el error estándar de estimación, el coeficiente de correlación y el de determinación, se mantiene la tendencia Norte - Sur entre los valores, puesto que éstos son más altos en la Región Metropolitana y en las regiones del Maule y Biobío más bajos, aunque entre estas últimas se aprecia una leve diferencia.

Tabla 19: Valores del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de variación (Cv), correspondientes a la duración 24 horas y para las estaciones pluviográficas seleccionadas

Región	Estaciones	Parámetros			
		r	R ² (%)	EEE	Cv
Metropolitana	Edificio Central Endesa	0.704	49.549	12.956	0.269
	MOP - DGA	0.889	79.017	10.154	0.194
	Quinta Normal	0.707	50.023	12.484	0.268
	San Antonio	0.675	45.580	14.999	0.299
	Embalse Rungue	0.657	43.172	18.852	0.289
	La Obra	0.602	36.204	40.827	0.415
Maule	Digua	0.546	29.798	22.142	0.238
	San Javier	0.414	17.142	17.340	0.334
	Embalse Ancoa	0.274	7.495	25.923	0.230
	Pencahue	0.464	21.496	15.504	0.289
	Parral	0.556	30.862	18.970	0.284
	Bullileo	0.516	26.649	21.200	0.146
Biobío	Embalse Coihueco	0.647	41.836	20.173	0.198
	Chillán DMC	0.526	27.653	23.770	0.177
	Caracol	0.711	50.515	18.193	0.137
	Polcura en Embalsadero	0.059	0.346	18.318	0.163
	Carrier sur	0.324	10.518	22.535	0.355
	Contulmo	0.448	20.078	16.591	0.225
Promedio		0.540	32.663	19.496	0.251

En la tabla anterior se aprecia que los valores del coeficiente de correlación y de determinación, se mantienen en los mismos rangos para las tres regiones. En cuanto al error estándar de estimación, se observa que la mayoría de los valores superan los 10 mm y se destaca el valor entregado en la estación La Obra, el que corresponde a 40.82 mm.

De las tablas anteriores (Tablas 11 a 19), se desprende que los cuatro parámetros analizados presentan un comportamiento similar en cuanto a duraciones. En el caso del coeficiente de correlación, las mayores relaciones entre precipitación estimada y observada se encuentran en las duraciones mayores a partir de la duración 6 horas. Este comportamiento se asemeja en cuanto al coeficiente de determinación, el que presenta los valores mayores en las duraciones 12 y 24 horas.

En cuanto al error estándar de estimación (EEE), presenta un comportamiento similar al observado en las varianzas Kriging, donde los valores del parámetro aumentan a medida que aumenta la duración horaria.

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Estaciones disponibles

Como se mencionó anteriormente, el estudio definió una etapa previa, donde se verificó la disponibilidad de información por año, seleccionando así un período de treinta años que es el período común con que cuenta la mayor cantidad de estaciones que presentan registro de precipitaciones. Así, el período seleccionado comprendió un total de 46 estaciones; sin embargo, la cantidad de estaciones por Región fue variable, donde el mayor aporte de información lo entregó la Región del Maule con 18 estaciones, mientras que tanto la Región Metropolitana como la del Biobío presentaron 14 estaciones cada una.

Debido a que la efectividad de la técnica Kriging, en primera instancia está dada por la cantidad de puntos georreferenciados con información, a continuación se presenta una tabla que indica la densidad de estaciones por región.

Tabla 20: Densidad promedio de estaciones por Región en km²

Región	Densidad (Km² cubiertos por una estación)
Metropolitana	1111.04
Maule	1692.72
Biobío	2646.21
O'Higgins	16,365.0
Total	2161.64

De la Tabla 20 se observa que la densidad de estaciones por Región sobrepasa los 1000 km² en todos los casos. Por otra parte, se aprecia que la densidad total se ve influenciada por la Región de

O'Higgins, ya que en promedio ésta es mayor en superficie con respecto a la Región del Maule y Metropolitana.

Cabe señalar que si bien la región de O'Higgins no forma parte del estudio, no es posible ignorarla, pues se ubica en medio de dos regiones con datos; por esto la construcción del variograma se ve afectada por la carencia de los datos de esta Región, ya que es una superficie que no cuenta con información.

Debido a la gran superficie que comprende la zona de estudio, se considera que hay carencia de estaciones, puesto que otros estudios similares realizados, presentan una densidad promedio de 56.0 estaciones por Km², como el efectuado por Kastelec *et al.* (2002). Por esto se presume que la densidad observada podría afectar la calidad de la predicción. Sin embargo, los valores de las varianzas Kriging, indican que la estimación no se ve afectada tan negativamente porque los valores sin ser totalmente significativos, son aceptables.

7.2 Análisis de variogramas

Como se indicó anteriormente, el variograma expresa la variabilidad y relación espacial presente en la zona de estudio. Así, los parámetros Nugget, Sill o Umbral y Rango del variograma exponencial, varían de acuerdo a cada duración. Esta tendencia se muestra en los siguientes gráficos.

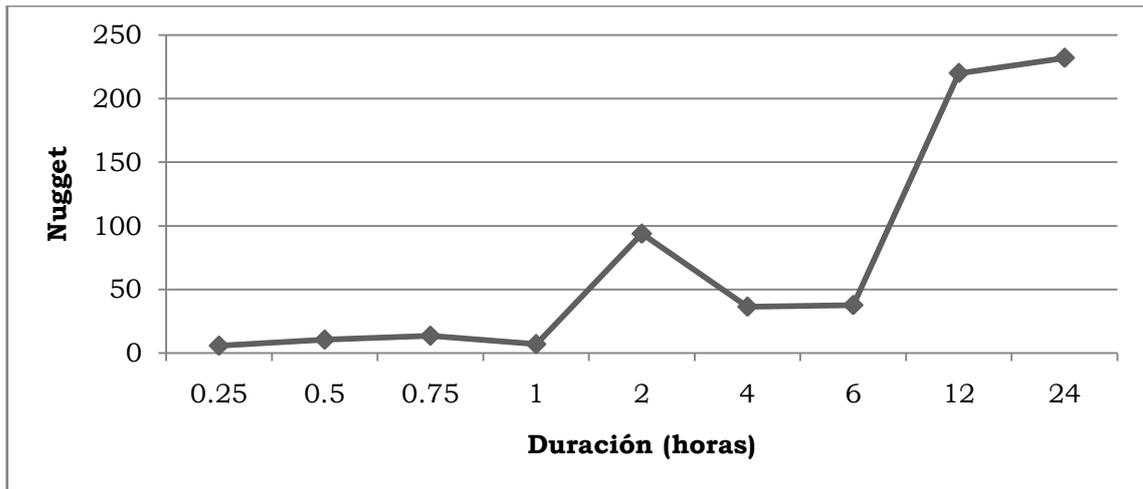


Figura 20: Variación del parámetro Nugget en función de la duración horaria, perteneciente al variograma exponencial

De la Figura 20 se observa que hasta la duración 1 horas la variación es selectivamente constante y baja. Luego, entre las duraciones 2 y 6 horas el Nugget aumenta 6 veces el promedio de las duraciones menores a 1 hora. A partir de esta duración, se incrementa dicha variación de forma exponencial, llegando a valores 17 veces superiores al promedio del Nugget en las duraciones menores a 1 hora. Esto se traduce en que a partir de la duración 2 horas, se verifica un incremento de la influencia de las distancias menores en el valor del parámetro, por sobre la influencia que generan las distancias promedio.

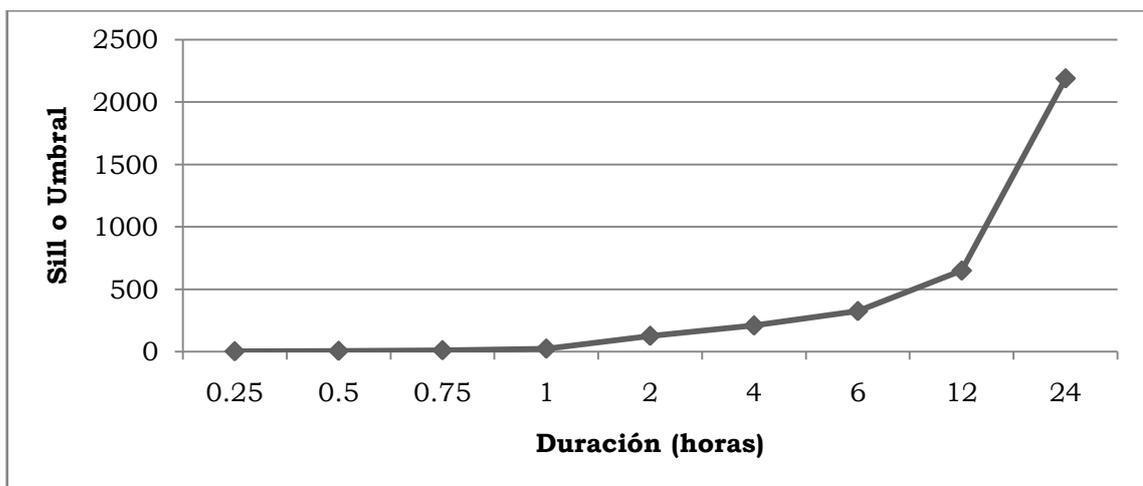


Figura 21: Variación del parámetro Sill del variograma Exponencial en función de la duración

La figura 21 manifiesta la evidente tendencia exponencial positiva en el aumento del Sill a través de las duraciones horarias, lo que se traduce en que a medida que la duración horaria aumenta, el valor límite del variograma, cuando éste se hace estable, también se incrementa.

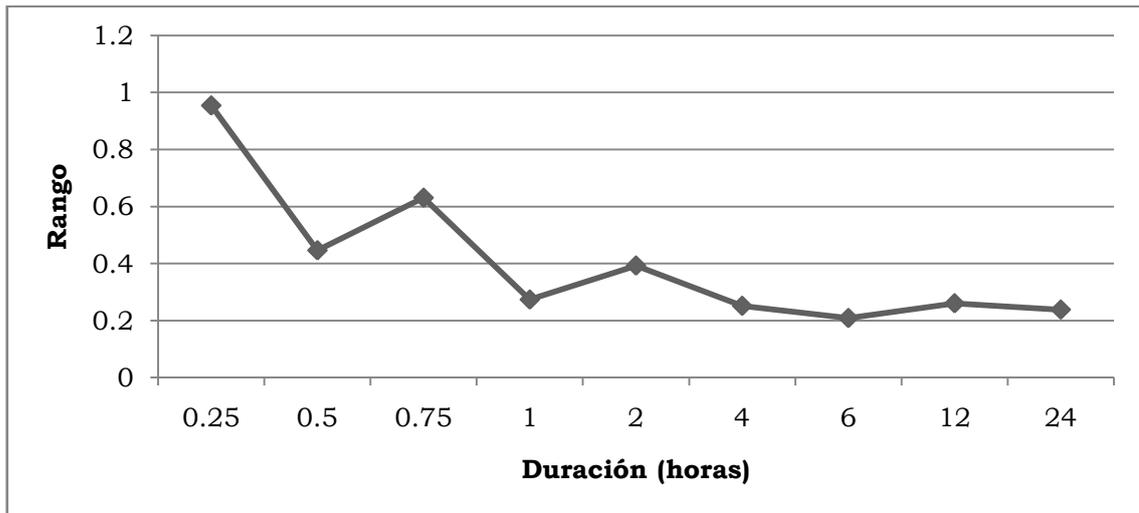


Figura 22: Variación del parámetro Rango del variograma Exponencial en función de la duración

Con la figura 22 muestra una tendencia exponencial negativa del Rango, lo que indica que cuando la duración aumenta, la confiabilidad de la estimación disminuye, dado que un rango bajo denota una menor incidencia de la distancia entre estaciones.

e verifica una disminución en la distancia a partir de la cual la relación espacial entre dos estaciones pluviográficas desaparece.

7.3 Estimación a través de Kriging Ordinario

7.3.1 Análisis del Modelo Kriging

Con la finalidad de verificar si el modelo de predicción Kriging explica la relación espacial existente en el área de estudio, se analizaron las medidas de los errores a través de la validación cruzada.

Como se mencionó anteriormente, se cuenta con una gran cantidad de datos; por esto, a continuación se presentan los valores promedios de los parámetros de validación cruzada por cada duración.

Tabla 21: Valores promedio de los parámetros obtenidos del método validación cruzada dejando uno fuera (LOOCV: leave one out cross validation) error medio (ME), error medio absoluto (MAE), raíz del error cuadrático medio (RMSE) y razón cuadrática media de la desviación (MSDR).

Duración (Horas)	ME	MAE	RMSE	MSDR
0.25	-0.020	2.717	3.572	1.639
0.5	-0.015	3.612	4.802	1.525
0.75	-0.039	4.244	5.675	1.564
1	0.026	3.603	4.737	0.943
2	-0.005	9.555	12.977	0.962
4	-0.019	9.709	13.165	0.944
6	0.057	11.793	15.358	0.865
12	0.068	18.521	24.268	0.879
24	0.154	27.972	36.705	0.788

De la tabla anterior se aprecia que en los errores medios se distinguen tres grupos; las duraciones 2, 4 y 0.5 horas, los que presentan los valores medios más bajos; las duraciones 0.25, 0.75 y

1 horas, que presentan valores intermedios y de 6 a 24 horas, con los valores más altos. Así mismo, cuatro duraciones (0.25, 0.5, 0.75, 2 y 4 horas) presentan un error negativo, lo que indica que los valores estimados son mayores que los observados. Por el contrario, para las demás duraciones, existen subestimaciones de los valores observados.

En cuanto al error medio absoluto se aprecia que éstos aumentan a medida que lo hace la duración, salvo la duración 1 hora, que es la que presenta el segundo valor más bajo. El mismo caso ocurre con la raíz del error cuadrático medio. Al comparar estos parámetros, se observa que en el 100% de los casos, en cuanto a duración y año, existe la presencia de valores atípicos, lo que podría deberse a la distribución espacial de las precipitaciones en cuanto a la altura y microclimas.

Por otra parte, la razón cuadrática media de la desviación no presenta un patrón en cuanto a duración, pero a su vez se muestra que los modelos del variograma Exponencial son considerados aceptables al encontrarse los valores cercanos a 1.

7.3.1 Análisis del comportamiento de varianzas Kriging

Como se mencionó en la metodología, para cada predicción de Kriging Ordinario, se obtuvo también un valor de varianza; ésta indica la precisión de la predicción de las precipitaciones. Si los valores son bajos, significa que la predicción tiene buena calidad; por el contrario, si los valores son altos indica que la predicción se aleja de lo esperado en la zona, según los valores observados que la rodean.

Debido a que se realizó un total de 4.860 predicciones, se desprende que se obtuvo el mismo número de valores de varianza Kriging y por esto a continuación se presenta una tabla con los valores

máximos, mínimo, promedio y coeficiente de variación, para cada una de las duraciones y las regiones estudiadas.

Tabla 22: Resumen de valores obtenidos en varianza Kriging para cada duración y región.

Duración (horas)	Máximo	Mínimo	Promedio	Coeficiente de variación
Región Metropolitana				
0.25	9.205	6.583	7.663	0.108
0.5	17.764	12.452	14.895	0.118
0.75	25.631	16.171	20.117	0.152
1	33.613	10.764	20.569	0.763
2	228.920	120.812	162.999	0.227
4	259.181	62.476	149.190	1.142
6	381.800	74.128	219.691	1.527
12	912.105	331.344	586.068	0.633
24	2545.895	451.971	1393.008	1.687
Región del Maule				
0.25	8.376	7.211	7.541	0.031
0.5	16.753	14.431	15.248	0.033
0.75	23.148	18.943	20.290	0.044
1	30.302	21.424	25.587	0.113
2	207.065	161.655	179.317	0.061
4	233.815	159.554	195.677	0.130
6	354.104	249.236	303.625	0.121
12	835.642	614.951	719.717	0.098
24	2297.755	1526.374	1910.120	0.144
Región del BíoBío				
0.25	9.886	7.377	8.161	0.098
0.5	18.382	14.543	16.204	0.075
0.75	27.372	19.215	22.275	0.117
1	34.169	18.457	28.512	0.280
2	236.001	157.948	199.849	0.135
4	262.819	128.523	217.728	0.339
6	384.816	189.810	327.919	0.325
12	924.463	540.247	789.403	0.232
24	2577.852	1157.170	2122.803	0.396

De la tabla anterior, se observa que al verificar los valores promedio de varianza obtenidos, se encuentra que éstos aumentan de Norte a Sur, lo que indica que la calidad de predicción es mejor en la Región Metropolitana y de menor calidad en la Región del Biobío.

Por otra parte, al realizar un contraste entre duraciones, se obtiene que los valores de varianza presentaron un patrón de comportamiento que se repite en las tres regiones, donde los valores de varianza aumentan a medida que aumenta la duración

La siguiente figura muestra el comportamiento de las varianzas Kriging promedio para cada duración.

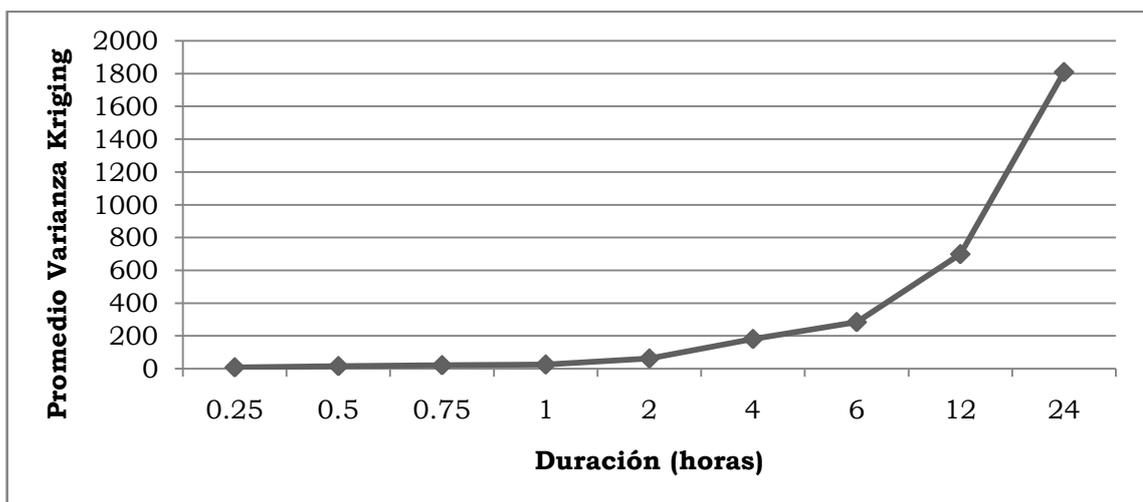


Figura 23: Varianza Kriging promedio del total de datos del área de estudio y para cada duración.

La figura anterior, muestra el promedio de varianzas Kriging por duración, en el que es posible definir tres rangos de valores para las duraciones. El primero, que está comprendido entre la duración 0.25 y 1 horas, donde los valores se encuentran entre 11.7 y 24.1; el segundo rango incluye a las duraciones entre 2 y 6 horas, y sus valores varían entre 61.7 y 283.7; el tercer rango de varianza corresponde a los valores

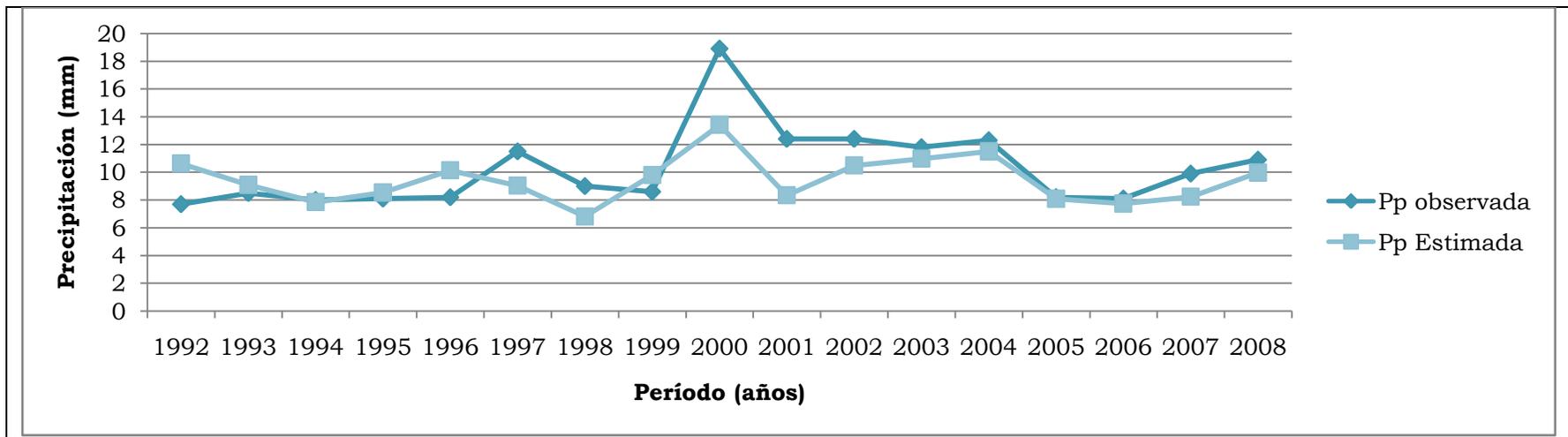
obtenidos de las duraciones 12 y 24 horas, cuyos valores corresponden a 698.3 y 1808.6 respectivamente.

7.4 Comparación de las precipitaciones estimadas en función de los valores reales.

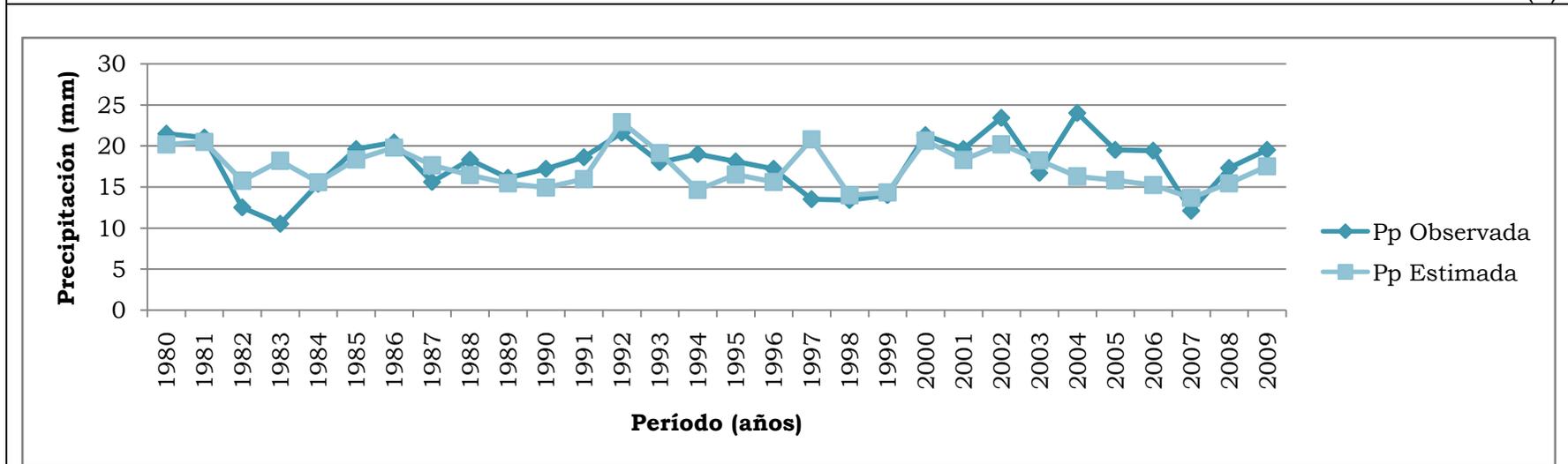
El objetivo de esta caracterización, fue verificar el comportamiento de los valores estimados respecto a los valores observados.

La figura 24, a modo de ejemplo indica que visualmente los valores estimados fluctúan de forma aleatoria entre años, duraciones y estaciones.

A su vez, se observa que la predicción no presenta sensibilidad frente a valores extremos, ya que mantiene un rango definido, que en el 60% de los casos analizados es mayor a la precipitación observada.



(a)



(b)

Figura 24: Contraste entre precipitaciones estimadas y observadas, de la duración 1 hora. Pertenecientes a la estación MOP - DGA, Región Metropolitana (a) y la estación Embalse Ancoa, Región del Maule

En la figura anterior se observa que las diferencias entre los valores de precipitación observada y estimada, son al azar y dependen de cada año y de la estación en la que se predice. Esto se debe al efecto del modelo de Variograma Exponencial en el punto que se desea estimar, puesto que si la estación a predecir se encuentra cercana a datos observados, su efectividad será mejor que la estimación de una estación que se encuentra aislada.

Por otra parte y como se mencionó anteriormente, el método no detecta valores extremos de precipitación, lo que es posible verificarlo al contrastar los valores máximos y mínimos de las precipitaciones observadas y estimadas para cada duración horaria, lo que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 23: Valores máximos y mínimos de precipitación observada y estimada para cada duración horaria.

Duración (horas)	Valor observado		Valor Estimado	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
0.25	1.98	20.69	4.2	11.4
0.5	2.76	39.1	6.1	17.8
0.75	3.55	44.1	6.7	20.4
1	4.3	46.2	6.6	31.9
2	7.1	57.2	14.8	64.3
4	8.0	80.61	13.2	72.2
6	9.0	113.4	15.3	86.2
12	10.0	184.5	18.4	114.2
24	10.0	257.3	17.5	173.5

De la tabla anterior se observa que el valor mínimo estimado es superior al observado en todas las duraciones. No obstante, no ocurre lo mismo con los valores máximos, donde se observa que los eventos extremos de precipitación observada no son detectados por la técnica Kriging en ninguna de las estaciones pluviográficas analizadas.

7.5 Análisis de predicción por estaciones pluviográficas

Al verificar en detalle los resultados obtenidos de las varianzas Kriging, es posible determinar, según este criterio, qué estación pluviográfica presentó mejor predicción, de acuerdo al valor promedio de varianza Kriging más bajo observado en cada duración.

A continuación se presentan para cada duración horaria, las dos estaciones que según la varianza Kriging promedio presentan la más alta y más baja certeza de predicción.

Tabla 24: Estaciones mejor y peor predichas a través de Kriging Ordinario, para cada duración.

Duración (horas)	Predicción más confiable		Predicción menos confiable	
	Estación	Media varianza Kriging	Estación	Media varianza Kriging
0.25	MOP – DGA	7.744	Carrier Sur	9.778
0.5	MOP – DGA	14.492	Carrier Sur	18.346
0.75	MOP – DGA	19.364	Carrier Sur	27.150
1	Edificio Central Endesa	20.365	Contulmo	34.158
2	Edificio Central Endesa	50.537	Contulmo	84.185
4	Edificio Central Endesa	158.688	Contulmo	236.001
6	Edificio Central Endesa	233.579	Contulmo	384.596
12	Edificio Central Endesa	587.970	Contulmo	924.035
24	Edificio Central Endesa	1421.714	Contulmo	2576.940

En la tabla anterior se aprecia que la estación mejor estimada corresponde a MOP – DGA en duraciones menores a una hora y Edificio Central Endesa en las duraciones mayores a una hora, mientras que la estación que presenta una predicción menos confiable es Carrier Sur en duraciones menores a 1 hora y Contulmo en duraciones mayores.

7.6 Análisis estadístico

7.6.1 Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación define qué proporción de la variación total es explicada por el modelo; este parámetro fue utilizado para determinar la idoneidad del modelo geoestadístico empleado, cuyo resumen de valores obtenidos se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 25: Resumen de los valores obtenidos del Coeficiente de Determinación (R^2) para cada Región y duración.

Duración (horas)	Mínimo	Máximo	Promedio	Coeficiente de variación
Región Metropolitana				
0.25	4.416	24.884	12.212	0.701
0.5	5.943	41.749	21.187	0.625
0.75	11.626	77.776	30.001	0.850
1	1.292	47.625	22.032	0.799
2	11.320	79.137	35.963	0.695
4	6.723	73.030	32.896	0.718
6	14.850	71.684	34.266	0.590
12	31.735	80.139	51.421	0.320
24	36.204	79.017	50.591	0.293
Región del Maule				
0.25	0.305	12.802	7.192	0.763
0.5	0.115	22.312	8.500	0.879
0.75	0.326	23.889	12.974	0.728
1	0.189	20.616	7.823	1.034
2	4.997	12.960	9.398	0.346
4	4.832	12.371	8.421	0.355
6	2.163	16.863	10.662	0.538
12	3.648	29.733	17.232	0.534
24	7.495	30.862	22.240	0.400

Tabla 26: (Continuación) Resumen del Coeficiente de Determinación para la Región del Biobío

Duración (horas)	Mínimo	Máximo	Promedio	Coeficiente de variación
Región del Biobío				
0.25	0.391	12.022	5.518	0.925
0.5	0.017	10.513	3.763	1.107
0.75	1.374	14.248	8.462	0.594
1	4.94E-05	8.581	4.517	0.794
2	0.007	19.836	8.311	0.986
4	0.157	18.346	7.076	1.119
6	0.847	35.125	12.772	0.992
12	1.119	36.266	18.961	0.755
24	0.346	50.515	25.158	0.751

De las tablas anteriores, se observa que los valores poseen un alto nivel de fluctuación sin presentar tendencias definidas para las regiones de estudio.

Cabe destacar que según lo que indica este parámetro, la mejor estimación de precipitación ocurre en la Región Metropolitana y la predicción de más baja confiabilidad es en la Región del Maule.

Por otra parte, al analizar este parámetro en función de cada duración, se aprecia un incremento a medida que aumenta la duración, lo que indicaría que a medida que dicha duración aumenta, también lo hace la proporción de variación total de las precipitaciones estimadas que es explicada por las observadas.

7.6.1 Coeficiente de Correlación.

El coeficiente de correlación mide el grado de relación lineal entre las precipitaciones observadas y estimadas. En este caso se aplicó para determinar si los datos de precipitación observada tienen el mismo comportamiento que los de precipitación estimada.

En la siguiente tabla se muestra un resumen del comportamiento del coeficiente de correlación para cada región y duración correspondiente.

Tabla 27: Valores máximo, mínimo, promedio y coeficiente de variación de los valores obtenidos del coeficiente de correlación.

Duración (horas)	Mínimo	Máximo	Promedio	Coeficiente de variación
Región Metropolitana				
0.25	0.210	0.499	0.331	0.369
0.5	0.244	0.646	0.441	0.331
0.75	0.341	0.882	0.514	0.403
1	0.114	0.690	0.428	0.496
2	0.336	0.890	0.570	0.361
4	0.259	0.855	0.540	0.392
6	0.385	0.847	0.567	0.284
12	0.563	0.895	0.710	0.157
24	0.602	0.889	0.706	0.138
Región del Maule				
0.25	-0.055	0.358	0.225	0.711
0.5	0.034	0.472	0.261	0.543
0.75	0.057	0.489	0.326	0.519
1	0.044	0.454	0.241	0.645
2	0.224	0.360	0.302	0.184
4	0.220	0.352	0.286	0.182
6	0.147	0.411	0.314	0.319
12	0.191	0.545	0.399	0.311
24	0.274	0.556	0.462	0.230

Tabla 28: (Continuación), resumen de parámetro Coeficiente de correlación para las Región del Biobío

Duración (horas)	Mínimo	Máximo	Promedio	Coeficiente de variación
Región del Biobío				
0.25	-0.062	0.347	0.185	0.878
0.5	0.013	0.324	0.163	0.725
0.75	0.117	0.377	0.276	0.371
1	0.000	0.293	0.185	0.622
2	0.008	0.445	0.248	0.653
4	0.040	0.428	0.219	0.760
6	-0.136	0.593	0.269	0.954
12	-0.106	0.602	0.364	0.719
24	0.059	0.711	0.452	0.524

De las tablas anteriores, al observar los valores máximos y mínimos de los valores de coeficiente de correlación, se destaca que los coeficientes más altos se observaron en la Región Metropolitana, lo que significa que en esta región se encuentra la mayor proporción de datos observados que presentan similar comportamiento que la precipitación estimada a través de Kriging Ordinario.

Sin embargo, al observar los promedios obtenidos por duración, se aprecia que los rangos de valores son similares para las regiones Metropolitana y Maule, mientras que los más bajos se encuentran en la Región del Biobío, lo que es confirmado con los altos valores de coeficiente de variación obtenidos, lo que significa que si bien los valores máximos se encuentran por sobre 0.6 en la mayoría de los casos, hay una gran variabilidad para cada estación.

Por otra parte, al igual que en el caso del coeficiente de determinación, se observó que el coeficiente de correlación, presenta una tendencia entre duraciones, donde a medida que aumenta la duración, también lo hace el coeficiente de correlación.

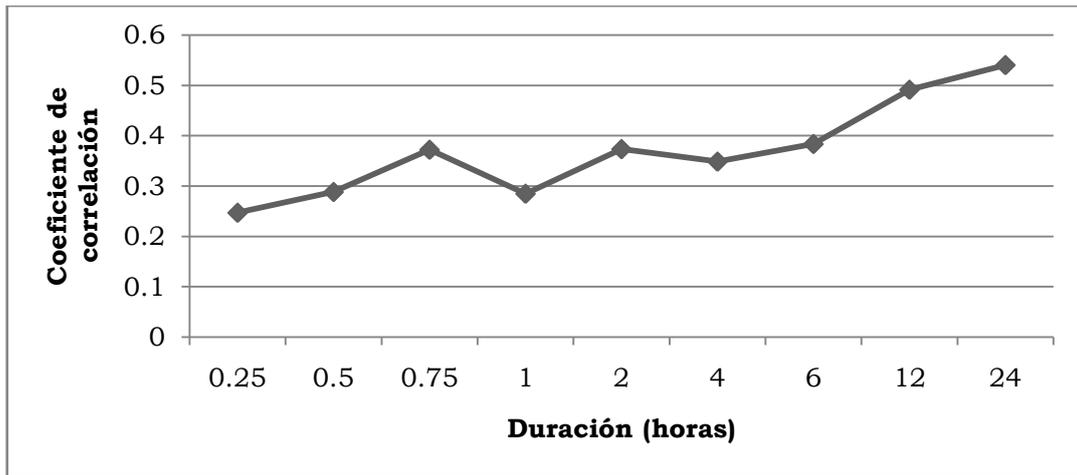


Figura 25: Valores promedio del coeficiente de correlación obtenidos para cada duración.

7.6.2 Error estándar de estimación

El error estándar de estimación mide la disparidad promedio entre las precipitaciones observadas y estimadas, donde los valores cercanos a 0 indican que la predicción a través de Kriging Ordinario hace una muy acertada descripción de las precipitaciones. En la siguiente tabla se muestra un resumen de los valores obtenidos.

Tabla 29: Valores máximo, mínimo, promedio y coeficiente de variación para el parámetro Error Estándar de Estimación

Duración (horas)	Mínimo	Máximo	Promedio	Coficiente de variación
Región Metropolitana				
0.25	0.797	1.181	0.975	0.146
0.5	0.965	1.623	1.287	0.200
0.75	0.699	2.050	1.524	0.326
1	1.079	2.274	1.818	0.287
2	2.756	5.876	4.358	0.256
4	3.342	6.081	4.642	0.236
6	4.245	7.952	6.073	0.253
12	6.063	12.081	8.848	0.274
24	10.154	18.852	18.378	0.619
Región del Maule				
0.25	0.833	1.146	0.950	0.125
0.5	1.182	1.674	1.457	0.119
0.75	1.477	2.080	1.826	0.124
1	1.561	2.826	2.251	0.206
2	4.555	6.361	5.667	0.133
4	4.505	7.072	6.052	0.166
6	5.637	8.777	7.647	0.157
12	9.703	15.061	12.031	0.162
24	15.504	25.923	20.180	0.184

Tabla 30: (Continuación), resumen de parámetro Error Estándar de Estimación para la Región del Biobío

Duración (horas)	Mínimo	Máximo	Promedio	Coefficiente de variación
Región del Biobío				
0.25	0.910	1.307	1.078	0.143
0.5	1.375	2.070	1.652	0.159
0.75	1.808	2.341	2.087	0.106
1	2.027	4.291	2.818	0.302
2	4.806	8.098	6.068	0.188
4	4.769	10.385	6.582	0.311
6	6.010	12.012	7.728	0.280
12	9.711	13.431	11.430	0.109
24	16.591	23.770	19.930	0.139

En la tabla anterior es posible apreciar que los valores promedio obtenidos del error estándar de estimación, presentan un comportamiento similar en las regiones Metropolitana y Maule, mientras que la Región del Biobío es la que presenta los valores más altos. Esto se confirma al observar los valores máximos y mínimos para cada región.

Sin embargo, al analizar los coeficientes de variación, ocurre que la tendencia antes mencionada se invierte, ya que los valores que presentan una variación menor en cada duración horaria se encuentran en la Región del Maule y los más elevados en la Región Metropolitana.

Por otra parte, al contrastar los valores promedios entre las duraciones horarias del error estándar de estimación, se aprecia una tendencia exponencial positiva, lo que se muestra en la siguiente figura.

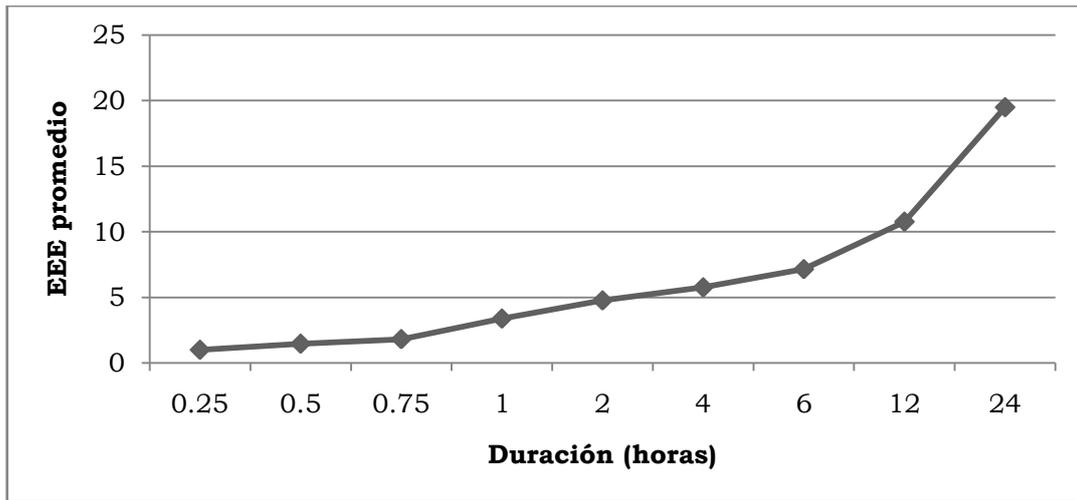


Figura 26: Valores promedio del error estándar de estimación para cada duración horaria.

A su vez, como se señaló en la metodología, para analizar este parámetro de forma adicional, fue necesario convertir las precipitaciones a intensidades, para así hacerlas comparables con lo propuesto por Cereceda, 2008. En la siguiente tabla se presenta un resumen de los valores obtenidos por región y duración.

Tabla 31: Valores máximo, mínimo, promedio y coeficiente de variación para el parámetro Error Estándar de Estimación, de las intensidades de lluvia en mm/h.

Duración (horas)	Máximo	Mínimo	Promedio	Coeficiente de variación
Región Metropolitana				
0.25	6.023	25.740	13.802	0.497
0.5	3.269	13.412	8.049	0.546
0.75	1.986	9.735	5.966	0.500
1	2.075	7.376	4.942	0.492
2	1.686	5.947	3.760	0.489
4	1.387	5.525	2.617	0.567
6	1.126	4.790	2.436	0.539
12	0.857	4.036	1.793	0.654
24	0.193	2.531	0.999	0.842
Región del Maule				
0.25	8.706	11.310	10.028	0.095
0.5	5.412	9.248	6.843	0.200
0.75	3.834	7.365	5.251	0.242
1	3.214	6.984	4.512	0.296
2	2.781	6.064	3.713	0.318
4	2.055	4.705	2.992	0.302
6	1.906	4.540	2.771	0.341
12	1.554	3.823	2.181	0.384
24	1.176	2.586	1.567	0.337
Región del Biobío				
0.25	12.309	30.308	17.256	0.438
0.5	8.051	15.522	11.374	0.309
0.75	5.765	11.278	8.597	0.292
1	4.411	8.146	6.659	0.235
2	3.274	6.668	4.900	0.290
4	2.814	5.342	3.699	0.274
6	2.399	4.160	3.024	0.219
12	1.758	3.254	2.250	0.247
24	1.410	2.539	1.797	0.238

De la tabla anterior se observa que al transformar los valores de precipitación a intensidad en función de su correspondiente duración horaria, el error estándar de estimación mantiene la tendencia observada en los valores obtenidos de precipitación en cuanto al comportamiento entre regiones, ya que éstos son similares en las regiones Metropolitana y Maule y más altos en la Región del Biobío.

Por otra parte, los coeficientes de variación demuestran que la variabilidad del error estándar de estimación es menor desde la Región del Biobío a la Región Metropolitana.

En el caso del error estándar de estimación, se aprecia una tendencia exponencial negativa al contrastar valores promedio como función de la duración horaria, lo que se debe al efecto del tiempo en la precipitación al calcular la intensidad; esto puede observarse con claridad en la siguiente figura.

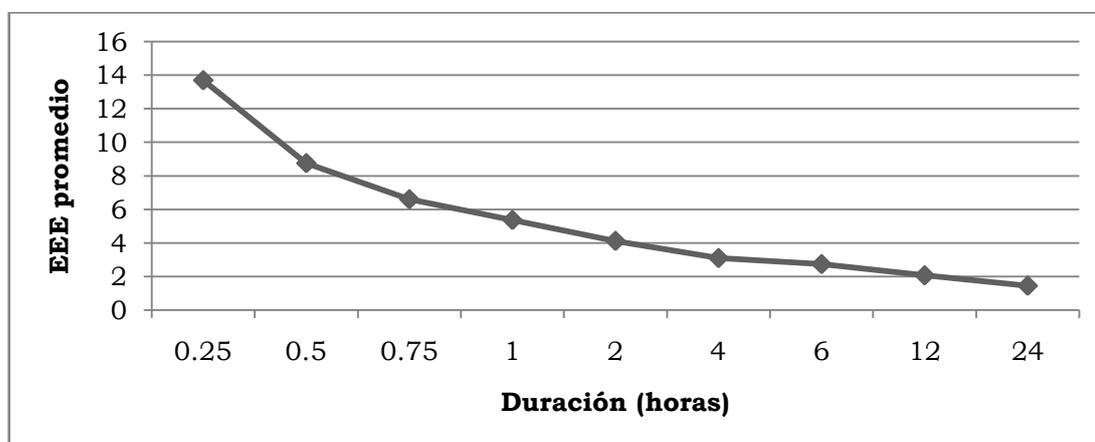


Figura 27: Valores promedio de error estándar de estimación para cada duración.

7.6.3 Coeficiente de variación de las precipitaciones

El coeficiente de variación expresa qué proporción de la media representa el error estándar de estimación. Para este caso, los resultados obtenidos de este parámetro se entregan en la siguiente tabla.

Tabla 32: Valores máximo, mínimo y promedio del coeficiente de variación, de las precipitaciones para cada región y duración horaria.

Duración (horas)	Mínimo	Máximo	Promedio
Región Metropolitana			
0.25	0.130	0.186	0.154
0.5	0.109	0.291	0.163
0.75	0.090	0.291	0.158
1	0.120	0.234	0.158
2	0.204	0.314	0.248
4	0.180	0.345	0.257
6	0.181	0.291	0.237
12	0.208	0.341	0.275
24	0.194	0.415	0.289
Región del Maule			
0.25	0.099	0.136	0.116
0.5	0.121	0.148	0.137
0.75	0.108	0.162	0.137
1	0.122	0.165	0.143
2	0.187	0.259	0.228
4	0.192	0.281	0.248
6	0.175	0.290	0.230
12	0.195	0.366	0.284
24	0.146	0.334	0.253
Región del BíoBío			
0.25	0.106	0.148	0.128
0.5	0.097	0.156	0.131
0.75	0.112	0.154	0.131
1	0.122	0.228	0.154
2	0.180	0.333	0.234
4	0.181	0.336	0.232
6	0.153	0.402	0.210
12	0.193	0.360	0.239
24	0.137	0.355	0.209

La tabla anterior denota que los valores más bajos se presentan en la Región del Maule; sin embargo, la diferencia entre las regiones no es amplia, es decir, se mantiene un rango similar de valores en el área de estudio.

En cuanto a las duraciones, se aprecia que los valores del coeficiente de variación no presentan una tendencia definida, lo que se expresa en la figura 28.

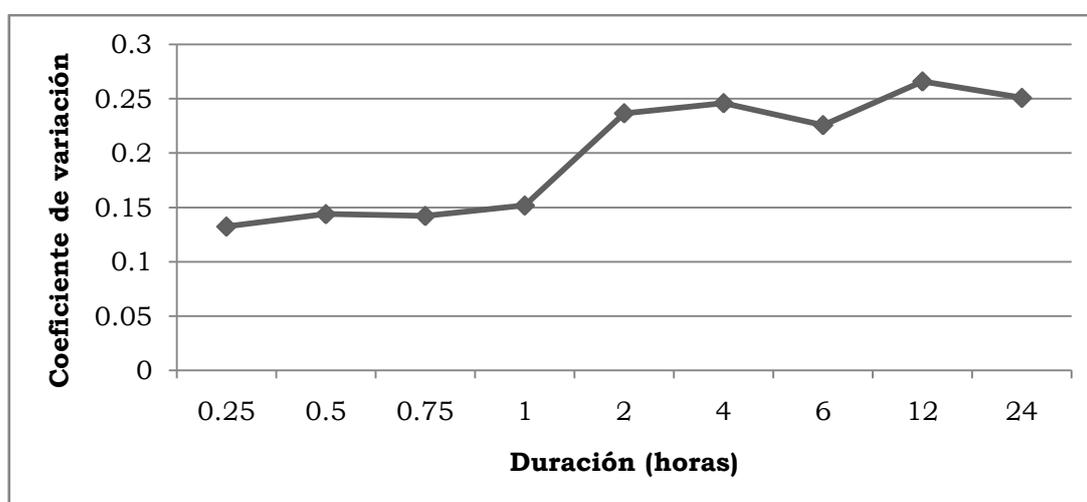


Figura 28: Valores de coeficiente de variación promedio de todas las estaciones analizadas para cada duración.

En la figura anterior se puede apreciar un leve decremento del coeficiente de variación entre las duraciones 0.25 y 1 hora, mientras que para las duraciones mayores, se aprecia que los valores varían aleatoriamente.

7.6.1 Efecto de la ubicación geográfica del punto a estimar

7.6.1.1 Región de procedencia

Este análisis se llevó a cabo con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre las estimaciones de las estaciones seleccionadas, dependiendo de la Región de la que procedían. Para esto, se realizó un análisis de varianza con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre las medianas de las varianzas Kriging de las estaciones predichas agrupadas por región y duración horaria. Específicamente, se utilizó, la prueba Kruskal–Wallis para datos no paramétricos, debido a que las varianzas Kriging no presentan una distribución normal. Las siguientes tablas muestran el valor - p obtenido de los análisis de varianza y las medianas de cada Región, para cada duración horaria.

Tabla 33: Valores - p para el análisis de varianza entre regiones, de los valores obtenidos de varianza Kriging.

Duración (horas)	Valor - p ANOVA
0.25	0.0000
0.5	0.0000
0.75	0.0000
1	0.0000
2	0.0000
4	0.0000
6	0.0000
12	0.0000
24	0.0000

De la tabla anterior se desprende que en las nueve duraciones horarias, el valor $-p$ es menor a 0.05, por lo tanto existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de las varianzas Kriging para las tres regiones de estudio, lo cual es esperable debido a que los promedios anuales de precipitación estimada, difieren en las tres regiones, cuyos valores aumentan desde la Región Metropolitana a la del Biobío.

Una vez determinada la existencia de diferencias significativas entre las regiones de procedencia de las estaciones estudiadas, es conveniente analizar las medianas obtenidas en cada una de las regiones y duraciones analizadas, las que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 34: Medianas de varianza Kriging obtenidas por duración para las regiones Metropolitana, Maule y Biobío

Duración (horas)	Región Metropolitana	Región del Maule	Región del BíoBío
0.25	7.45	7.49	7.87
0.5	14.62	15.16	15.99
0.75	19.41	20.11	21.61
1	21.20	25.44	29.37
2	52.81	64.81	74.32
4	161.33	176.49	196.49
6	244.99	307.40	348.79
12	608.22	715.86	813.08
24	1502.79	1926.01	2246.42

De la tabla anterior se desprende que en todas las duraciones las medianas menores se observan en la Región Metropolitana, mientras que las mayores en la Región del Biobío. En el caso de la Región del Maule, las medianas obtenidas presentan un comportamiento similar con la Región Metropolitana, lo que indica que su predicción es mejor

que la observada en la Región del Biobío. Esto puede observarse con detalle en la siguiente figura.

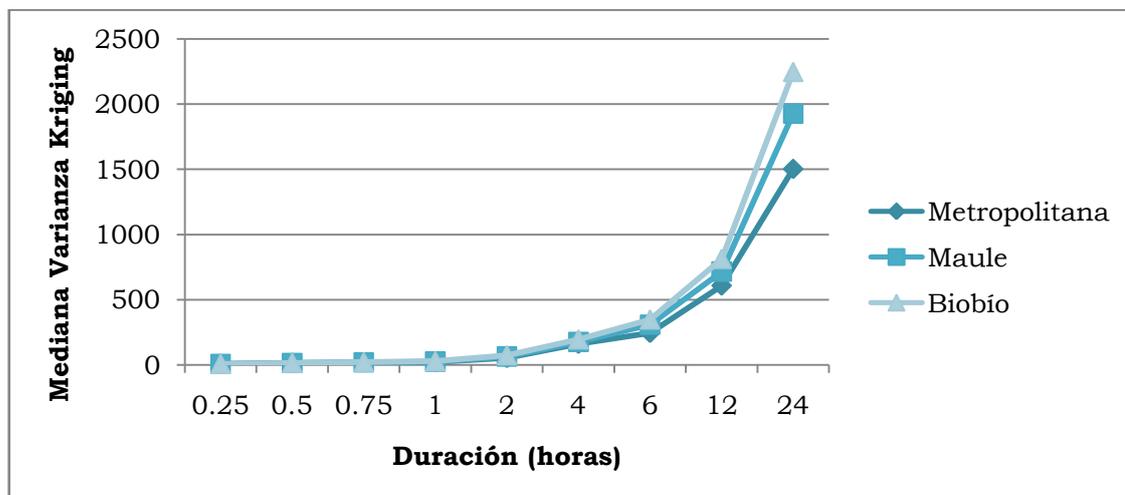


Figura 29: Medianas de varianza Kriging de las regiones del área de estudio para cada duración en horas.

Cabe destacar que en las duraciones menores a 2 horas, no es posible determinar visualmente cuál Región presenta una varianza Kriging más baja, puesto que estos valores son muy pequeños en comparación a las duraciones mayores, por lo que la escala del gráfico no muestra esta diferencia; sin embargo, la Tabla 34 entrega los valores específicos para cada duración.

7.6.1.1 Efecto de la ubicación geográfica de la estación a estimar

Como se señaló en la metodología y con el fin de determinar la influencia de la ubicación geográfica de la estación pluviográfica sobre la red de puntos, se eligieron tres estaciones por región provenientes del centro y tres estaciones del borde de la nube geográfica de estaciones existentes en el área de estudio la que alcanzó un total de 46 estaciones. Esto se realizó con la finalidad de verificar la efectividad de la predicción, en función de la ubicación del punto sin registro que se desea estimar.

Es necesario destacar que tanto las estaciones del centro, como las del borde son las que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 35: Estaciones Borde y Centro para cada Región del área de estudio.

Región	Estaciones centro	Estaciones borde
Metropolitana	MOP – DGA	Embalse Rungue
	Quinta Normal	La Obra
	Edificio central Endesa	San Antonio
Maule	Embalse Ancoa	Bullileo
	San Javier	Parral
	Digua	Pencahue
Bíobío	Chillan DMC	Carrier Sur
	Caracol	Contulmo
	Embalse Coihueco	Polcura en Embalsadero

Para verificar si existía una diferencia en la estimación, dependiendo de la ubicación relativa, se realizó la prueba para datos no paramétricos Kruskal-Wallis, de las varianzas Kriging obtenidas para cada predicción, cuyos resultados se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 36: Valor – p y medianas del análisis de varianza para la ubicación geográfica de las estaciones predichas para cada duración.

Duración (horas)	Valor –p	Media	
0.25	0.0000	Centro	7.40
		Borde	7.93
0.5	0.0000	Centro	14.83
		Borde	15.91
0.75	0.0000	Centro	19.65
		Borde	21.58
1	0.0000	Centro	21.7
		Borde	27.96
2	0.0000	Centro	53.95
		Borde	70.53
4	0.0000	Centro	166.86
		Borde	192.27
6	0.0000	Centro	249.26
		Borde	330.61
12	0.0000	Centro	625.39
		Borde	778.11
24	0.0000	Centro	1526.38
		Borde	2114.08

Según lo indicado en la tabla anterior, se observa que en todas las duraciones horarias el valor – p es menor a 0.05; por tanto, existen diferencias significativas entre las medias de las varianzas Kriging de las estaciones provenientes del centro de los datos y las estaciones provenientes del borde de los datos.

Cabe señalar que en las nueve duraciones horarias, la media de varianza Kriging es menor en las estaciones provenientes del centro que aquellas del borde, lo que indica que la carencia de datos por el contorno exterior de la red de estaciones pluviográficas, influye en la calidad de la predicción, lo cual ya ha sido planteado como una debilidad del método, al basarse en la teoría de la variable regionalizada. Esto se muestra con mayor claridad en el siguiente gráfico.

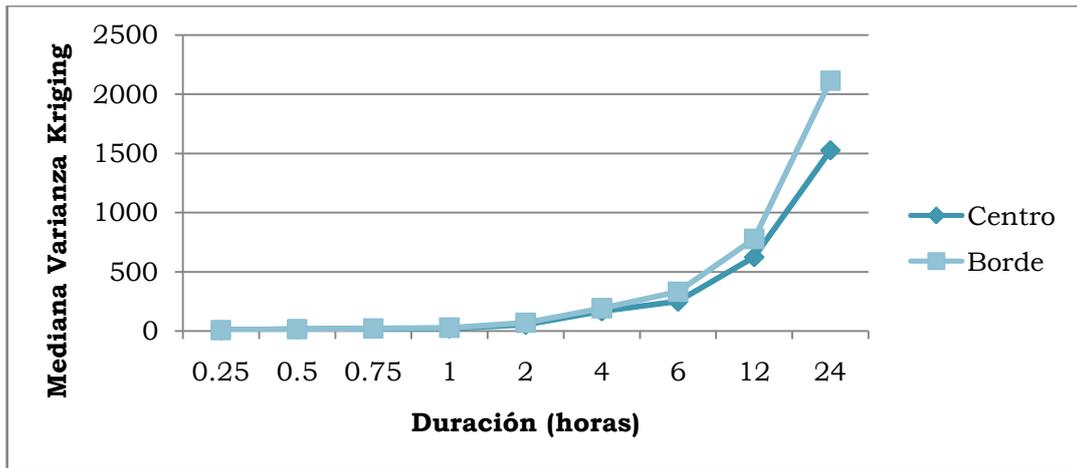


Figura 30: Valores de varianza Kriging promedio según su ubicación sobre la superficie de estudio para cada duración horaria.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en este estudio, establecido para analizar la aplicabilidad del método geoestadístico Kriging Ordinario, para la predicción de precipitaciones en distintas duraciones horarias y en estaciones pluviográficas de la Región Metropolitana, Maule y Biobío, es posible concluir lo siguiente:

- El método Kriging Ordinario, por los resultados alcanzados es aplicable para interpolar o estimar datos de precipitación con diferente duración horaria, como los encontrados en la Región Metropolitana, Maule y Biobío.
- La variabilidad espacial de las precipitaciones en la zona de estudio fue representada efectivamente a través del modelo Exponencial de variograma, para las duraciones menores a 2 horas. Sin embargo, para las duraciones mayores a 4, horas dicha variabilidad es elevada, por lo que se observó un aumento en el efecto Nugget y una disminución del Rango del variograma.
- El análisis de residuos entre precipitaciones observadas y estimadas por Kriging Ordinario calculado a través de Validación Cruzada dejando uno fuera (LOOCV: Leave one out cross validation), mostró que la efectividad de la predicción en las precipitaciones estimadas decrecen cuando aumenta la duración horaria, lo que es explicado por la alta variabilidad presente en los valores de precipitación observada en éstas duraciones.

- Desde el punto de vista espacial y basado en las varianzas Kriging, obtenidas con cada predicción que se realizó, se distinguen dos aspectos; así respecto a la duración horaria, al igual que lo demostrado con la validación cruzada, la efectividad de las predicciones es menor en las duraciones mayores a 4 horas. Por otra parte, respecto a la estimación por regiones, se obtuvo que las predicciones más confiables ocurrieron en sentido Norte – Sur.
- En relación al análisis de los parámetros estadísticos coeficiente de correlación, determinación y variación, si bien entregan valores considerados bajos para que representen un buen ajuste, éstos mantienen la tendencia en cuanto a regiones entregadas por las varianzas Kriging y validación cruzada; sin embargo, presentan la tendencia opuesta en cuanto a duraciones horarias, lo cual no pudo ser explicado en el desarrollo analítico de este documento, hecho que por sí mismo se constituye en un desafío para futuros estudios.
- En relación a la predicción de las precipitaciones, en el 60% de los casos estudiados en todas las duraciones y en todas las duraciones se obtuvieron valores levemente mayores al estimado; sin embargo, la predicción no detecta valores extremos de precipitación, lo que se debería a la presencia de valores atípicos en el 100% de los casos, datos que fueron entregados por la validación cruzada, esto indicaría que el modelo de Variograma seleccionado no representa con exactitud esta clase de valores.

- Según la procedencia del punto a estimar, se observó que según las varianzas Kriging, las estaciones ubicadas en el centro de la red de puntos, son las que presentan mejor estimación de precipitaciones en relación a las ubicadas en el borde, lo que hace presumir que existe una influencia en la carencia de información por el contorno exterior del área de estudio y corrobora la teoría en que se basa este método y a autores como Webster y Oliver (2007).

8.2 Recomendaciones

- Se recomienda aplicar el método Kriging Ordinario y el modelo de variograma Exponencial en datos de precipitación menores a 2 horas, ya que los análisis realizados en este estudio afirma que las predicciones en estas duraciones son más confiables.
- Para estudiar la relación espacial en datos de precipitación con duraciones mayores a 6 horas, se recomienda realizar validación cruzada LOOCV, para comparar qué modelo de variograma se ajusta mejor a la distribución de los datos, puesto que la variabilidad presente en dichas duraciones es muy alta y es posible que sea mejor representada por otro modelo de variograma.
- Se recomienda estimar precipitaciones en zonas centrales, las que estén rodeadas en su totalidad por datos estimados, con el fin de que los pesos Kriging sean otorgados en base a las distancias menores posibles.
- Debido a que este estudio analiza sólo la relación espacial presente en el área de interés, se recomienda ampliar este análisis considerando otras variables tales como; topografía, cercanía a cuerpos de agua, patrones de temporada y altitud, a través de otros modelos de Kriging, como es el modelo Kriging Universal, el que considera componentes aleatorios y no estacionarios en una variable aleatoria.
- Se recomienda no utilizar esta técnica para estimar valores ajustados, como por ejemplo datos de intensidad de precipitación ajustados a la función de distribución de Gumbel, debido a que

los fundamentos de esta técnica se plantean sobre el estudio y análisis de variables ambientales naturales.

9 BIBLIOGRAFÍA

Alijani, B.; O'Brien, J.; Yarnal, B. 2008. Spatial Interpolation of Precipitation Intensity and Concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 94: 107 – 124 p.

Aparicio, F. 2003. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México. Editorial Limusa. 303 p.

Aravena, P. 2011. *Obtención de Texturas en Imágenes Hiperespectrales Utilizando Gray Level Co-occurrence Matrix Para Encontrar Patrones de Madurez y Predecir la Firmeza en Frutillas*. Tesis Ing. Civil en Computación. Curicó, Chile. Universidad de Talca, Escuela de Ingeniería Civil en Computación. 78 p.

Aros, V. 1997. *Apuntes de Hidrología*. Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Chile. 25 – 31 p.

Azimi-Zonooz, A.; Krajewski, W. F.; Bowles, D. S.; Seo, D. J. 1989. Spatial Rainfall Estimation by Linear and Non-linear Co-Kriging of Radar-Rainfall And Raingage Data. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*. 3: 51 – 67 p.

BCN. Biblioteca del Congreso Nacional. (en línea) consultado en 17 Oct. 2011. Disponible en <http://www.bcn.cl/>

Cereceda, R. 2008. *Propuesta de un Método para la Construcción de Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en Estaciones Pluviométricas de Chile Central*. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Escuela de Ciencias Forestales. 145 p.

Cheng, L.; Wei, C.; Cheng, Y.; Yeh, H. 2003. Effect of Spatial Variation Characteristics on Contouring of Design Storm Depth. Hydrological Processes. 17: 1755 – 1769 p.

Clark, I. 1979. Practical Geostatistics. Elsevier Publishing. Estados Unidos. 120 p.

DGF (Departamento de Geofísica Universidad de Chile, Chile). 2006. Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el Siglo XXI. Santiago, Chile. 71 p. Disponible en: [www.dgf.uchile.cl/PRECIS/articles-39442_pdf **Estudio** texto.pdf](http://www.dgf.uchile.cl/PRECIS/articles-39442_pdf_Estudio_texto.pdf)

DMC. Dirección Meteorológica de Chile. (en línea) consultado en 18 Oct. 2011. Disponible en <http://www.meteochile.gob.cl/>

Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for Resources Evaluation. Estados Unidos. Oxford. Oxford University Press. 483 p.

Journel, A.G.; Huijbregts, Ch. J. 1978. Mining Geostatistics. Academic press. Estados Unidos. 600 p.

IPCC (Intergovernmental panel of climate change). 2007. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza. 104 p.

Kastelec, D.; Košmelj, K. 2002. Spatial Interpolation of Mean Yearly Precipitation Using Universal Kriging. Developments in Statistics. 17: 149 – 162 p.

KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Nederland). 2010. Optimization of Rainfall Interpolation. 31 p.

Ley Chile. (en línea) consultado en 18 Oct. 2011. Disponible en <http://www.leychile.cl/Consulta>

Linsley, R; Kholer, M. Paulhus, P. 1988. Hidrología para Ingenieros. Segunda Edición. Mc Graw-Hill. Latinoamericana. D.F México. 386 p.

Llamas, J. 1993. Hidrología General Principios y Aplicaciones. España. Editorial de la Universidad del País Vasco. 636 p.

Lu, A.; Wang, J.; Qin, X.; Wang, K.; Han, P.; Zhang, S. 2012. Multivariate and Geostatistical Analyses of the Spatial Distribution and origin of Heavy Metals in the Agricultural Soils in Shunyi, Beijing, China. Science of The Total Environment. 425: 66 – 74 p.

Mair, A.; Fares, A. 2011. Comparison of Rainfall Interpolation Methods in Mountainous Region of a Tropical Island. Journal of Hydrological Engineering. 16: 371 – 382 p.

Matheron, G. 1962. Traite de Geostatistique Apliquee. Tome I. Memoires Bureau de Recherches geologiques et miners. Francia. Editions Bureau de Recherche et Miners. N 24.

Ming, L.; Shao, Q.; Renzullo, L. 2009. Estimation and Interpolation of Rainfall Intensity from the Effective Rate of Precipitation. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 24: 117 – 130 p.

Montgomery, D.; Runger, G. 1996. Probabilidad Estadística aplicadas a la Ingeniería. Editorial McGraw-Hill. México. 895 p.

More, H. 1987. Bayesian kriging—merging observations and qualified guesses in Kriging. *Mathematical Geology*. 19: 25 – 30 p.

Pizarro, R.; Hernández, I.; Muñoz, J.; Torres, I.; Torres, G.; 1988. *Elementos Técnicos de Hidrología: instructivos técnicos*. La Serena, Chile. Editorial CONAF y UNESCO-Rostlac, 109 p.

Prudhome, C.; Reed, D. 1999. Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: a case study in Scotland. *International Journal of Climatology*. Vol 19: 1337 – 1356 p.

Rivoirard, J. 1994. *Introduction to Disjunctive Kriging and Non-linear Geostatistics*. Oxford. Oxford University Press. 180 p.

Samper, F.; Carrera, J. 1990. *Geoestadística. Aplicaciones a la Hidrología Subterránea*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. España. Editorial Universitat Politècnica de Catalunya. 484 p.

Shoji, T.; Kitaura, H. 2006. Statistical and Geostatistical Analysis of Rainfall in Japan. *Computers and Geosciences*. 32: 1007 – 1024 P.

Subyani, A. 2004. Geostatistical study of annual and seasonal mean rainfall patterns in southwest Saudi Arabia. *Hydrological Sciences Journal*. Vol 49 (5): 803 – 817 p.

Verworn, A.; Hanerlandt, U. 2011. Spatial Interpolation of Hourly Rainfall – Effect of Additional Information, Variogram Inference and Storm Properties. *Hydrology and Earth System Sciences*. Vol 15. 569 – 584 p.

Wackernagel, H. 2003. *Multivariate Geostatistics*. Alemania. Springer-Verlag. Tercera Edición.

Warrick, A. W.; Myers, D. E.; Nielsen, D. R. 1986. Geostatistical Methods Applied to Soil Science. Methods of Soil Analysis. Part 1. Estados Unidos. Soil Science Society of America Book. Segunda Edición.

Webster, R.; Oliver, M. 2007. Geostatistics for Environment Scientist. Segunda Edición. John Wiley & sons Ltd. Inglaterra. 332 p.

Zoubeida, K. B.; Afef, Ch. 2009. Comparison of Two Kriging Interpolation Methods Applied to Spatiotemporal Rainfall. Journal Of Hydrology. 365: 56 – 73 p.

ANEXOS

ANEXO 1: Ubicación geográfica de estaciones utilizadas en el estudio.

Tabla 37: Coordenadas geográficas en grados y altura en metros sobre el nivel del mar de las estaciones utilizadas.

Región	Estación	Longitud	Latitud	Altitud
Metropolitana	Cerrillos DMC	-70.704	-33.495	554
	Cerro calán	-70.537	-33.39	848
	Edificio Central Endesa	-70.683	-33.445	560
	Embalse Runge	-70.908	-33.02	700
	Huechún Andina	-70.769	-33.58	590
	La Obra	-70.485	-33.59	796
	Los Panguiles	-71.026	-33.44	190
	Melipilla	-71.2	-33.68	168
	MOP – DGA	-70.644	-33.45	560
	Pirque	-70.587	-33.67	659
	Pudahuel DMC	-70.794	-33.392	480
	Quinta Normal DMC	-70.65	-33.458	527
	San Antonio	-71.625	-33.57	80
	Tobalaba DMC	-70.548	-33.454	652
Maule	Armerillo ENDESA	-71.1	-35.7	450
	Bullileo	-71.4	-36.28	600
	Casa de Máquinas Endesa	-70.817	-35.8	943
	Colorado	-71.25	-35.63	420
	Curicó DMC	-71.217	-34.97	220
	Deshague Laguna Invernada	-70.783	-35.73	1360
	Digua	-71.533	-36.25	390
	Embalse Ancoa	-71.283	-35.5	430
	El Lirio	-71.35	-35.67	340
	Los Queñes	-70.8	-34.98	668
	Melado en la Lancha	-71.067	-35.86	650
	Melozal	-71.767	-35.77	110
	Parral	-71.817	-36.18	175
	Pencahue	-71.817	-35.37	55
	Potrero Grande	-71.083	-35.17	460
	San Javier	-71.65	-35.58	135
San Manuel	-71.633	-36.35	270	
Talca	-71.617	-35.43	130	

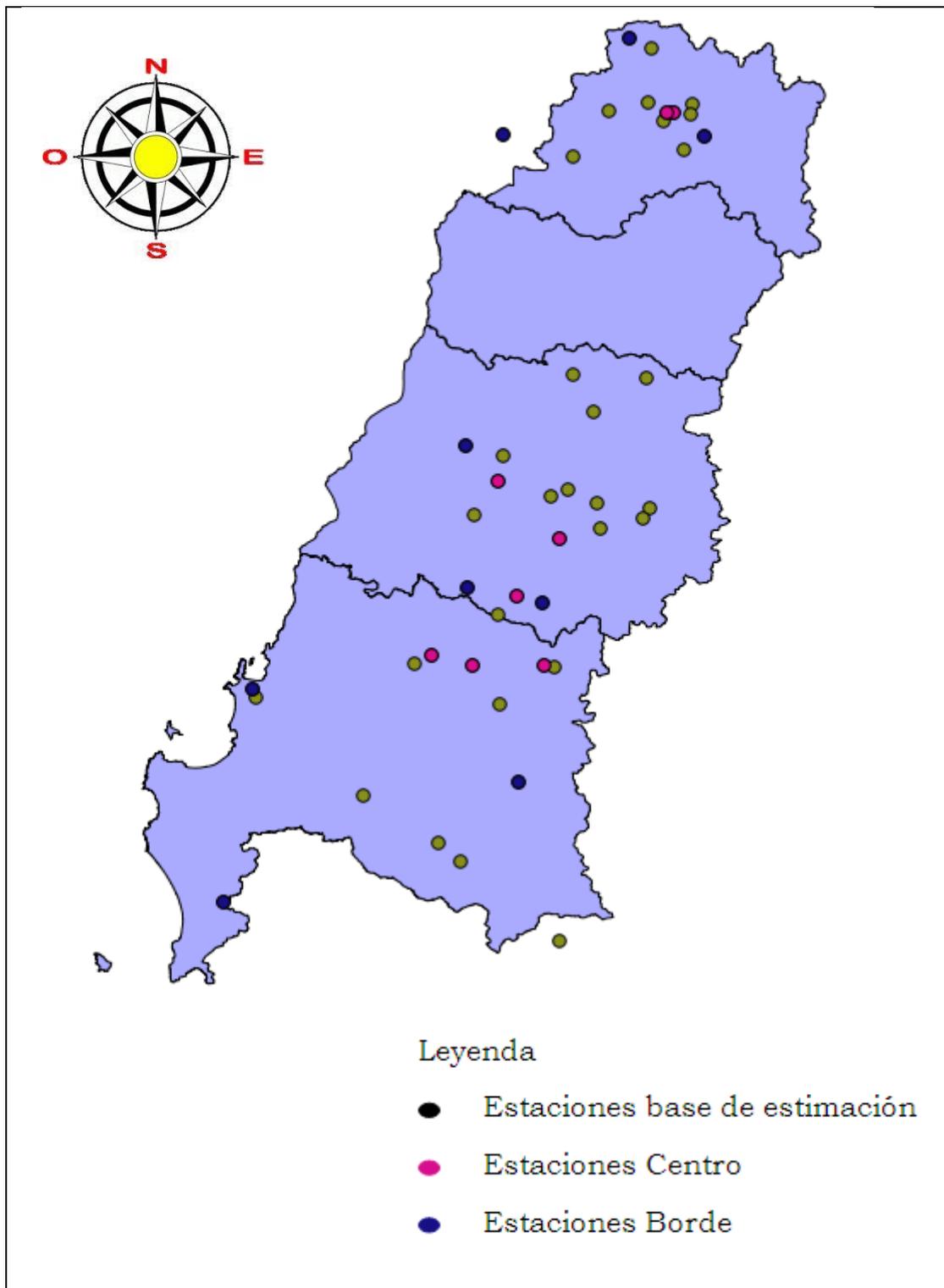
Tabla 38 (continuación): Coordenadas geográficas en grados y altura en metros sobre el nivel del mar de las estaciones utilizadas.

Región	Estación	Longitud	Latitud	Altitud
Bío Bío	Bellavista DMC	-73.036	-36.812	30
	Caracol	-71.39	-36.65	620
	Carrier Sur DMC	-73.062	-36.779	18
	Cerro el Padre	-71.861	-37.78	400
	Chillán DMC			106
	Chillán Viejo	-72.127	-36.63	156
	Contulmo	-73.229	-38.011	25
	Embalse Coihueco	-71.799	-36.64	314
	Embalse Diguillín	-71.643	-36.87	670
	La Punilla	-71.328	-36.658	840
	Los Ángeles DMC	-72.422	-37.403	121
	Polcura en Embalsadero Endesa	-71.533	-37.317	740
	Quilaco	-71.996	-37.68	225
	Troyo Endesa	-71.3	-38.242	650

ANEXO 2: Cantidad de estaciones con registro de precipitación por año.

Año	Cantidad de datos	Año	Cantidad de datos
1980	32	1995	36
1981	33	1996	34
1982	34	1997	36
1983	34	1998	37
1984	35	1999	36
1985	35	2000	38
1986	36	2001	36
1987	35	2002	36
1988	37	2003	36
1989	34	2004	36
1990	34	2005	36
1991	34	2006	35
1992	35	2007	34
1993	36	2008	34
1994	36	2009	33

ANEXO 3: Ubicación espacial de estaciones



ANEXO 4: Imágenes de Varianza Kriging para el año 2000 por duración horaria.

Figura 31: Imágenes de varianza Kriging del año 2000 para las duraciones 0.25 horas (a), 0.5 horas (b), 0.75 horas (c) y 1 hora (d).

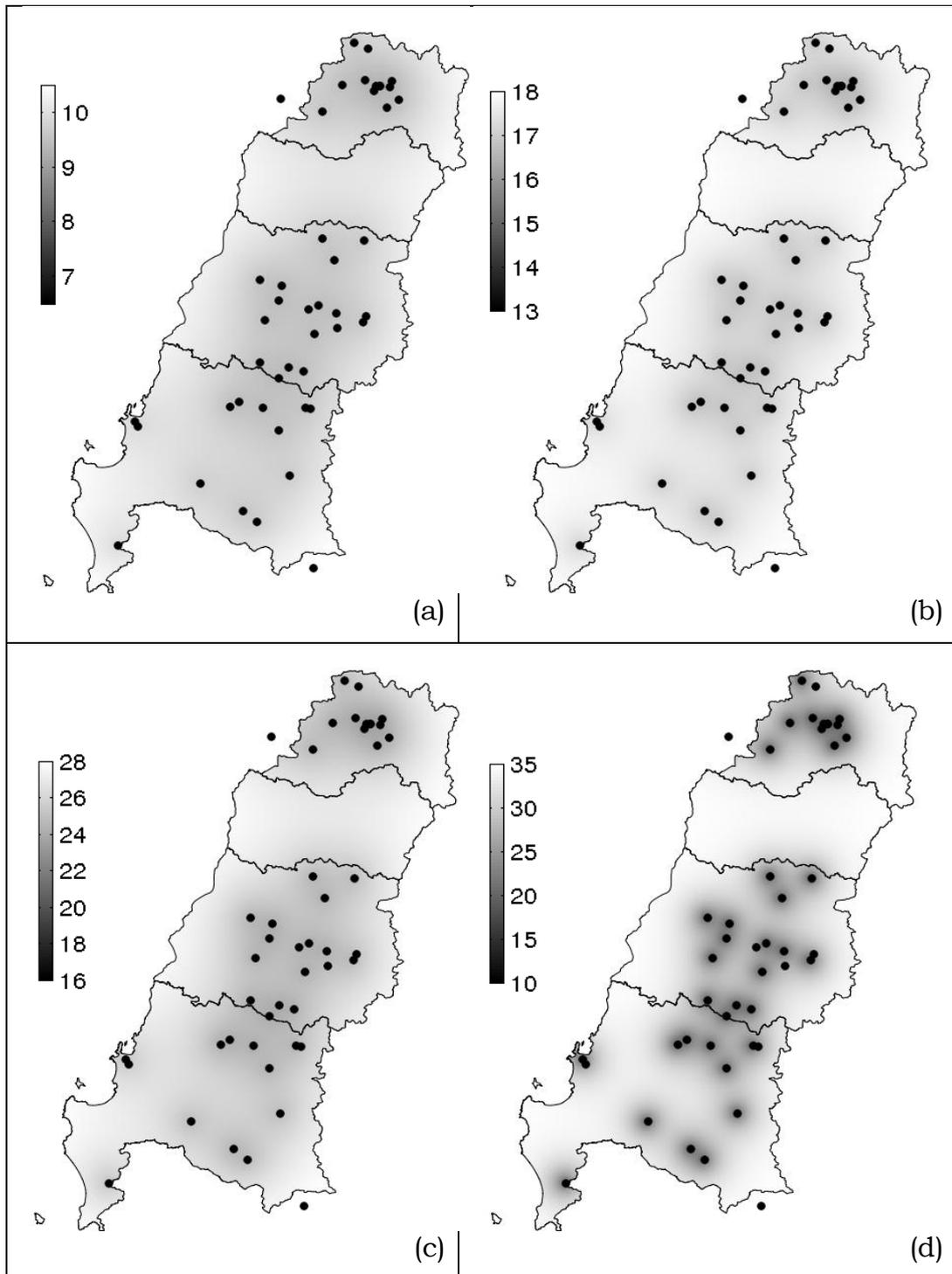


Figura 32: Imágenes de varianza Kriging del año 2000 para las duraciones 2 horas (e), 4 horas (f), 6 horas (g) y 12 hora (h).

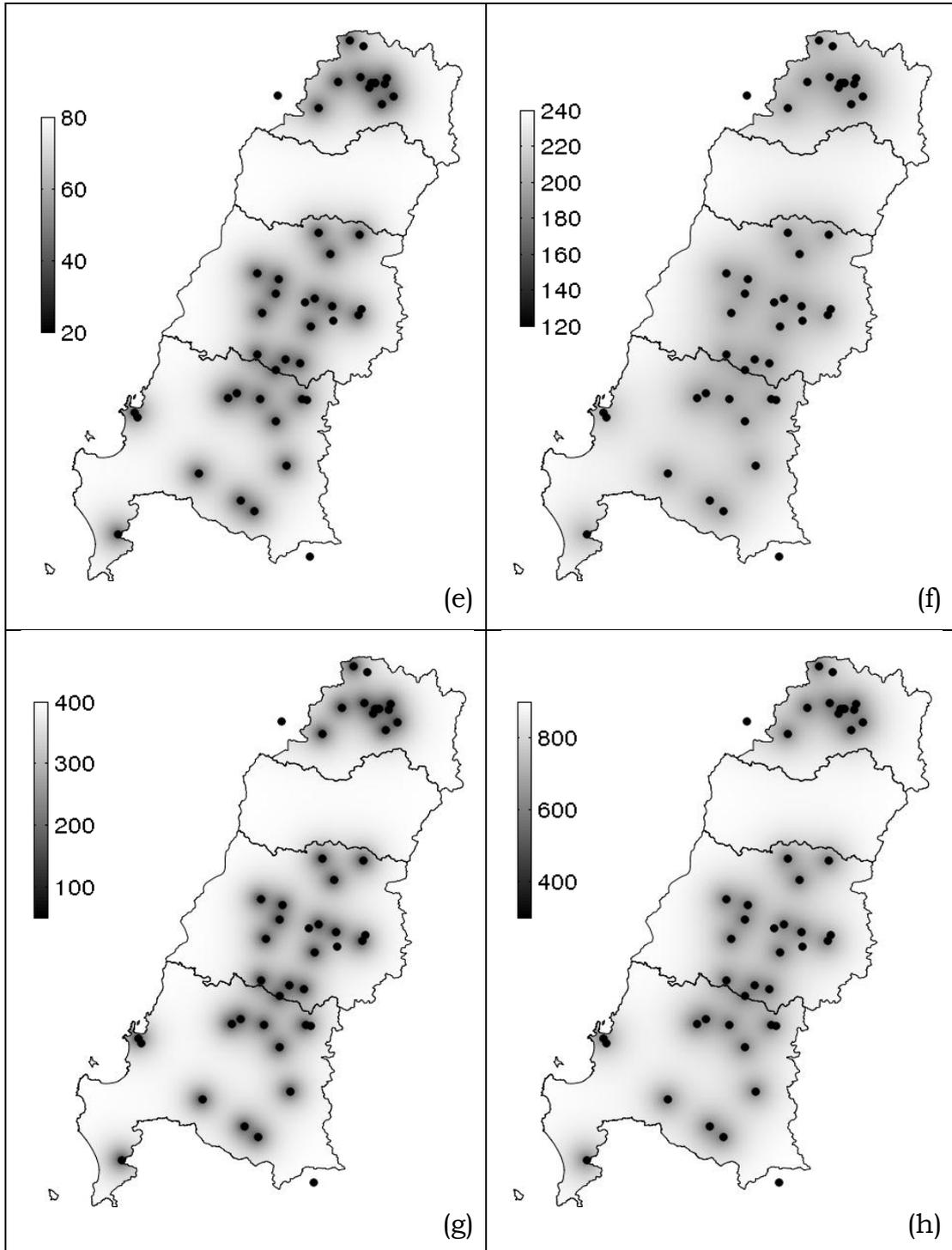
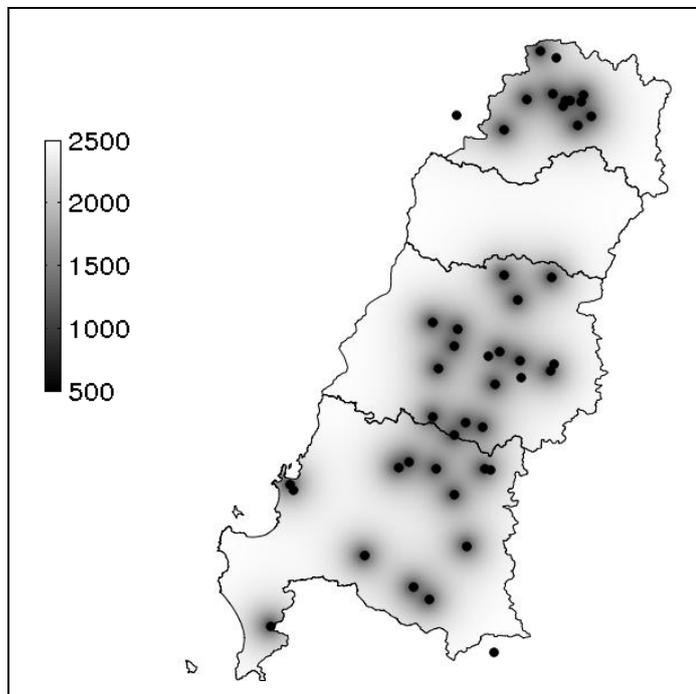


Figura 33: Imágenes de varianza Kriging del año 2000 para la duración 24 horas.



ANEXO 4: Valores de precipitación estimada y observada por año y estación pluviográfica.

Tabla 39: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Edificio Central Endesa, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	5.4	7.2	5.8	10.2	7.5	11.5	8.8	10.8	15.0	14.5	21.0	19.9	21.2	22.1	21.3	31.8	21.3	48.0
1981	3.9	6.3	6.1	9.2	7.0	10.6	9.0	10.2	13.8	15.0	21.8	23.1	31.9	23.8	54.5	41.2	82.5	47.2
1982	3.3	8.5	3.6	11.1	5.1	14.2	6.5	10.9	11.2	16.6	18.8	27.6	22.6	36.7	33.2	47.3	52.6	70.9
1983	6.4	8.0	7.7	11.5	10.9	13.4	12.3	9.4	19.3	13.7	31.0	24.1	36.6	29.7	41.8	37.8	42.2	42.9
1984	3.9	8.0	5.6	10.5	7.8	13.0	9.2	10.3	15.7	14.6	27.0	22.4	36.3	25.6	50.8	43.7	68.3	62.9
1985	4.5	6.5	6.0	9.3	7.8	9.9	8.8	6.6	11.3	11.2	17.9	17.6	17.9	20.3	18.0	24.5	21.9	24.4
1986	5.3	6.9	6.0	9.9	7.5	11.7	9.9	12.2	13.6	17.9	21.9	27.8	28.0	34.0	33.9	42.4	44.4	52.3
1987	4.4	8.5	6.4	10.7	7.2	12.9	8.7	14.1	14.9	21.0	25.0	34.0	34.1	39.4	57.3	65.9	79.5	89.5
1988	2.6	5.4	2.9	7.0	3.8	8.2	4.9	8.8	7.6	12.3	8.6	22.1	10.4	22.8	17.6	32.4	20.8	30.2
1989	3.2	6.0	4.6	7.1	5.6	8.4	6.8	8.4	9.6	14.0	17.2	22.8	23.6	30.0	36.5	46.5	49.8	61.3
1990	4.7	5.4	7.4	7.3	7.8	8.4	9.8	8.7	13.3	13.4	21.0	19.2	21.2	22.1	21.3	31.8	21.3	48.0
1991	3.5	8.3	4.7	10.7	6.7	12.5	8.1	10.4	11.3	16.4	21.8	19.9	31.9	23.8	54.5	41.2	82.5	47.2

Tabla 40: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación MOP - DGA, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1992	4.3	6.86	5.4	8.7	5.9	10.4	7.7	10.63	11.5	15.66	23.4	27.5	26.8	35.04	44.8	49.47	60.4	60.16
1993	3.77	6.36	4.78	8.3	5.39	9.7	8.5	9.09	11.9	12.36	20.0	19.8	25.2	21.58	34.8	28.85	37.1	31.72
1994	4.42	4.38	6.2	6.1	6.36	7.0	8.0	7.85	10.6	10.21	14.7	15.9	17.6	18.48	22.1	26.43	32.9	27.63
1995	2.39	5.00	4.36	6.9	5.62	8.0	8.1	8.54	11.9	11.86	18.41	16.3	22.1	18.89	27.3	23.71	27.3	25.05
1996	5.05	6.42	5.68	8.6	7.02	9.7	8.2	10.14	12.6	12.93	20.35	20.5	25.4	26.06	32.5	32.83	38.7	38.81
1997	5.62	6.47	9.01	8.2	11.1	9.0	11.5	9.04	16.7	14.09	24.91	25.0	31.2	30.97	43.7	44.99	61.3	61.68
1998	3.96	4.92	6.03	6.2	7.59	7.2	9.0	6.82	11.3	8.98	17.48	14.8	20.4	17.55	22.0	20.60	22.1	20.42
1999	4.8	6.00	6.66	7.7	8.29	9.0	8.6	9.80	15.4	13.70	22.2	19.8	25.0	23.93	28.4	27.15	29.8	36.90
2000	11.6	7.36	13.9	10.5	15.6	12.6	18.9	13.41	25.6	19.97	42.12	37.1	54.2	41.96	73.1	67.50	96.0	95.40
2001	6.57	5.56	10.2	7.4	11.0	8.7	12.4	8.34	13.4	12.89	17.3	19.8	22.1	23.91	34.1	39.43	53.5	48.77
2002	5.8	7.21	7.89	9.1	10.3	10.8	12.4	10.49	21.3	16.71	36.0	29.7	42.7	37.14	67.7	59.92	100.9	91.00
2003	5.12	6.79	7.13	9.3	10.07	10.7	11.8	10.98	16.6	18.17	27.0	27.2	38.9	38.27	42.2	45.21	54.8	51.50
2004	6.38	6.64	8.24	8.9	11.08	11.0	12.3	11.51	15.6	18.23	22.0	26.6	25.6	28.17	30.5	38.91	39.1	54.89
2005	4.61	5.30	6.05	7.4	6.71	8.7	8.2	8.09	15.9	10.35	19.68	21.3	27	24.29	45.9	41.55	65.8	58.81
2006	3.67	5.83	5.58	7.9	7.42	9.2	8.1	7.75	17.3	10.97	27.07	21.6	34.2	23.02	51.1	32.52	53.4	36.39
2007	5.82	4.86	6.33	6.7	7.48	7.7	9.9	8.24	13.5	11.89	15.29	16.4	22.1	16.33	22.9	21.63	34.2	27.01
2008	5.48	6.54	8.79	8.5	10.33	9.6	10.9	9.97	19.2	13.91	31.0	24.6	36.0	29.42	53.4	41.41	80.5	44.34

Tabla 41: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Quinta Normal, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	-	-	-	-	-	-	13.7	8.55	15.6	13.42	16.4	20.2	18.7	20.22	24.1	28.80	44.2	30.41
1981	4.2	6.3	6.1	9.3	7.9	10.4	10.0	10.25	15.2	15.47	17.0	25.2	20.9	31.78	27.3	54.69	27.3	79.73
1982	-	-	-	-	-	-	12.0	8.74	17.5	13.87	32.1	23.8	41.1	26.56	49.7	40.39	62.0	60.88
1983	-	-	-	-	-	-	7.6	10.62	11.2	16.23	19.1	26.9	25.5	33.56	30.0	40.85	30.3	47.72
1984	-	-	-	-	-	-	9.9	9.74	12.5	15.67	18.1	24.2	23.6	29.66	50.0	40.25	73.6	53.41
1985	-	-	-	-	-	-	5.7	7.55	11.2	11.05	15.4	18.0	19.4	18.91	23.5	21.84	24.0	22.85
1986	5.2	6.8	9.3	9.0	9.9	10.9	11.5	10.54	17.3	14.27	24.9	25.5	31.2	27.17	34.8	36.81	48.4	40.57
1988	5.2	7.5	6.0	9.5	7.0	11.1	8.6	7.26	9.2	11.97	13.2	30.9	16.5	21.24	19.4	34.33	21.9	36.89
1989	4.8	4.9	5.8	6.3	7.2	7.4	7.4	7.35	13.1	10.89	20.8	21.1	29.5	25.68	43.3	42.02	62.5	54.28
1990	3.5	5.6	5.4	6.6	6.7	7.8	8.4	9.70	14.9	13.19	21.1	20.9	26.9	26.01	47.9	42.94	51.9	49.46
1991	-	-	-	-	-	-	9.8	9.28	15.8	13.78	24.0	18.6	27.0	24.93	31.0	39.10	42.6	45.02
1992	4.7	6.9	6.3	8.7	8.4	10.4	8.7	9.39	13.2	13.57	24.0	23.2	33.5	28.80	43.4	44.30	54.8	53.56
1993							6.5	9.53	8.9	12.79	11.0	26.3	12.7	23.96	15.4	33.32	19.8	36.99
1994	4.1	5.8	5.4	7.4	6.0	8.5	6.5	8.59	7.6	11.28	12.5	21.0	14.7	17.55	18.5	24.62	18.8	31.70
1995	5.0	4.3	6.4	6.2	6.8	7.0	7.0	8.47	10.0	12.30	11.7	15.6	18.4	18.73	19.2	23.78	19.2	25.28
1996	5.2	4.6	7.6	6.3	7.9	7.5	8.5	9.62	11.9	13.02	21.7	17.3	26.4	25.75	35.2	31.06	41.0	36.09
1997	5.8	6.3	6.9	8.1	7.4	9.3	7.9	9.40	10.9	14.60	23.1	19.6	30.8	27.55	44.3	41.59	62.9	58.48
1998	2.2	6.3	3.6	8.3	4.3	9.5	4.5	8.43	7.1	10.39	12.1	23.9	15.7	15.96	17.1	18.41	17.3	17.54
1999	5.2	5.1	7.3	6.6	7.6	7.6	7.9	8.69	10.0	13.66	15.3	14.8	23.7	20.25	25.7	25.79	41.2	27.27
2000	5.4	5.8	9.6	7.3	12.3	8.7	14.4	13.54	18.1	19.83	32.8	20.0	36.1	41.72	56.4	65.68	90.0	81.34
2001	4.1	8.1	5.0	10.8	6.4	12.6	7.5	9.53	13.3	11.85	19.5	36.3	26.4	20.18	44.7	32.69	53.8	43.85
2002	4.4	5.8	6.8	8.1	9.8	9.2	10.4	11.30	19.0	17.83	33.8	18.5	40.8	39.44	71.5	61.72	123.1	86.68
2003	4.3	7.4	7.5	9.3	10.0	11.0	10.8	10.13	18.7	14.95	35.2	30.7	44.3	29.09	54.6	35.38	59.9	40.28
2004	6.1	6.6	7.2	8.8	10.0	10.2	10.8	10.86	18.3	15.08	28.5	23.3	28.4	25.24	33.2	32.67	53.1	42.29
2005	3.6	6.5	4.7	8.8	6.3	10.8	6.4	7.89	7.8	13.27	16.1	23.8	20.6	25.78	36.6	43.76	57.6	60.65
2006	-	-	-	-	-	-	5.3	8.88	7.5	16.20	14.1	21.3	20.1	33.01	28.6	44.84	37.1	49.67
2007	4.3	5.4	5.4	7.4	5.6	8.7	6.9	8.81	9.9	12.42	11.7	25.7	12.4	19.27	18.9	21.52	27.7	28.10
2008	4.4	5.0	5.7	6.7	7.6	7.8	9.7	10.13	13.1	16.08	24.9	16.2	31.1	29.78	38.1	43.85	38.1	63.87
2009	5.4	6.6	6.1	8.9	7.6	9.9	9.8	10.73	14.4	14.27	17.0	24.7	18.9	20.88	30.5	32.95	45.0	41.09

Tabla 42: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación San Antonio, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1997	10.2	7.0	17.3	10.7	23.4	11.6	26.2	15.4	28.2	22.3	38.7	30.0	47.5	42.8	53.3	62.2	68.6	94.7
1998	5.2	4.8	6.4	7.0	6.4	7.9	6.7	10.4	7.2	15.0	9.6	19.6	11.1	28.4	11.1	37.8	11.1	46.4
1999	7.2	6.1	10.1	8.4	11.0	9.5	13.6	12.0	15.4	18.2	16.3	27.6	19.3	37.0	25.3	50.8	25.6	66.9
2000	6.5	7.4	8.0	11.4	8.7	14.0	11.3	17.2	14.4	25.8	20.0	38.4	28.5	50.6	52.2	70.0	60.9	96.0
2001	5.8	7.3	7.7	10.7	8.8	12.0	9.7	15.0	16.2	23.1	27.6	33.3	34.5	42.7	41.8	63.3	49.3	91.4
2002	9.9	8.1	19.7	11.8	19.7	14.3	20.1	18.6	32.5	26.1	39.2	37.9	40.0	50.7	61.0	77.2	87.7	111.4
2003	6.9	6.9	8.6	10.6	10.0	11.9	11.5	14.6	20.0	21.4	31.5	28.7	42.0	35.6	61.3	49.7	76.3	63.0
2004	5.0	7.1	9.0	10.4	11.0	12.3	12.1	15.3	19.0	22.7	24.2	28.7	29.3	37.9	29.3	49.2	38.0	65.3
2005	7.2	6.0	8.5	9.0	9.1	10.8	9.7	13.8	13.2	20.7	19.8	28.8	27.1	38.7	31.8	55.4	34.9	69.6
2006	5.0	6.2	6.2	9.7	7.9	10.9	10.2	15.1	14.1	22.2	20.9	30.6	27.2	42.2	42.9	54.2	61.6	72.9
2007	7.3	5.3	9.9	7.9	12.2	9.2	13.9	12.0	17.4	17.7	19.7	22.4	22.0	31.2	32.0	38.9	36.8	44.1
2008	12.2	6.6	12.4	9.8	15.1	11.0	19.0	13.0	23.0	19.8	25.0	27.5	26.0	38.7	34.4	53.7	35.5	73.4
2009	5.1	6.7	7.8	9.6	10.0	10.9	11.8	14.2	20.0	19.8	26.0	27.2	31.5	37.0	50.2	52.7	66.4	70.4

Tabla 43: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Embalse Rungue, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	-	-	-	-	-	-	13.1	15.0	26.4	23.4	36.4	28.0	43.3	44.8	66.0	60.9	73.2	83.5
1984	10.5	7.0	11.9	9.7	12.8	12.3	16.3	14.1	31.1	21.5	47.1	29.3	68.6	39.3	102.7	60.7	165.7	87.5
1985	4.6	6.6	5.1	9.9	5.6	11.0	6.3	12.7	7.3	19.4	8.0	26.5	9.0	37.8	10.0	48.7	10.0	62.0
1986	6.2	7.5	9.2	11.1	12.4	13.6	16.3	17.3	24.9	26.2	42.8	35.4	54.0	48.7	87.1	68.6	135.8	103.3
1987	10.0	8.3	10.2	11.2	13.6	13.2	15.7	15.4	24.5	23.6	48.1	35.2	56.3	44.3	89.8	65.7	129.2	91.9
1988	5.9	5.9	9.4	8.3	10.4	9.7	10.4	13.8	14.0	21.2	20.6	29.6	22.0	42.5	27.3	58.5	34.9	82.8
1989	10.2	5.6	11.8	7.7	13.2	9.1	14.4	11.9	17.3	17.9	26.0	24.7	34.0	33.7	60.0	49.9	85.8	70.2
1990	7.3	5.2	7.4	7.9	8.3	9.1	9.0	11.2	11.0	17.1	11.1	23.6	11.9	33.6	16.0	46.9	20.0	60.1
1991	11.6	6.7	12.0	9.9	13.7	11.4	15.0	14.0	21.6	21.0	39.4	30.4	42.4	40.6	51.9	57.6	68.0	85.5
1992	12.2	6.6	13.4	9.7	15.4	11.2	17.6	15.7	19.2	24.5	35.1	34.9	48.0	50.1	76.8	72.5	89.5	103.0
1993	5.2	6.8	7.0	9.3	10.1	10.5	12.0	13.9	16.0	19.7	20.8	25.6	26.8	34.9	28.5	48.3	28.5	66.3
1994	4.4	4.2	6.6	6.2	7.4	6.7	9.5	8.0	15.5	11.8	17.6	17.8	25.0	24.4	35.7	33.6	50.0	40.5
1995	2.6	4.9	3.9	7.2	5.8	8.2	7.0	9.7	9.1	14.1	15.7	21.1	18.2	27.7	33.2	37.1	49.1	47.0
1996	3.9	5.9	6.0	8.8	8.1	10.0	9.0	12.7	11.6	18.0	17.8	23.7	22.7	30.6	42.5	41.4	57.2	55.8
1997	9.6	6.9	11.9	10.5	12.8	11.7	15.8	15.1	23.0	21.9	29.1	29.6	30.1	41.9	48.5	61.2	62.9	91.8
1998	8.7	4.6	9.8	6.7	12.2	7.4	12.6	9.8	15.5	14.4	15.6	18.6	18.3	27.1	19.6	34.6	19.7	42.5
1999	4.7	5.0	8.8	6.9	8.8	7.6	10.4	8.2	13.9	12.7	20.0	19.2	23.9	23.8	24.3	32.5	24.4	38.1
2000	7.1	7.7	9.1	11.3	10.2	13.5	11.9	16.8	19.2	24.9	32.9	37.7	44.1	48.9	73.0	70.4	88.4	97.9
2001	7.0	5.9	10.1	8.5	14.0	8.9	16.0	10.4	25.3	15.7	38.1	22.1	51.2	27.7	93.0	42.1	115.3	54.1
2002	9.6	7.3	9.8	10.4	12.0	12.8	13.5	16.3	19.6	24.8	33.0	37.7	47.8	53.2	82.8	84.2	116.0	117.4
2003	4.4	6.3	6.3	9.4	7.1	11.0	8.6	12.7	12.3	19.6	17.0	28.8	19.5	37.5	28.4	46.9	28.4	55.1
2004	6.3	6.2	8.3	8.8	11.7	10.5	12.7	12.5	14.7	19.9	22.4	23.8	26.6	28.6	30.8	34.4	37.1	41.2
2005	7.2	5.2	9.3	7.6	12.2	9.1	13.0	11.0	19.3	15.2	27.8	22.3	33.7	28.1	42.0	40.5	48.7	45.8
2006	6.5	5.4	10.1	8.5	10.2	9.5	13.6	11.8	21.8	16.2	41.0	24.0	48.9	30.6	66.5	39.4	75.3	49.7
2007	2.3	5.2	4.4	7.4	5.1	8.5	6.0	10.5	8.5	14.1	14.2	17.8	17.2	22.8	18.6	29.0	18.6	30.7

Tabla 44: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación La Obra, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1995	5.7	4.9	7.9	7.3	8.4	8.9	9.7	11.1	14.2	15.2	21.7	20.8	32.7	25.2	59.6	34.8	83.9	40.2
1996	8.7	6.4	12.0	8.4	14.3	10.2	18.0	12.7	23.2	15.4	29.0	21.0	35.3	25.1	39.1	32.5	47.5	41.2
1997	7.1	6.7	9.8	9.1	10.2	10.3	11.3	12.0	23.4	18.6	41.2	25.9	58.2	32.7	93.3	47.3	107.0	61.8
1998	7.1	4.8	9.4	6.5	9.5	7.8	10.5	9.1	18.3	12.2	25.9	19.0	26.8	24.8	32.4	30.8	35.9	33.5
1999	5.4	6.8	7.8	8.9	10.2	10.7	10.5	14.1	17.5	19.8	30.0	25.7	37.3	33.1	55.5	37.7	58.5	45.8
2000	10.2	8.0	20.1	11.2	20.1	13.8	21.0	15.7	37.3	24.9	67.0	41.1	97.0	54.6	144.6	80.3	192.4	116.1
2001	9.6	6.3	13.3	9.5	16.8	10.9	18.7	13.8	28.3	19.3	38.4	24.9	43.0	32.7	73.8	49.9	86.1	65.6
2002	6.7	7.9	12.0	10.7	14.4	12.4	18.1	15.3	22.3	21.7	25.6	32.4	40.4	39.2	53.5	59.7	69.7	77.2
2003	14.8	7.3	16.5	10.9	17.7	12.4	20.2	15.9	27.4	25.5	31.0	32.2	32.4	44.7	56.6	57.2	77.6	66.6
2004	9.9	7.2	15.2	9.9	19.8	12.0	24.8	14.8	46.6	20.8	65.4	26.1	70.8	32.8	112.0	47.7	140.4	66.5
2005	9.9	5.4	19.8	7.7	19.8	9.0	23.2	10.9	32.8	15.0	62.3	22.1	86.4	28.8	132.4	39.3	194.0	49.0
2006	9.3	5.4	10.0	7.8	14.4	8.8	19.0	10.6	23.1	16.2	45.1	22.6	56.3	27.8	85.5	34.2	111.6	39.1
2007	10.2	4.7	15.2	6.5	16.6	7.7	21.1	9.6	29.7	13.6	39.9	18.0	43.9	22.6	48.6	25.9	48.6	28.3
2008	9.3	6.9	16.2	9.3	17.8	10.4	19.2	12.4	28.8	18.1	56.5	27.1	74.6	33.8	133.0	52.6	138.2	72.9
2009	7.1	6.0	10.9	8.3	11.8	10.2	13.5	12.3	21.4	16.5	32.0	21.3	37.2	24.4	53.0	38.1	84.0	52.9

Tabla 45: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Digua, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	9.5	9.6	9.5	13.8	16.3	17.4	16.6	19.0	27.8	30.1	39.4	41.5	52.4	54.8	72.2	79.2	86.1	95.7
1981	9.5	9.0	10.1	14.4	14.9	16.7	19.0	19.1	28.5	32.5	41.7	52.9	54.0	69.2	79.8	93.6	107.1	119.8
1982	8.9	8.0	11.2	11.7	12.8	14.8	16.5	19.4	30.7	27.8	45.3	40.9	58.4	50.0	76.9	78.3	133.0	116.9
1983	10.0	8.1	10.0	11.2	13.1	13.7	16.3	16.4	26.5	25.6	40.0	37.3	51.7	52.2	91.1	89.0	129.3	131.0
1984	6.8	7.3	9.4	9.4	10.9	11.5	13.4	13.3	20.4	22.0	26.5	33.4	27.5	42.7	41.6	70.6	60.9	106.2
1985	4.9	9.0	6.2	12.6	6.9	16.2	9.1	19.6	14.7	28.8	22.4	43.4	26.9	55.4	45.7	88.2	45.7	109.4
1986	9.6	8.6	14.1	13.4	19.1	16.0	22.7	18.1	34.7	31.8	53.4	46.1	68.2	57.2	94.5	99.9	149.5	167.7
1987	4.8	7.3	8.3	11.5	12.3	14.4	14.2	16.4	21.4	25.5	22.8	39.2	29.0	45.0	40.8	75.5	76.6	97.8
1988	9.8	8.0	13.1	9.8	16.1	12.9	19.6	14.3	29.4	21.4	39.6	33.8	49.5	46.3	66.2	79.1	101.0	100.8
1989	4.9	7.2	7.6	9.1	9.9	11.4	12.6	13.9	18.8	19.5	29.4	29.7	37.1	40.3	60.2	60.3	74.4	83.2
1990	5.6	7.3	8.9	9.9	12.3	13.0	15.5	14.2	19.2	21.4	31.0	30.6	41.4	43.3	53.1	59.8	65.1	76.1
1991	8.1	8.6	9.5	10.9	10.9	14.2	14.2	17.3	21.3	25.1	35.2	37.6	46.0	50.1	84.1	79.4	135.0	127.7
1992	10.1	9.2	15.0	12.0	20.0	15.7	22.7	17.9	42.6	27.7	71.9	44.7	96.1	58.9	137.0	94.6	188.2	135.1
1993	6.9	8.7	8.6	13.1	12.0	16.3	15.2	22.5	18.7	36.1	19.5	42.1	26.8	56.6	38.6	75.8	49.4	118.9
1994	7.5	8.4	11.2	11.2	13.9	14.3	15.6	18.0	21.4	28.0	31.9	43.9	44.5	60.4	58.5	87.6	75.8	115.0
1995	9.7	7.6	9.8	9.7	14.0	12.6	16.7	15.3	26.7	22.8	36.0	32.7	43.3	44.0	69.4	67.0	73.9	74.1
1996	9.7	8.4	13.3	10.9	15.2	14.5	15.8	15.8	25.9	22.1	45.1	34.9	53.4	42.9	57.1	56.3	65.1	85.7
1997	12.3	10.0	13.2	13.6	17.7	17.4	19.6	21.0	24.8	30.3	30.2	40.2	35.2	54.1	55.3	88.8	87.3	140.3
1998	5.6	7.3	8.9	9.3	11.2	11.1	14.7	13.3	20.0	19.4	28.5	28.7	32.4	41.3	33.5	54.7	41.7	64.2
1999	9.5	7.1	12.0	10.3	12.6	12.3	13.2	14.8	22.5	23.1	27.2	35.1	40.8	44.0	67.3	65.4	89.9	87.7
2000	10.4	9.7	14.4	14.8	18.7	20.3	18.9	24.9	28.4	35.0	44.1	53.5	61.1	74.8	87.0	107.6	123.0	132.7
2001	9.0	8.6	12.0	12.3	16.4	16.0	17.0	20.9	30.0	30.7	32.6	43.7	38.6	58.2	60.0	79.1	101.7	118.1
2002	19.3	9.0	22.7	12.9	24.0	15.8	30.5	17.9	37.4	29.0	42.0	51.1	52.6	68.3	69.2	105.5	82.8	165.1
2003	13.7	8.2	16.9	12.0	18.4	16.0	19.9	17.5	25.6	26.3	24.9	36.7	29.5	42.4	47.1	68.1	58.3	88.3
2004	8.5	8.7	9.8	11.5	12.2	15.3	15.3	16.1	23.8	26.7	37.9	38.6	51.0	49.0	70.0	66.0	127.2	97.1
2005	7.4	9.7	11.4	11.8	15.2	16.4	18.3	18.0	28.7	29.4	34.5	42.0	49.1	55.7	96.1	83.5	98.6	108.6
2006	8.7	9.3	9.9	12.7	14.3	16.1	15.2	17.3	22.8	26.7	33.2	43.8	37.5	58.2	37.7	77.3	38.1	110.6
2007	8.4	6.1	12.9	8.7	13.6	10.9	15.4	13.3	24.0	18.8	45.5	30.3	57.9	45.2	80.0	59.0	80.0	66.4
2008	9.8	8.6	14.7	11.6	17.6	14.6	19.4	16.7	28.4	25.9	47.0	41.9	61.8	57.1	90.3	91.3	130.1	137.0
2009	9.8	8.4	13.5	12.9	17.7	16.8	19.8	21.3	30.8	30.2	39.6	44.7	56.6	61.2	77.0	81.1	120.4	112.8

Tabla 46: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación San Javier, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	5.2	9.1	5.9	12.8	7.3	16.9	8.0	17.7	12.0	26.5	20.3	38.4	23.5	51.1	41.3	77.7	43.4	99.8
1981	9.3	7.7	13.6	11.0	15.9	12.7	17.0	13.7	22.3	20.6	28.8	33.6	32.6	38.8	34.3	50.3	43.7	58.8
1982	5.5	7.7	9.2	9.9	11.9	12.0	14.7	13.2	19.0	21.0	29.7	33.5	35.2	40.4	52.2	60.7	65.0	78.7
1983	9.8	8.7	16.0	10.1	23.0	12.6	29.6	13.4	45.4	19.7	55.5	30.5	75.3	34.4	97.2	55.8	99.3	67.4
1984	9.4	7.4	11.6	9.7	11.8	12.3	13.1	13.9	21.5	20.1	41.7	32.5	45.4	41.2	84.9	65.0	109.1	84.3
1985	7.3	7.4	9.2	9.6	10.8	12.2	13.9	12.6	21.9	16.9	32.7	27.9	37.2	29.0	43.2	42.6	45.0	48.0
1986	6.5	8.7	9.5	11.7	11.9	13.9	12.5	14.9	20.9	21.3	34.6	35.3	37.1	42.1	61.8	66.3	96.5	90.5
1987	7.1	7.4	8.6	11.6	9.8	14.3	11.7	14.9	17.2	23.7	25.4	40.2	29.6	50.0	42.5	61.0	54.6	82.3
1988	4.0	7.5	7.7	9.4	10.9	12.0	14.0	14.1	15.8	21.4	21.5	32.3	24.6	38.3	34.8	55.3	34.9	63.4
1989	6.4	6.7	8.6	8.8	10.2	10.6	12.6	11.7	19.1	18.1	29.4	27.7	33.3	32.7	36.6	46.3	51.7	61.0
1990	6.4	7.4	11.5	9.3	11.8	12.1	12.0	13.5	16.6	18.9	26.7	27.7	33.0	32.5	45.8	43.9	59.1	61.0
1991	3.8	8.3	6.6	10.2	8.1	12.7	8.2	13.9	15.1	19.8	19.3	27.2	20.1	32.6	20.1	46.6	29.6	63.8
1992	6.2	8.4	8.0	11.2	9.5	14.6	9.9	16.3	11.5	24.3	12.7	40.4	15.7	50.2	19.8	77.1	19.8	109.1
1993	3.7	8.3	5.3	10.3	7.7	12.4	10.3	13.2	12.0	16.5	18.2	23.4	24.0	27.5	29.8	33.5	29.8	37.2
1994	3.9	6.5	4.5	8.0	6.3	9.4	7.2	9.0	10.9	14.0	16.5	22.3	20.5	24.0	21.0	32.5	21.0	32.5
1995	5.7	6.0	8.2	7.8	9.0	9.7	11.0	10.5	13.8	15.0	18.9	22.3	20.1	25.4	20.2	32.6	20.2	34.4
1996	3.9	7.2	5.5	9.3	7.7	10.9	9.8	11.4	15.2	15.0	16.3	21.1	19.8	23.2	20.2	30.3	20.2	39.1
1997	4.5	10.5	8.8	12.7	12.3	14.4	15.1	14.6	18.8	20.6	20.0	29.8	25.3	35.8	37.9	49.8	49.1	63.0
1998	10.6	6.6	11.3	8.6	11.6	10.0	12.6	11.2	14.2	17.8	18.7	24.9	26.5	29.7	39.5	41.9	40.8	47.5
1999	9.5	8.1	14.1	10.0	15.1	11.4	19.1	13.3	22.0	19.0	27.9	32.1	31.8	39.9	53.9	53.4	83.1	67.9
2000	7.6	8.9	8.5	12.2	10.4	16.1	11.2	17.4	19.4	26.1	29.0	35.4	36.0	41.6	41.8	56.3	58.4	74.5
2001	4.2	7.6	7.3	10.1	9.3	11.8	11.8	12.5	16.1	19.4	16.1	31.2	26.7	37.0	31.9	54.9	36.0	73.7
2002	4.8	8.2	6.5	11.3	9.2	14.1	11.3	15.3	14.4	22.8	22.1	33.9	26.6	40.2	39.6	56.5	77.6	77.5
2003	5.4	8.6	9.4	12.0	12.0	14.0	13.7	14.4	18.0	20.7	23.2	27.3	23.2	32.1	32.9	43.4	48.5	58.3
2004	4.1	8.1	6.9	10.3	10.2	12.6	12.3	13.1	16.1	19.1	25.8	28.4	34.4	33.1	53.2	46.5	75.5	60.5
2005	5.3	7.0	7.6	9.3	8.2	12.1	10.3	13.2	14.8	19.9	20.3	28.2	26.3	34.4	33.9	49.6	47.8	55.1
2006	8.6	9.1	11.5	11.2	12.0	13.1	14.1	15.7	19.0	19.8	19.1	29.8	21.9	36.5	29.9	48.6	32.7	72.5
2007	8.1	6.3	10.0	8.3	10.1	10.5	11.9	11.8	16.2	18.3	16.7	25.7	23.6	30.0	27.8	37.0	23.2	37.0
2008	9.6	9.1	12.3	11.5	16.0	13.2	14.9	15.1	22.2	21.7	39.7	31.3	55.6	40.7	77.7	54.8	101.9	67.8
2009	9.6	7.0	13.9	10.2	14.5	13.1	14.9	15.1	20.3	19.8	25.4	27.8	25.7	30.9	39.4	48.4	40.5	57.3

Tabla 47: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Embalse Ancoa, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	10.8	9.2	18.8	13.1	21.2	17.9	21.4	20.2	31.6	31.9	60.0	49.9	61.8	65.50	92.7	103.7	145.5	135.4
1981	9.75	9.2	14.8	13.7	19.4	16.6	21.0	20.5	35.8	32.9	54.4	54.7	71.4	70.13	88.2	98.64	124.9	124.1
1982	5.71	8.1	7.9	11.0	9.85	13.3	12.5	15.8	17.1	26.5	19.9	39.7	19.8	51.11	19.8	88.68	19.8	139.5
1983	6.05	9.2	7.1	11.2	8.67	14.1	10.5	18.2	18.1	29.3	27.8	42.9	28.3	55.56	36.3	92.95	44.2	133.2
1984	8.21	8.4	10.5	10.8	13.2	13.4	15.3	15.6	24	26.2	45.9	41.1	55	53.07	80.5	85.05	133	125.8
1985	9.58	8.4	15.6	11.5	17.9	14.3	19.6	18.4	29.4	26.5	49.4	42.7	57.8	53.50	74.5	83.45	79.7	110.2
1986	7.93	9.5	12.3	14.2	16.9	16.7	20.4	19.8	31.8	33.3	51.1	51.1	66.3	66.18	123	103.6	181.5	166.6
1987	6.5	7.5	11.0	11.3	14.6	14.7	15.6	17.7	24.2	27.5	43.4	43.4	57.6	57.28	76.8	83.99	106.8	125.1
1988	7.09	8.0	12.3	9.8	15.7	13.1	18.3	16.5	29.4	25.7	45.7	41.7	68.8	54.50	112	79.40	143.8	100.0
1989	7.56	7.2	9.7	9.5	13.4	12.2	16.1	15.5	25.8	24.7	35.1	35.5	56.5	46.04	79.0	73.49	97.9	102.1
1990	7.7	8.0	12.3	10.6	15.6	13.5	17.2	14.9	23.0	21.3	30.3	33.4	41.3	42.01	63.4	56.62	78.9	75.5
1991	9.03	8.1	13.5	10.2	16.7	12.8	18.6	16.0	26.9	23.1	41.7	34.6	58.4	45.38	80.8	73.25	128.4	121.1
1992	10.3	8.8	11.8	12.4	16.8	15.5	21.6	22.9	36.7	38.7	48.2	55.1	65.8	70.35	120.0	110.5	156.8	171.5
1993	9.63	8.8	14.9	12.0	14.9	15.0	18.0	19.2	21.2	26.3	33.6	35.3	43.1	44.96	68.5	66.09	91.6	103.8
1994	9.89	7.8	11.9	10.2	16.4	12.6	19.0	14.7	32.3	23.4	48.8	38.0	67.4	50.06	95.6	74.40	95.6	96.7
1995	7.05	7.9	11.8	10.0	16.6	13.0	18.1	16.5	27.4	23.7	41.5	31.6	51.4	41.63	79.1	62.14	103.6	81.5
1996	9.65	7.9	12.0	11.1	14.8	13.8	17.2	15.6	24.0	22.4	37.9	33.9	50	39.92	69.3	58.62	78.8	82.0
1997	7.11	11.0	10.2	15.1	11.6	18.0	13.5	20.8	23.2	29.1	30.6	41.0	47.2	52.15	55.7	76.72	94.3	123.5
1998	5.83	7.8	10.2	9.4	11.2	11.5	13.4	14.0	20.0	20.7	36.9	32.6	51.1	42.52	81.3	64.79	130.2	87.3
1999	7.5	8.1	10.5	10.5	12.1	12.6	14.0	14.3	22.7	22.0	37.8	35.6	51.2	44.09	69.5	61.17	103.2	74.5
2000	10.4	9.5	13.6	14.0	20.4	18.4	21.3	20.7	33.0	30.2	51.5	45.9	77.1	58.45	96.6	81.36	107.5	111.8
2001	7.63	8.2	10.1	11.6	13.6	15.1	19.6	18.3	30.3	28.5	49.3	40.0	69.1	49.69	99.8	71.84	157.2	110.4
2002	11.2	9.4	14.7	13.3	20.2	15.9	23.4	20.2	40.3	28.4	64.6	42.8	87	56.06	104	78.90	149.4	123.7
2003	10.4	8.6	12.1	12.9	14.3	16.1	16.7	18.3	22.5	24.7	29.4	32.8	37.5	37.49	71.6	55.72	106.8	73.7
2004	13.5	7.9	13.6	10.7	22.5	13.7	24.0	16.3	44.3	23.4	70.0	33.8	98.6	43.53	120	62.95	143.2	99.5
2005	12.2	7.9	16.3	10.2	20.3	14.0	19.5	15.9	33.7	24.4	51.0	34.4	66.4	43.65	87.7	68.08	90.7	89.9
2006	10.1	8.7	12.5	11.1	16.3	13.6	19.4	15.3	28.0	23.1	49.7	35.2	70	46.05	93.7	61.10	131.5	82.9
2007	6.1	6.8	9.4	9.3	10.1	11.9	12.1	13.7	19.0	21.0	33.0	32.9	47.1	41.40	66.5	55.99	73.7	61.7
2008	9.78	8.7	11.3	12.1	14.3	14.5	17.3	15.5	30.2	22.2	47.9	37.0	68.6	46.45	110.0	71.73	154.8	99.2
2009	7.92	7.8	14.3	11.5	17.2	14.8	19.5	17.5	26.1	25.8	37.2	40.8	41	50.24	90.0	70.04	122.3	90.4

Tabla 48: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Pencahue, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	6.5	8.5	10.3	11.2	14.1	13.7	15.4	14.8	20.2	22.9	24.4	33.3	42.4	43.5	66.1	63.7	92.5	79.1
1981	4.5	8.3	6.3	12.0	7.7	14.0	8.0	16.1	9.5	23.2	14.3	35.8	18.6	44.4	18.6	57.9	19.3	73.7
1982	5.5	7.6	9.1	10.0	12.2	12.3	15.4	14.5	22.2	22.0	34.7	34.4	42.1	42.4	54.3	60.4	92.3	84.6
1983	9.3	8.5	9.5	10.8	11.3	14.1	14.1	15.4	21.0	22.4	30.7	33.3	45.5	39.9	71.5	59.2	103.5	74.0
1984	4.8	7.9	6.4	10.3	9.0	12.9	11.9	14.6	16.8	22.3	24.4	35.6	29.7	45.0	45.8	72.1	51.3	97.1
1985	5.5	7.4	7.7	9.9	11.3	11.8	13.7	13.0	16.2	19.0	26.6	28.1	30.0	33.6	42.7	43.0	47.9	50.5
1986	8.7	8.1	12.0	11.1	16.6	13.2	19.0	15.5	28.5	23.3	34.7	36.2	44.7	46.3	60.3	68.4	100.9	99.0
1987	5.2	8.0	9.7	11.4	13.3	13.6	15.3	14.7	19.6	23.2	35.1	37.0	43.0	45.4	49.4	60.3	58.5	83.1
1988	9.3	6.4	10.8	8.8	12.9	11.3	16.1	14.5	21.3	21.0	30.5	29.7	40.0	36.5	63.4	49.9	66.0	62.8
1989	3.9	7.0	5.3	9.0	7.4	10.7	9.4	12.4	13.2	18.7	16.6	28.8	19.1	34.9	22.4	49.7	28.9	70.3
1990	5.9	7.3	9.6	9.5	12.2	11.7	16.2	13.1	18.4	19.2	27.2	28.4	29.6	36.1	35.0	49.3	53.5	67.6
1991	5.8	8.0	7.5	10.4	10.9	12.5	14.5	13.7	15.0	21.5	20.0	29.5	24.4	36.3	27.3	50.0	40.0	72.0
1992	4.7	8.4	7.5	11.2	11.1	13.9	13.0	15.8	19.0	22.8	24.1	37.0	30.0	48.3	49.6	72.7	74.6	105.9
1993	7.1	7.2	8.2	9.4	9.9	11.5	12.0	13.3	14.2	18.1	25.2	23.9	27.0	31.9	27.0	41.5	27.0	52.9
1994	3.3	6.2	4.7	7.9	5.5	9.3	6.3	10.3	11.5	15.5	14.3	23.5	19.7	30.2	20.4	40.2	20.4	49.8
1995	3.1	6.1	4.3	8.3	6.5	9.8	8.3	11.5	11.0	16.4	18.1	22.5	18.7	28.7	19.9	37.8	19.9	45.5
1996	2.8	6.9	5.4	9.0	7.7	10.5	10.0	11.8	15.2	16.6	17.9	21.4	21.3	26.9	27.3	35.1	34.5	48.6
1997	9.1	9.3	9.6	12.0	11.9	13.9	13.1	15.3	16.9	21.7	23.0	29.8	29.4	39.7	29.7	59.2	42.9	83.6
1998	4.4	7.1	4.8	8.9	7.1	10.1	8.2	11.4	13.6	17.0	18.5	23.0	25.9	28.6	29.2	38.6	33.5	43.3
1999	6.9	8.3	9.3	10.4	10.6	11.9	12.4	14.1	15.0	19.5	20.9	31.5	27.0	38.0	47.5	52.2	62.2	68.7
2000	5.5	8.9	6.4	12.0	9.0	15.5	11.0	16.9	15.4	25.8	22.8	36.3	26.6	45.0	43.5	59.2	61.1	76.9
2001	4.0	7.6	5.7	10.5	7.7	12.1	8.4	13.6	12.4	20.4	19.1	30.3	20.0	38.7	20.5	56.6	20.5	76.9
2002	8.8	7.5	12.1	10.6	14.5	13.1	17.0	15.5	20.8	23.0	22.9	33.2	34.3	42.1	51.3	60.1	57.8	86.4
2003	8.7	7.9	12.3	11.2	14.4	13.0	15.2	13.9	24.6	20.4	32.6	26.5	41.3	31.6	54.3	43.4	79.2	56.2
2004	4.4	7.8	6.0	10.5	7.6	12.6	8.5	13.7	12.7	19.8	24.6	26.6	34.0	32.8	45.1	44.3	52.8	56.3
2005	4.4	6.9	7.7	9.2	10.3	11.4	11.0	13.5	18.4	19.7	25.7	27.6	31.2	36.1	57.4	48.8	66.2	58.1
2006	7.0	9.0	9.0	11.3	10.4	13.0	13.2	16.3	17.0	21.8	26.9	28.5	36.3	37.4	52.0	47.9	83.2	68.4
2007	5.4	6.7	8.9	8.5	12.2	10.0	15.0	11.8	20.2	17.9	23.0	22.9	24.8	29.6	40.0	34.4	40.0	35.9
2008	5.0	9.9	6.4	12.4	8.9	14.5	11.7	15.6	17.2	22.8	20.4	34.3	27.9	44.7	44.5	60.0	51.3	78.6
2009	4.3	7.7	5.7	11.1	7.7	13.6	10.0	15.9	12.5	21.5	14.0	28.8	18.5	34.5	22.9	52.4	26.1	65.3

Tabla 49: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Parral, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	9.8	9.2	15.1	12.3	17.8	16.5	20.0	17.9	32.0	27.1	32.1	38.9	45.7	50.8	52.0	73.9	60.3	92.8
1981	6.8	9.0	9.6	13.2	9.8	15.9	10.0	18.4	19.5	27.2	30.7	42.8	35.4	52.2	46.6	75.8	61.8	96.1
1982	6.9	8.1	9.0	11.1	13.0	14.3	14.0	16.9	22.3	26.4	33.3	41.5	37.8	50.5	48.8	71.4	71.2	110.3
1983	5.8	8.7	10.6	10.8	15.2	13.8	17.0	15.6	25.8	23.3	40.7	35.2	58.8	43.9	90.8	72.0	108.4	98.6
1984	5.3	7.5	8.1	9.9	10.8	11.9	12.5	14.1	19.8	21.3	23.6	31.4	27.0	38.7	42.0	60.7	75.0	85.9
1985	7.8	8.0	12.1	10.5	15.6	12.8	17.0	13.8	26.8	21.0	38.0	32.0	48.0	37.9	48.0	55.1	57.5	62.9
1986	6.7	8.5	9.3	12.2	12.1	15.4	13.5	18.4	22.5	28.4	28.2	42.2	49.5	54.1	82.0	82.1	117.9	128.4
1987	9.8	7.1	16.7	10.9	19.2	13.7	19.6	14.9	29.5	23.4	50.6	34.5	49.0	42.5	80.8	62.3	90.8	94.0
1988	6.7	8.1	7.5	10.4	9.8	13.4	10.2	16.3	15.1	23.3	21.6	34.0	30.0	43.8	47.0	62.5	64.1	88.5
1989	4.5	6.9	6.4	9.1	7.9	11.3	9.9	13.0	9.9	19.8	13.4	29.0	15.1	36.4	15.1	56.1	18.1	75.1
1990	5.2	6.9	8.9	9.2	11.2	11.9	13.0	13.0	19.6	18.3	26.2	28.1	32.0	36.4	41.5	50.7	64.6	65.1
1991	7.7	8.9	9.4	11.7	13.4	14.3	17.3	15.8	21.5	22.6	32.5	34.7	34.5	44.2	40.8	69.5	64.5	108.1
1992	9.7	9.2	15.7	12.2	18.0	16.2	20.2	19.6	29.6	31.4	44.3	48.7	55.8	64.2	90.2	97.5	119.9	141.6
1993	9.5	8.1	12.8	10.6	17.3	13.1	19.8	15.2	25.1	20.3	35.9	28.4	45.5	35.3	45.8	52.2	83.9	66.1
1994	6.4	7.8	11.3	10.1	16.5	12.4	19.4	14.3	22.3	20.9	36.4	33.1	44.3	41.3	49.1	59.7	50.5	79.0
1995	6.7	8.0	7.8	9.7	9.7	12.4	11.8	13.5	18.6	19.7	20.1	29.9	23.3	36.2	29.4	52.0	39.6	61.0
1996	7.7	8.5	12.2	10.9	16.1	14.0	17.4	15.2	19.5	21.3	19.6	34.9	20.0	39.0	20.0	52.8	29.3	76.0
1997	9.9	10.8	15.5	13.4	18.2	17.6	20.0	19.2	22.5	27.2	27.3	40.0	40.0	48.0	60.0	73.5	98.1	114.1
1998	3.7	7.3	6.5	9.5	9.7	11.5	12.0	13.1	15.3	18.1	19.4	26.0	28.9	33.0	36.3	45.3	38.0	53.7
1999	5.4	7.8	7.1	10.2	8.2	12.1	9.5	13.1	12.5	19.5	23.4	32.3	29.2	39.8	43.6	62.7	58.6	83.4
2000	9.5	9.4	10.1	13.7	12.5	18.0	14.6	20.3	14.4	30.0	21.4	45.2	27.3	55.4	42.8	77.2	46.8	99.3
2001	9.5	7.8	9.6	11.5	11.9	14.3	14.1	15.5	15.3	23.9	19.2	37.5	28.3	44.1	38.2	66.8	40.0	95.9
2002	4.9	10.6	7.0	14.4	8.4	17.8	10.0	20.7	15.0	30.8	25.5	46.1	32.7	57.7	50.6	88.8	67.9	127.7
2003	6.6	8.8	9.1	12.6	11.9	16.1	14.6	16.8	19.1	23.9	23.4	32.4	29.4	37.5	35.6	57.4	40.0	75.4
2004	4.1	9.5	6.2	12.8	8.0	16.5	10.0	18.4	18.6	27.6	23.9	38.1	27.0	46.8	31.9	62.5	59.8	96.3
2005	9.7	8.9	9.9	11.3	11.1	15.4	13.8	16.9	18.1	25.4	29.6	37.6	42.7	47.0	74.5	69.6	88.5	76.2
2006	9.8	9.6	14.4	12.2	14.9	15.5	17.3	16.8	18.7	24.5	34.4	36.8	44.7	41.7	67.2	51.4	94.9	67.0
2007	3.5	6.8	5.5	9.4	7.4	11.4	10.0	13.0	16.5	18.1	26.4	27.6	36.7	35.2	40.5	47.4	40.5	49.9
2008	5.0	8.9	7.4	12.2	9.5	15.1	12.6	16.5	19.9	24.3	32.6	36.9	41.2	48.2	56.1	75.3	71.8	104.4
2009	5.7	8.8	6.7	12.9	9.2	16.3	11.6	18.0	19.6	23.6	30.7	35.7	37.9	41.4	56.7	60.4	82.0	85.7

Tabla 50: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Bullileo, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	10.0	9.5	13.1	13.0	16.0	17.6	17.8	18.3	30.6	28.8	44.2	43.3	61.6	54.6	93.7	78.3	105.7	100.7
1981	10.1	9.1	19.9	12.2	20.9	15.7	23.4	18.7	43.2	27.7	80.0	43.5	101.3	53.6	140.9	76.6	169.5	102.0
1982	10.2	10.2	17.8	17.8	20.3	20.3	26.1	15.4	34.5	26.2	53.2	38.5	60.8	50.4	109.0	70.3	155.3	117.7
1983	10.0	8.1	14.1	9.9	14.5	12.7	18.0	14.9	29.7	23.4	42.0	36.2	62.3	45.2	121.7	73.7	185.1	106.3
1984	4.9	7.9	7.7	9.9	9.5	12.2	12.6	14.0	22.3	22.3	33.2	34.8	47.7	39.7	84.8	62.2	124.4	89.2
1985	9.8	8.3	14.6	11.0	18.6	13.7	23.7	14.0	33.2	20.6	53.7	35.0	68.6	38.4	135.7	60.1	154.8	74.6
1986	10.0	8.9	19.7	12.7	20.0	16.6	20.0	20.8	38.9	32.8	56.4	50.5	61.3	65.1	120.0	97.3	214.1	150.1
1987	5.8	7.0	9.6	10.8	12.1	14.1	16.0	15.3	24.6	23.6	32.4	35.0	39.5	40.3	77.4	61.7	96.1	93.9
1988	10.0	8.1	10.1	10.9	12.6	14.4	14.1	18.4	22.5	26.8	38.8	37.0	55.3	48.1	109.8	68.7	125.6	101.2
1989	10.0	6.4	10.0	8.8	12.1	11.4	16.0	13.6	22.1	20.8	38.2	30.0	53.4	39.3	84.8	61.4	117.2	81.4
1990	10.0	6.7	11.0	9.7	15.3	12.9	15.9	14.8	24.7	20.0	37.6	29.7	55.5	39.7	77.8	54.4	89.1	69.7
1991	9.6	8.3	10.1	10.8	14.5	13.3	19.0	15.5	29.1	22.9	44.0	36.8	62.4	46.8	112.8	76.5	177.3	126.6
1992	9.6	9.1	11.4	12.5	15.7	16.3	15.8	20.7	25.7	35.7	46.9	53.7	64.9	73.1	103.5	110.2	149.5	161.4
1993	10.1	8.1	20.1	10.6	23.4	13.6	31.1	15.9	56.4	21.1	64.3	29.2	79.1	35.8	109.6	55.3	170.0	71.8
1994	10.0	8.2	12.5	11.2	15.7	14.1	19.8	16.1	36.0	23.2	59.9	37.2	84.6	46.2	134.2	65.7	169.8	88.6
1995	10.4	7.7	13.4	9.4	16.6	12.9	22.0	15.6	33.1	23.7	47.7	33.5	67.3	42.8	118.5	63.4	121.7	79.5
1996	9.9	8.4	11.1	11.4	15.5	14.6	15.9	16.2	25.9	24.1	41.8	38.3	55.3	46.7	72.3	61.1	104.5	83.2
1997	10.2	10.1	16.5	12.9	19.0	16.8	26.7	18.6	39.7	25.6	45.3	37.3	67.1	45.2	120.8	71.7	174.0	112.2
1998	10.2	6.6	10.3	9.0	10.3	11.3	13.4	13.3	21.4	18.8	35.9	28.0	51.2	34.1	66.4	46.4	76.6	59.8
1999	9.0	7.3	14.9	10.0	17.0	11.5	20.8	13.2	34.4	21.1	44.6	32.6	57.3	41.7	72.3	63.7	85.7	86.8
2000	10.4	9.7	20.8	13.5	31.0	18.0	32.0	20.3	45.2	30.1	80.6	46.9	113.4	60.5	184.5	84.1	228.2	114.4
2001	15.0	7.8	19.8	11.2	27.0	14.6	34.1	17.4	50.9	27.5	68.9	38.8	90.4	46.9	120.0	72.8	196.1	116.0
2002	10.0	10.8	14.8	15.1	15.2	18.7	18.7	24.4	27.2	34.6	53.0	49.3	75.0	58.6	116.8	86.2	204.9	116.1
2003	10.3	9.0	14.7	12.7	19.6	16.0	20.3	18.0	33.2	25.0	50.7	31.0	51.0	36.0	91.6	58.3	112.7	75.9
2004	5.7	9.6	9.6	12.3	11.3	16.9	13.8	19.4	24.4	30.0	35.1	43.1	46.3	53.2	61.8	70.5	75.7	108.6
2005	10.3	9.6	14.0	11.8	20.4	16.5	21.8	19.3	37.4	29.7	45.4	42.8	62.6	52.9	100.6	84.2	156.5	91.3
2006	10.3	8.9	14.0	11.7	19.3	15.1	19.5	17.1	34.6	25.9	65.0	38.9	94.2	46.1	135.5	54.1	195.5	69.6
2007	6.0	6.6	10.2	9.5	12.0	11.6	15.2	13.9	21.5	20.6	42.4	32.4	63.0	44.1	82.4	58.8	93.4	63.5
2008	9.9	8.7	14.2	12.2	16.3	15.3	16.4	17.7	26.2	27.2	52.5	42.2	68.3	56.5	109.3	86.2	177.2	124.1
2009	8.9	8.4	16.9	12.0	24.3	15.4	30.1	17.9	46.6	25.7	73.3	36.5	102.3	46.9	129.5	70.3	157.7	104.0

Tabla 51: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Embalse Coihueco, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	13.4	8.6	18.0	12.2	24.0	15.6	29.0	18.0	35.7	29.2	32.8	41.0	45.8	58.0	73.4	81.6	89.1	109.1
1981	11.0	9.0	19.3	13.4	24.3	15.4	28.2	20.2	39.0	29.1	49.3	44.1	58.2	57.4	72.2	89.6	83.6	113.0
1982	9.7	8.0	12.7	11.0	18.0	14.2	21.1	16.6	30.0	27.1	41.5	44.3	52.8	54.5	71.3	78.9	118.6	121.9
1983	9.3	7.6	14.2	9.9	18.0	12.4	20.0	13.1	22.0	20.9	27.6	34.9	30.7	44.9	47.0	72.5	47.1	102.7
1984	9.7	7.3	10.5	9.7	11.4	12.6	13.7	15.1	22.3	24.0	28.1	34.8	34.0	45.0	60.0	64.1	85.4	93.0
1985	10.0	9.0	15.4	12.0	20.0	15.6	25.0	17.9	46.8	25.5	47.5	40.9	65.4	50.2	75.8	70.0	89.9	93.1
1986	7.1	8.8	11.5	11.8	16.1	15.7	19.6	18.3	34.8	28.4	54.2	38.0	69.4	50.2	98.2	81.4	191.2	124.1
1987	6.5	7.7	9.9	11.9	14.5	15.0	16.0	16.7	29.7	26.9	53.0	38.3	64.9	46.5	91.0	70.7	126.1	107.9
1988	5.4	8.6	7.5	10.9	13.4	13.6	15.6	17.1	19.8	24.5	28.0	34.2	37.4	44.6	53.6	65.2	60.2	103.7
1989	6.9	7.1	7.8	9.5	8.9	12.3	11.2	15.0	15.0	22.9	16.0	32.1	19.8	42.2	19.8	64.8	29.1	89.7
1990	6.3	7.0	6.8	10.0	9.6	13.3	9.0	15.5	16.5	21.9	28.2	30.0	35.5	40.4	49.7	57.1	55.2	84.3
1991	4.4	9.9	6.0	13.6	9.7	16.3	10.8	18.4	15.0	29.2	21.9	41.3	29.6	52.5	50.0	82.3	60.0	139.0
1992	10.1	9.2	10.1	12.7	15.3	16.2	17.9	18.1	23.1	28.8	41.8	43.8	51.5	55.0	90.0	90.2	130.0	136.9
1993	8.3	8.3	9.5	11.3	13.2	14.6	16.0	17.1	23.3	23.3	35.0	35.0	43.7	47.3	57.0	73.7	78.6	102.9
1994	11.5	8.3	13.3	11.8	15.9	14.7	20.0	18.6	25.2	25.4	44.1	38.6	48.0	50.7	60.2	76.7	73.3	121.0
1995	9.9	8.4	12.2	10.6	14.6	14.0	14.7	16.6	22.0	23.5	27.5	36.4	40.4	45.9	69.8	64.1	83.0	86.3
1996	10.3	8.6	10.4	12.0	19.0	15.9	20.0	18.3	30.1	26.2	41.6	39.5	49.4	47.1	71.0	68.8	92.3	106.7
1997	10.3	10.2	20.6	13.0	30.9	17.5	33.2	20.2	51.3	27.8	73.5	42.1	76.1	57.6	103.1	96.7	170.2	157.3
1998	6.2	6.9	8.1	10.0	13.4	12.3	17.6	15.1	19.0	20.4	27.7	25.9	34.0	33.9	50.2	50.1	65.2	63.2
1999	6.4	7.0	11.3	9.1	14.7	11.0	19.5	13.1	27.5	20.7	45.4	34.9	58.3	43.0	94.7	62.9	114.4	93.7
2000	12.5	9.0	20.4	13.3	24.2	18.0	34.5	22.3	49.7	32.9	52.2	50.1	80.9	64.3	103.5	93.4	155.8	126.7
2001	9.8	8.2	19.6	11.6	19.6	15.3	16.0	18.8	23.2	27.3	40.9	46.4	54.9	57.0	73.5	91.1	122.0	148.8
2002	10.2	10.6	14.4	15.3	20.0	19.1	26.1	22.5	40.8	35.2	65.0	52.4	90.0	67.7	153.2	105.6	244.6	170.0
2003	9.8	8.6	19.5	11.9	29.0	15.4	22.9	18.0	33.1	27.2	46.7	36.8	37.5	44.3	58.8	70.1	92.0	97.8
2004	9.6	10.8	14.5	15.0	18.7	19.5	21.9	23.6	25.8	35.9	40.8	45.0	46.4	54.9	67.7	69.2	125.4	98.0
2005	10.2	10.5	10.2	13.1	14.9	18.3	15.6	22.5	18.0	34.1	30.3	48.8	35.0	63.0	41.9	89.9	47.8	100.2
2006	9.9	9.9	14.0	13.4	19.7	17.0	22.9	19.8	30.2	31.3	35.8	44.5	55.2	55.8	80.5	72.1	117.1	109.6
2007	9.3	6.6	16.3	9.1	16.3	11.1	17.7	13.2	18.5	19.0	21.3	28.8	29.4	36.6	29.4	47.7	45.3	51.0
2008	9.4	8.3	16.6	12.8	18.0	15.8	20.0	18.0	30.1	30.5	26.4	47.4	71.6	60.9	85.5	91.4	115.6	140.6
2009	20.0	7.9	39.1	10.3	44.1	13.4	46.2	15.7	55.2	22.0	63.0	35.5	71.8	43.6	98.0	67.2	154.1	92.7

Tabla 52: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Chillán DMC, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	9.79	9.1	19.47	13.0	19.15	16.0	24.2	20.7	42.6	27.1	61.2	40.0	90.2	48.8	149.2	70.0	172.3	87.7
1981	7.7	8.6	8.06	12.0	12.04	15.8	15.1	19.2	24.2	28.9	29.2	38.8	42.1	46.6	74.0	72.7	118.9	121.7
1982	5.83	8.7	10.15	13.7	14.12	16.5	15.0	21.0	25.4	33.3	38.9	42.6	42.3	49.1	80.0	66.8	123.1	82.5
1983	12.1	7.1	17.1	8.8	19.2	11.7	24.3	13.2	31.2	18.7	39.2	30.1	48.9	39.3	73.5	54.5	122.6	74.2
1984	5.86	7.4	9.1	10.0	12.98	11.8	15.6	14.4	27.2	18.4	39.1	23.7	48.1	32.2	77.5	42.2	101.5	53.0
1985	6.45	7.4	9.19	9.3	12.1	12.1	15.3	14.1	23.0	20.5	32.9	27.7	42.9	37.7	59.0	51.7	80.3	70.5
1986	9.61	10.0	19.16	12.9	19.16	15.6	15.0	20.0	23.5	29.9	41.9	37.8	53.4	47.5	96.8	65.2	179.6	93.6
1987	6.64	10.0	9.16	13.8	12.26	17.2	15.2	19.2	27.3	27.4	36.4	46.1	50.2	59.2	81.4	91.6	144.0	149.2
1988	7.74	8.4	11.2	10.3	15.1	12.9	17.3	14.5	22.7	18.6	42.1	27.3	58.1	35.9	95.3	49.8	112.8	60.0
1989	9.33	8.0	13.4	10.4	17.2	12.9	21.1	14.2	32.3	19.5	41.5	34.0	58.7	43.2	88.0	59.1	158.4	72.6
1990	8.5	9.7	13.52	12.0	17.05	14.4	20.0	16.6	28.5	21.4	55.8	28.5	70.0	36.0	91.8	53.3	131.0	68.0
1991	9.39	8.9	14.34	11.4	18.62	15.6	20.4	18.5	32.6	28.6	59.2	36.2	67.2	44.5	110.4	55.2	181.5	72.2
1992	9.63	11.4	11.81	15.7	18.93	20.4	19.9	25.4	27.2	34.4	47.6	48.0	68.4	59.1	123.1	81.9	195.5	138.4
1993	4.08	7.3	6.81	10.7	7.89	13.7	10.0	16.8	17.1	19.9	26.8	25.7	31.8	30.6	52.0	44.2	76.0	49.0
1994	7.47	7.1	7.69	9.9	11.2	11.8	14.7	14.6	25.1	21.7	43.7	34.4	54.0	45.5	68.6	67.1	94.2	83.2
1995	9.04	9.2	15.2	12.8	22.4	16.1	26.0	19.3	39.8	26.2	72.3	34.4	80.3	43.0	118.7	62.3	170.9	86.2
1996	7.97	8.4	14.3	12.1	19.07	14.4	24.9	15.0	35.3	23.1	68.1	35.8	78.2	45.8	131.2	67.7	220.8	99.6
1997	10.0	11.3	15.2	15.4	20.1	19.2	24.1	22.6	39.8	29.3	52.1	43.7	65.6	52.9	104.3	81.7	172.1	124.4
1998	7.56	8.9	13.3	12.9	17.1	16.5	20.5	16.3	33.6	22.5	46.6	31.7	54.2	34.3	93.0	51.9	122.8	70.6
1999	15	10.7	23	15.7	30	18.7	37.7	22.8	57.2	28.5	62.0	36.5	68.0	42.5	71.0	54.5	85.5	81.5
2000	17.1	9.1	23.5	10.2	30.1	14.1	36.5	15.6	56.5	20.4	79.2	34.3	99.1	41.0	126.5	60.4	126.5	69.9
2001	8.9	11.3	14.4	14.2	19.2	17.1	24.9	20.0	45.0	26.6	73.1	36.2	83.2	46.6	83.2	73.3	134.0	113.4
2002	6.64	7.3	9.43	10.3	12.2	11.8	15.1	14.0	20.6	18.4	32.3	24.4	40.0	30.7	47.0	41.8	47.3	47.7
2003	7.65	8.4	12.3	14.2	16.4	16.2	19.2	18.3	35.0	26.6	57.9	35.4	80.0	48.0	117.2	70.9	174.4	114.1
2004	5.4	10.3	9.9	14.6	14.4	17.4	17.6	20.4	21.2	28.8	40.0	37.1	48.0	43.0	86.4	67.7	105.0	109.6
2005	9.79	9.1	19.47	13.0	19.15	16.0	24.2	20.7	42.6	27.1	61.2	40.0	90.2	48.8	149.2	70.0	172.3	87.7
2006	7.7	8.6	8.06	12.0	12.04	15.8	15.1	19.2	24.2	28.9	29.2	38.8	42.1	46.6	74.0	72.7	118.9	121.7
2007	5.83	8.7	10.15	13.7	14.12	16.5	15.0	21.0	25.4	33.3	38.9	42.6	42.3	49.1	80.0	66.8	123.1	82.5
2008	12.1	7.1	17.1	8.8	19.2	11.7	24.3	13.2	31.2	18.7	39.2	30.1	48.9	39.3	73.5	54.5	122.6	74.2
2009	5.86	7.4	9.1	10.0	12.98	11.8	15.6	14.4	27.2	18.4	39.1	23.7	48.1	32.2	77.5	42.2	101.5	53.0

Tabla 53: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Caracol DMC, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1987	6.1	7.3	9.6	11.0	12.7	14.2	15.0	16.2	25.4	25.7	31.1	39.0	42.3	48.1	80.0	71.0	123.1	102.3
1988	10.0	7.9	14.5	9.6	19.0	12.5	24.3	14.6	31.2	21.9	33.4	34.6	48.9	43.8	73.5	67.4	122.6	93.5
1989	5.8	7.4	9.7	9.1	13.2	11.5	15.6	14.2	27.2	20.7	34.5	31.1	48.1	39.5	77.5	61.3	101.5	87.7
1990	4.9	7.3	9.4	9.9	13.9	13.2	15.3	14.3	23.0	20.6	25.5	31.6	42.9	40.5	59.0	58.5	80.3	79.4
1991	8.7	8.6	10.0	11.3	12.5	14.5	15.0	17.5	23.5	27.2	44.7	37.7	53.4	49.1	96.8	76.5	179.6	116.7
1992	7.3	9.4	9.0	12.4	12.1	16.4	15.2	18.7	27.3	28.4	34.4	46.8	50.2	57.0	81.4	92.9	144.0	130.2
1993	6.3	8.6	10.7	11.8	14.9	15.2	17.3	18.4	29.4	26.9	39.9	37.4	58.1	45.2	95.3	68.0	112.8	102.1
1994	10.1	8.6	16.3	11.2	16.8	14.4	21.1	17.1	32.3	23.7	51.8	39.8	58.7	49.4	88.0	76.4	158.4	104.1
1995	8.5	8.0	10.0	9.9	14.6	13.4	19.1	15.6	28.5	22.7	49.4	32.7	70.0	40.1	91.8	64.6	131.0	77.6
1996	7.5	8.7	11.3	11.2	15.9	15.4	20.4	16.4	32.6	22.8	50.8	34.4	67.2	39.5	110.4	55.3	181.5	74.8
1997	7.2	9.8	10.3	13.6	15.2	17.9	19.9	20.9	27.2	30.1	46.4	42.3	68.4	53.7	123.1	87.2	195.5	136.0
1998	6.0	7.2	6.9	9.7	9.2	12.2	10.0	15.2	17.1	20.1	24.3	27.7	31.8	35.7	52.0	50.6	76.0	60.9
1999	5.7	7.2	10.5	9.9	11.1	12.0	14.7	14.3	25.1	21.5	46.6	34.0	54.0	41.6	68.6	62.8	94.2	87.2
2000	10.4	9.3	13.9	14.3	20.7	19.2	26.0	22.7	39.8	33.0	71.0	49.6	80.3	64.6	118.7	96.5	170.9	125.8
2001	8.9	8.8	14.7	12.5	19.9	16.3	24.9	18.7	35.3	27.7	62.0	43.6	78.2	52.2	131.2	79.0	220.8	123.2
2002	8.7	10.6	14.3	15.0	20.1	18.5	24.1	21.7	39.8	32.1	57.7	53.3	65.6	66.2	104.3	106.1	172.1	165.6
2003	7.4	9.1	12.2	12.7	17.0	17.0	20.5	17.7	33.6	26.0	43.1	37.2	54.2	40.3	93.0	63.6	122.8	86.5
2004	15.6	8.8	23.6	11.4	31.2	15.0	37.7	16.3	57.2	25.0	63.2	38.1	68.0	45.9	71.0	65.2	85.5	93.3
2005	18.5	8.9	19.0	11.2	28.5	15.7	36.5	16.7	56.5	24.7	84.9	36.6	99.1	45.4	126.5	70.9	126.5	89.1
2006	9.6	9.0	14.6	12.1	19.0	16.2	24.9	17.7	45.0	26.3	70.6	37.5	83.2	50.1	83.2	72.8	134.0	105.4
2007	4.9	6.9	8.9	9.7	12.3	11.5	15.1	13.3	20.6	18.9	30.3	29.4	40.0	37.1	47.0	49.5	47.3	56.6
2008	7.9	8.8	13.5	12.7	17.1	15.6	19.2	16.8	35.0	26.3	55.0	41.9	80.0	52.1	117.2	79.6	174.4	118.1
2009	5.5	9.4	7.1	13.8	11.0	18.2	14.4	20.2	21.2	28.0	37.8	41.8	48.0	50.5	86.4	70.8	105.0	98.5

Tabla 54: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Polcura en Embalsadero, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	4.3	9.7	7.3	13.3	9.8	17.1	11.2	19.0	17.3	29.7	21.6	42.1	24.9	54.3	39.7	79.1	41.9	106.3
1981	7.6	10.0	9.9	13.2	11.3	17.0	13.5	18.7	23.0	25.1	39.2	41.1	55.9	49.4	80.1	73.1	108.7	94.3
1982	10.0	8.1	10.0	10.9	10.0	14.7	17.9	16.2	22.0	25.9	34.8	38.9	44.8	47.6	60.9	68.9	113.8	108.2
1983	6.8	7.1	10.9	9.7	13.4	11.8	15.2	13.4	25.6	20.9	46.8	31.6	65.7	41.1	118.7	64.5	207.6	90.7
1984	8.1	8.3	10.1	10.6	14.8	13.8	16.7	16.0	23.2	25.6	40.2	38.3	54.2	46.6	86.0	71.2	98.5	100.5
1985	20.4	8.0	20.4	11.3	20.4	14.9	25.7	16.3	34.0	23.7	52.7	38.0	70.9	44.9	99.6	63.4	119.0	84.6
1986	10.1	9.0	10.2	12.4	16.5	16.5	16.8	19.5	28.9	28.8	47.0	40.3	66.9	52.7	107.0	81.9	153.0	125.0
1987	10.1	8.0	13.7	11.1	16.5	14.3	20.0	16.2	29.7	25.0	54.3	37.2	70.5	45.8	106.5	65.7	112.7	96.0
1988	6.0	7.4	7.9	9.7	10.5	12.7	14.3	15.1	20.5	21.8	32.2	32.7	48.5	41.5	73.4	58.6	123.9	85.5
1989	8.4	7.2	10.1	9.2	10.2	12.4	12.2	14.5	20.0	21.4	34.6	31.9	48.0	39.0	83.0	60.1	140.0	84.6
1990	6.2	7.4	9.3	10.3	10.5	14.0	12.3	14.5	23.0	20.5	41.7	31.2	58.5	38.0	75.8	56.7	78.5	78.8
1991	8.1	9.3	9.9	12.8	12.9	16.0	14.8	18.4	19.7	27.8	32.3	40.0	47.4	47.0	87.3	66.5	130.1	101.9
1992	9.0	9.3	11.0	13.0	15.7	16.8	20.5	18.8	34.0	27.5	53.0	41.9	62.9	52.5	77.5	84.0	100.3	121.7
1993	10.4	8.1	11.9	11.6	13.0	15.1	16.1	16.7	26.7	22.2	41.4	31.9	48.5	39.4	59.2	61.0	109.4	85.0
1994	10.1	7.8	10.1	10.8	14.0	13.7	19.2	15.4	30.1	20.8	49.1	33.3	67.2	41.1	100.0	62.7	135.4	88.1
1995	6.1	7.7	7.8	9.8	9.9	13.5	11.9	15.3	21.8	21.7	38.9	30.7	54.0	36.9	83.6	56.5	103.4	73.5
1997	4.6	9.2	8.0	13.2	9.6	16.6	12.1	19.2	18.7	27.2	30.3	40.3	42.6	50.5	75.0	81.0	130.9	122.0
1998	4.0	6.6	6.0	9.3	7.7	11.6	9.8	13.7	15.9	18.3	29.1	24.2	40.4	31.2	63.0	44.3	86.3	53.8
2000	4.5	9.2	7.5	13.0	9.0	17.4	10.3	19.9	18.8	28.6	32.2	43.4	37.2	54.6	38.3	78.6	40.1	105.7

Tabla 55: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Carrier Sur, por duración horaria.

Año	Duración (horas)																	
	0.25		0.5		0.75		1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1980	-	-	-	-	-	15.4	24.4	17.0	33.1	26.3	37.0	37.6	46.5	50.2	53.0	72.8	68.9	96.6
1981	10.0	8.7	10.7	12.3	11.2	14.9	12.7	31.9	19.6	47.6	26.0	64.3	32.9	86.2	47.5	95.5	49.2	113.7
1982	-	-	-	-	-	13.9	25.6	18.5	37.9	29.7	48.0	41.6	51.5	52.0	55.0	65.2	55.0	80.8
1983	-	-	-	-	-	12.5	19.0	11.9	22.0	20.0	25.0	28.3	31.4	34.3	50.0	62.1	79.3	94.5
1984	-	-	-	-	-	13.4	16.6	17.0	26.4	28.2	34.3	35.9	40.7	45.7	67.3	67.8	95.3	85.9
1985	-	-	-	-	-	12.9	14.2	12.0	19.7	16.4	26.0	23.1	32.3	25.0	37.4	32.9	54.5	34.0
1986	11.0	8.5	12.3	12.0	14.7	15.3	17.6	20.1	19.6	29.9	24.8	45.9	36.0	61.4	46.0	86.4	70.7	147.8
1987	20.7	7.9	23.6	11.1	25.3	14.1	27.9	22.2	31.9	27.3	34.0	42.3	40.2	53.2	53.5	70.0	82.6	88.9
1988	-	-	-	-	-	11.6	12.5	15.3	17.0	21.7	19.2	29.7	22.8	37.1	23.3	64.4	26.0	96.2
1989	11.5	6.7	13.9	8.8	15.4	11.2	16.0	13.4	22.4	20.0	29.5	28.8	36.9	36.7	57.4	56.3	74.4	81.6
1990	7.5	7.1	8.4	9.5	10.0	12.0	11.7	13.1	16.5	19.2	24.6	29.1	31.1	37.1	49.1	52.4	58.0	69.3
1991	15.1	9.0	17.7	11.7	21.1	14.6	23.4	16.2	32.2	23.6	47.0	36.0	59.8	43.5	65.3	63.7	75.9	97.8
1992	17.5	8.5	17.6	11.8	19.6	15.1	21.6	18.1	23.8	27.4	30.6	42.3	45.7	54.1	50.0	84.2	94.8	119.7
1993	-	-	-	-	-	12.9	21.3	15.0	26.3	21.2	32.1	29.7	36.1	38.0	38.6	55.7	40.4	77.8
1994	7.5	6.8	9.5	9.2	9.8	11.5	10.2	13.4	14.8	19.8	20.9	30.6	28.7	40.4	40.2	58.5	51.7	78.6
1995	12.6	7.3	15.6	9.1	17.5	11.7	23.1	13.2	27.8	19.2	37.3	27.1	39.8	35.4	54.8	53.5	81.8	69.2
1996	8.6	7.7	9.7	10.2	11.7	13.3	14.6	14.8	17.6	20.3	23.1	29.7	27.0	34.1	33.6	48.7	61.1	66.6
1997	8.6	9.6	12.5	12.8	15.2	15.9	17.2	18.0	21.7	25.5	23.2	38.2	25.6	48.4	38.6	74.6	54.5	113.4
1998	9.6	6.0	10.4	8.2	12.1	10.0	14.4	11.6	19.3	16.5	24.5	23.8	37.6	30.4	43.1	42.2	45.7	52.0
1999	13.8	6.6	17.4	8.8	19.4	10.4	21.0	12.5	25.9	18.3	29.0	29.2	37.1	37.7	42.6	53.5	61.4	67.6
2000	12.3	8.3	15.6	11.8	17.3	14.8	29.0	17.1	35.5	25.8	37.1	38.3	43.8	50.7	65.2	70.9	88.3	94.9
2001	9.9	8.1	13.9	11.5	16.4	14.2	17.5	16.1	21.1	24.3	24.0	36.7	33.1	44.6	38.8	67.9	40.4	98.7
2002	19.7	9.4	23.1	12.8	27.6	16.4	31.2	19.0	36.0	27.1	39.0	38.9	47.0	51.3	56.1	76.6	67.2	112.1
2003	9.6	7.9	15.3	11.0	18.6	13.3	23.3	14.8	29.6	21.9	33.0	29.9	40.2	36.5	44.2	54.7	48.8	70.6
2004	10.3	8.8	12.7	11.8	14.3	15.3	15.1	16.5	17.5	24.5	19.5	33.1	28.0	40.1	42.0	52.2	55.0	69.5
2005	9.0	8.5	10.2	10.4	11.4	13.7	14.1	15.2	19.2	21.8	33.0	32.9	37.8	40.7	51.2	58.7	54.2	72.8
2006	9.2	9.1	11.7	11.5	14.1	14.5	15.5	16.8	20.0	24.3	26.0	35.5	33.0	44.4	37.1	59.3	49.3	82.0
2007	8.7	6.2	10.5	8.6	11.4	10.5	13.4	12.5	17.4	18.3	19.0	24.4	24.6	31.9	33.7	40.8	35.8	46.1
2008	20.1	7.3	23.8	10.7	26.3	12.6	27.3	13.8	31.9	20.9	35.8	30.8	47.4	40.6	57.5	60.1	93.1	82.2
2009	8.8	7.9	10.5	10.4	11.4	12.7	14.0	15.3	20.0	21.9	33.0	31.5	45.3	39.2	58.6	57.9	88.7	77.3

Tabla 56: Contraste entre precipitaciones observadas y estimadas para la estación Contulmo, por duración horaria.

Año	Duración (horas)											
	1		2		4		5		12		24	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
1987	9.1	16.6	14.2	24.8	18.4	38.1	25.5	46.5	32.7	68.6	38.5	96.7
1988	16.2	14.5	23.5	21.0	37.3	30.6	48.6	40.4	50.8	58.0	75.2	80.5
1989	14.2	13.5	21.6	20.0	31.0	29.0	37.0	36.7	56.6	56.6	104.9	80.0
1992	19.5	18.2	28.6	27.1	44.8	40.7	64.4	52.9	107.0	80.2	117.4	117.2
1993	12.3	15.7	19.4	21.7	34.6	29.7	40.0	37.8	69.2	53.8	108.2	73.9
1994	12.2	13.3	15.1	19.8	26.2	29.9	31.4	40.2	44.5	58.1	70.0	77.4
1995	11.5	13.9	14.7	20.0	24.3	27.7	34.5	35.7	60.0	53.0	81.5	69.2
1996	13.4	14.7	15.7	20.2	25.7	28.7	24.4	34.1	44.2	47.6	53.3	66.7
1997	21.6	17.4	35.3	24.5	55.9	34.6	78.4	45.3	127.3	68.3	179.6	104.3
1998	13.0	11.5	19.9	16.4	28.9	23.2	37.3	30.4	45.3	42.0	46.3	52.1
1999	10.0	13.2	14.0	19.1	25.1	29.5	39.3	37.6	51.7	53.1	51.7	68.5
2000	15.0	18.2	23.7	26.7	33.7	39.2	45.7	50.9	66.1	71.3	100.7	94.7
2001	14.4	16.3	23.4	24.1	38.1	35.3	48.2	43.7	78.2	65.2	101.3	94.6
2002	16.0	19.9	18.4	28.2	20.8	40.8	26.3	52.7	40.8	78.3	50.4	113.9
2003	8.0	15.9	12.8	23.0	18.1	31.3	22.9	37.6	37.3	55.3	56.4	70.3
2004	10.6	16.5	17.0	24.3	20.9	32.3	23.5	40.3	42.0	52.2	52.9	69.8
2005	13.7	15.1	17.5	21.9	21.7	32.9	27.0	41.3	40.2	59.1	43.1	73.5
2006	20.0	16.3	29.2	23.6	40.8	33.3	50.0	43.3	65.3	56.7	86.4	78.4
2007	15.0	12.4	17.0	18.3	21.8	24.2	25.1	31.9	37.4	40.6	44.7	45.6
2008	7.1	15.1	7.3	22.4	8.2	32.6	9.2	42.9	15.7	62.6	19.1	86.5
2009	21.7	14.9	21.9	21.8	34.4	31.4	44.6	39.3	64.7	57.3	65.2	78.4

ANEXO 5: Validación Cruzada dejando uno fuera (LOOCV: leave one out cross validation)

Tabla 57: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV para duración 0.25 horas

Año	ME	MAE	RMSE	MSDR
1980	-0.014	3.425	4.072	2.087
1981	-0.001	3.485	4.421	2.517
1982	0.053	2.996	3.663	1.716
1983	-0.021	3.307	3.756	1.830
1984	0.014	3.242	3.892	1.923
1985	-0.009	3.074	4.049	2.059
1986	-0.018	2.996	4.067	2.093
1987	-0.049	3.537	5.037	3.128
1988	-0.062	2.573	3.155	1.285
1989	-0.028	2.308	3.006	1.081
1990	-0.040	2.241	2.976	1.124
1991	0.063	2.810	3.794	1.779
1992	-0.011	2.811	3.806	1.702
1993	-0.080	3.304	4.190	2.235
1994	-0.070	1.935	2.544	0.780
1995	-0.017	2.272	3.304	1.360
1996	-0.054	2.043	2.587	0.823
1997	-0.023	2.925	4.161	2.176
1998	-0.019	2.486	2.992	1.145
1999	-0.013	2.027	2.912	1.021
2000	-0.059	2.562	3.351	1.384
2001	0.000	2.454	3.193	1.279
2002	0.015	3.210	4.309	2.289
2003	-0.022	2.586	3.285	1.386
2004	-0.034	2.723	3.638	1.662
2005	-0.012	2.328	3.337	1.392
2006	-0.024	2.093	3.209	1.304
2007	-0.016	2.140	2.646	0.872
2008	0.008	3.033	4.273	2.169
2009	-0.054	2.579	3.520	1.569

Tabla 58: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV para duración 0.5 horas

Año	ME	MAE	RMSE	MSDR
1980	-0.033	4.884	5.898	2.237
1981	-0.033	5.560	6.940	3.149
1982	0.084	3.795	4.767	1.475
1983	0.014	4.189	5.016	1.640
1984	0.044	3.901	4.867	1.534
1985	0.026	4.399	5.614	2.039
1986	-0.005	4.074	5.476	1.940
1987	-0.061	4.253	6.203	2.457
1988	-0.039	3.525	4.313	1.203
1989	-0.019	2.381	3.321	0.668
1990	-0.049	2.596	3.724	0.881
1991	0.074	3.792	4.825	1.467
1992	-0.011	4.113	5.250	1.725
1993	-0.063	4.233	5.417	1.886
1994	-0.059	2.784	3.727	0.858
1995	-0.010	2.786	3.928	0.960
1996	-0.039	2.646	3.778	0.882
1997	0.004	4.357	5.930	2.210
1998	-0.031	2.796	3.596	0.822
1999	-0.015	2.659	3.693	0.835
2000	-0.074	4.300	5.369	1.826
2001	0.010	3.612	4.528	1.305
2002	0.045	3.833	5.168	1.654
2003	-0.022	2.982	4.188	1.107
2004	-0.033	3.377	4.913	1.526
2005	-0.009	3.311	4.755	1.463
2006	0.000	2.703	3.717	0.869
2007	-0.022	2.570	3.521	0.791
2008	-0.021	4.178	5.267	1.705
2009	-0.091	3.767	6.355	2.621

Tabla 59: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV para duración 0.75 horas

Año	ME	MAE	RMSE	MSDR
1980	-0.088	5.755	7.419	2.638
1981	-0.039	6.400	8.214	3.289
1982	0.129	4.745	6.066	1.770
1983	-0.010	5.212	6.247	1.905
1984	0.067	4.927	6.273	1.870
1985	0.001	5.157	6.241	1.879
1986	-0.001	5.180	6.670	2.106
1987	-0.124	5.088	7.233	2.453
1988	-0.102	4.194	5.238	1.316
1989	-0.064	2.914	4.032	0.707
1990	-0.090	2.925	4.183	0.798
1991	0.109	4.443	5.523	1.399
1992	-0.056	4.851	6.249	1.774
1993	-0.125	5.089	6.432	1.950
1994	-0.124	3.460	4.637	0.971
1995	-0.030	3.268	4.417	0.877
1996	-0.062	3.087	4.500	0.900
1997	-0.014	4.782	6.614	1.995
1998	-0.051	2.809	3.896	0.701
1999	-0.020	2.972	4.353	0.840
2000	-0.135	5.463	6.873	2.192
2001	-0.008	4.222	5.378	1.343
2002	0.056	4.150	5.727	1.446
2003	-0.046	3.423	5.034	1.167
2004	-0.064	4.258	5.991	1.663
2005	-0.037	4.011	5.784	1.575
2006	-0.033	3.192	4.351	0.867
2007	-0.024	2.869	3.989	0.728
2008	-0.042	4.095	5.563	1.353
2009	-0.159	4.384	7.135	2.458

Tabla 60: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV para duración 1 horas

Año	ME	MAE	RMSE	MSDR
1980	-0.068	3.858	4.963	0.940
1981	-0.210	5.335	7.538	2.577
1982	0.041	3.309	3.898	0.643
1983	-0.010	4.221	5.466	1.238
1984	0.026	2.335	3.285	0.420
1985	0.043	4.132	5.234	1.029
1986	0.184	2.747	3.268	0.439
1987	-0.155	3.179	3.900	0.604
1988	0.039	3.696	4.495	0.829
1989	0.086	2.434	3.236	0.415
1990	-0.073	2.606	3.222	0.391
1991	0.164	3.961	4.755	0.860
1992	0.158	4.340	5.897	1.387
1993	0.009	3.942	5.175	1.076
1994	0.007	3.585	4.251	0.727
1995	0.048	3.559	4.509	0.751
1996	0.020	2.572	3.710	0.520
1997	0.108	4.114	5.556	1.172
1998	0.015	2.831	3.853	0.590
1999	0.008	2.761	3.553	0.490
2000	-0.095	6.009	6.995	1.866
2001	0.082	4.251	5.371	1.192
2002	0.196	3.445	4.586	0.844
2003	0.076	3.051	3.788	0.551
2004	-0.029	3.775	5.731	1.257
2005	0.031	3.996	6.212	1.578
2006	0.109	3.700	5.008	0.932
2007	0.053	2.481	3.277	0.448
2008	-0.016	3.529	4.444	0.708
2009	-0.061	4.358	6.950	1.834

Tabla 61: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV para duración 2 horas

Año	ME	MAE	RMSE	MSDR
1980	-0.021	6.541	8.053	0.988
1981	-0.454	8.328	11.352	2.440
1982	-0.071	4.869	5.918	0.575
1983	-0.013	5.728	8.052	1.069
1984	0.017	3.296	4.500	0.308
1985	0.050	6.896	8.665	1.099
1986	0.250	4.602	5.694	0.567
1987	-0.148	4.464	5.405	0.474
1988	0.090	5.108	6.243	0.661
1989	0.071	4.915	6.536	0.679
1990	-0.076	3.937	4.859	0.343
1991	0.144	5.368	7.409	0.840
1992	0.158	7.461	11.129	1.972
1993	0.100	5.896	8.660	1.168
1994	0.059	5.706	7.028	0.788
1995	0.086	4.984	7.017	0.744
1996	-0.084	4.413	5.646	0.481
1997	0.152	6.705	9.224	1.295
1998	0.035	3.558	4.734	0.345
1999	-0.039	3.910	4.832	0.365
2000	-0.110	8.703	10.345	1.619
2001	0.105	5.919	7.722	0.948
2002	0.189	5.944	6.966	0.790
2003	0.058	5.062	6.105	0.611
2004	-0.032	6.731	10.273	1.685
2005	0.024	7.122	10.637	1.879
2006	0.104	6.649	8.610	1.153
2007	0.041	3.065	4.709	0.372
2008	-0.126	6.071	7.403	0.871
2009	-0.025	5.240	8.355	1.083

Tabla 62: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV para duración 4 horas

Año	ME	MAE	RMSE	MSDR
1980	0.040	10.417	13.272	0.958
1981	-0.263	14.007	19.189	2.059
1982	0.034	9.820	14.144	1.096
1983	0.046	9.000	12.548	0.860
1984	0.097	6.836	9.507	0.487
1985	-0.017	10.815	14.205	1.070
1986	0.097	11.629	15.431	1.293
1987	-0.182	9.766	12.335	0.823
1988	0.006	9.112	12.003	0.839
1989	-0.006	7.476	10.749	0.634
1990	-0.046	6.432	8.984	0.422
1991	0.306	8.142	10.823	0.621
1992	0.109	11.585	15.705	1.377
1993	0.110	8.912	12.147	0.808
1994	0.053	9.659	13.787	1.039
1995	0.085	7.223	9.499	0.492
1996	-0.174	8.401	12.067	0.777
1997	0.169	12.155	17.132	1.566
1998	0.008	5.199	7.823	0.325
1999	-0.060	7.963	10.773	0.611
2000	-0.327	13.554	17.856	1.751
2001	0.149	10.734	14.202	1.109
2002	-0.030	10.089	13.036	0.912
2003	0.005	9.070	11.254	0.706
2004	-0.052	9.088	13.450	1.002
2005	0.032	10.810	16.290	1.480
2006	0.057	11.680	14.690	1.198
2007	-0.053	6.433	9.071	0.460
2008	-0.330	11.906	14.995	1.239
2009	-0.023	8.742	12.353	0.832

Tabla 63: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV para duración 6 horas

Año	ME	MAE	RMSE	MSDR
1980	0.203	11.606	14.977	0.717
1981	-0.717	18.971	24.228	2.377
1982	-0.006	10.596	14.519	0.751
1983	0.195	12.563	16.802	0.968
1984	0.141	9.375	11.663	0.461
1985	0.318	14.514	18.275	1.066
1986	0.381	12.091	14.927	0.809
1987	-0.136	11.038	13.549	0.636
1988	0.365	11.607	14.367	0.774
1989	-0.134	9.778	14.586	0.693
1990	-0.189	8.147	10.332	0.334
1991	0.485	9.383	11.686	0.437
1992	0.243	14.339	18.972	1.208
1993	0.138	10.406	13.366	0.625
1994	0.348	12.497	17.781	1.056
1995	0.174	9.725	12.679	0.548
1996	-0.371	8.932	11.896	0.460
1997	0.206	15.620	21.109	1.431
1998	0.080	6.463	9.578	0.295
1999	0.048	8.145	10.615	0.368
2000	-0.334	17.904	21.948	1.642
2001	0.294	12.221	15.619	0.847
2002	0.175	12.529	15.633	0.843
2003	-0.045	10.410	12.366	0.612
2004	0.048	11.708	16.137	0.854
2005	0.008	13.867	20.672	1.525
2006	0.293	15.740	19.333	1.305
2007	-0.036	7.750	9.633	0.323
2008	-0.568	15.595	18.757	1.265
2009	0.134	10.281	14.766	0.735

Tabla 64: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV para duración 12 horas

Año	ME	MAE	RMSE	MSDR
1980	-0.125	17.494	23.005	0.730
1981	-0.913	27.554	33.373	1.683
1982	0.077	16.207	22.511	0.721
1983	0.322	23.136	29.701	1.219
1984	0.162	15.994	19.490	0.529
1985	0.365	20.810	27.359	1.026
1986	0.586	17.329	21.904	0.708
1987	-0.182	16.478	20.933	0.612
1988	0.199	19.081	23.705	0.878
1989	-0.005	19.529	29.425	1.188
1990	-0.271	12.371	15.551	0.317
1991	0.479	15.662	20.385	0.575
1992	0.323	22.495	29.670	1.247
1993	0.215	18.766	23.668	0.785
1994	0.400	20.841	29.428	1.216
1995	0.512	14.970	18.909	0.508
1996	-0.175	16.024	25.316	0.879
1997	0.361	27.863	35.026	1.645
1998	0.126	10.527	16.150	0.352
1999	0.047	11.232	15.664	0.325
2000	-0.360	24.814	33.012	1.527
2001	0.300	22.060	27.044	1.030
2002	0.016	20.552	25.978	1.001
2003	0.079	16.683	21.038	0.648
2004	0.062	15.055	20.968	0.613
2005	-0.171	21.067	29.572	1.296
2006	0.399	21.831	26.800	1.046
2007	-0.027	9.815	13.154	0.242
2008	-0.804	23.960	29.492	1.287
2009	0.044	15.440	19.827	0.549

Tabla 65: Parámetros de validación cruzada dejando uno fuera LOOCV para duración 24 horas

Año	ME	MAE	RMSE	MSDR
1980	-0.295	24.342	32.265	0.539
1981	-0.924	35.372	42.635	1.162
1982	0.860	25.830	36.188	0.723
1983	0.951	37.042	49.141	1.241
1984	0.535	25.694	31.858	0.529
1985	0.815	29.445	37.320	0.707
1986	0.724	30.200	39.039	0.934
1987	-0.192	22.635	30.248	0.498
1988	0.899	27.541	34.200	0.735
1989	0.470	29.231	41.663	0.873
1990	-0.356	17.190	23.740	0.291
1991	0.427	28.433	37.285	0.737
1992	-0.259	32.511	45.866	1.186
1993	0.557	31.896	39.429	0.816
1994	0.645	30.562	42.186	0.975
1995	0.946	21.136	27.003	0.395
1996	-0.330	28.784	43.028	0.981
1997	0.367	44.984	60.801	1.866
1998	0.141	15.915	24.732	0.308
1999	-0.059	16.527	20.901	0.222
2000	-0.776	33.587	43.899	1.036
2001	0.266	36.818	46.169	1.145
2002	-0.092	36.166	45.298	1.244
2003	0.169	22.841	29.486	0.486
2004	-0.135	22.904	30.524	0.494
2005	-0.230	29.355	42.040	1.033
2006	0.893	31.094	39.282	0.867
2007	-0.017	11.524	14.494	0.113
2008	-1.387	37.444	42.974	1.113
2009	0.022	22.161	27.487	0.402

ANEXO 6: Varianzas Kriging

Tabla 66: Varianza Kriging calculada en la estación Edificio Central ENDESA por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	8.747	16.834	23.402	14.048	32.127	134.114	131.397	419.883	792.571
1981	7.188	13.668	17.969	14.051	32.131	134.135	131.402	419.971	792.588
1982	8.743	16.819	23.389	14.050	32.130	134.132	131.401	419.965	792.585
1983	8.765	16.867	23.453	14.050	32.130	134.132	131.401	419.965	792.585
1984	8.363	16.450	22.447	14.047	32.126	133.982	131.393	419.864	792.530
1985	8.107	16.079	21.737	14.047	32.126	133.982	131.393	419.864	792.530
1986	7.076	13.566	17.788	14.047	32.126	133.981	131.393	419.862	792.530
1987	7.722	15.241	20.328	20.365	50.537	158.688	233.579	587.970	1421.714
1988	7.078	13.571	17.793	14.047	32.126	133.971	131.392	419.851	792.524
1989	7.076	13.566	17.788	14.047	32.126	133.974	131.393	419.859	792.527
1990	7.076	13.566	17.788	14.048	32.127	133.985	131.393	419.867	792.531
1991	8.098	16.052	21.710	14.048	32.127	133.985	131.393	419.867	792.531
1992	6.719	12.664	16.483	10.873	22.459	122.734	74.498	334.890	454.360
1993	7.025	13.398	17.513	10.873	22.459	122.734	74.498	334.888	454.360
1994	6.696	12.643	16.448	10.872	22.457	122.635	74.496	334.833	454.348
1995	6.649	12.580	16.350	10.859	22.440	122.192	74.468	334.383	454.160
1996	6.669	12.599	16.381	10.860	22.442	122.286	74.469	334.437	454.171
1997	6.666	12.597	16.379	10.860	22.442	122.283	74.469	334.435	454.171
1998	6.599	12.467	16.194	10.765	22.282	120.883	74.129	331.386	451.982
1999	6.583	12.452	16.171	10.764	22.281	120.812	74.128	331.344	451.971
2000	6.599	12.467	16.194	10.765	22.282	120.883	74.129	331.385	451.982
2001	6.583	12.452	16.171	10.764	22.281	120.812	74.128	331.344	451.971
2002	6.583	12.452	16.171	10.764	22.281	120.812	74.128	331.344	451.971
2003	6.583	12.452	16.171	10.764	22.281	120.812	74.128	331.344	451.971
2004	6.583	12.452	16.171	10.764	22.281	120.812	74.128	331.344	451.971
2005	6.583	12.452	16.171	10.764	22.281	120.812	74.128	331.344	451.971
2006	6.881	13.211	17.226	10.960	22.619	123.211	74.909	337.566	456.943
2007	6.669	12.643	16.434	10.960	22.619	123.230	74.910	337.573	456.944
2008	6.672	12.645	16.437	10.960	22.619	123.229	74.909	337.568	456.943
2009	6.841	13.176	17.154	14.215	32.407	134.621	131.386	425.003	792.750

Tabla 67: Varianza Kriging calculada en la estación MOP – DGA por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	7.736	14.479	19.347	11.189	23.352	123.893	78.865	343.443	480.748
1981	6.927	13.009	17.017	11.190	23.353	123.915	78.866	343.478	480.753
1982	7.735	14.474	19.342	11.190	23.353	123.913	78.866	343.475	480.753
1983	7.744	14.492	19.364	11.190	23.353	123.913	78.866	343.475	480.753
1984	7.562	14.327	19.010	11.189	23.352	123.833	78.865	343.438	480.741
1985	7.439	14.177	18.749	11.189	23.352	123.833	78.865	343.438	480.741
1986	6.854	12.948	16.912	11.188	23.352	123.832	78.865	343.438	480.741
1987	7.238	13.810	18.173	12.181	25.196	133.493	83.236	374.000	508.602
1988	6.855	12.952	16.915	11.188	23.352	123.827	78.864	343.433	480.740
1989	6.854	12.948	16.912	11.188	23.352	123.829	78.864	343.436	480.741
1990	6.854	12.948	16.912	11.189	23.352	123.835	78.865	343.439	480.742
1991	7.435	14.165	18.738	11.189	23.352	123.835	78.865	343.439	480.742
1992	6.923	13.264	17.308	14.455	33.404	135.168	139.093	430.573	838.542
1993	7.379	14.464	19.037	14.454	33.404	135.168	139.093	430.568	838.540
1994	6.890	13.230	17.251	14.447	33.393	134.954	139.067	430.343	838.363
1995	6.820	13.122	17.083	14.381	33.263	133.949	138.613	428.335	835.479
1996	6.848	13.154	17.133	14.388	33.273	134.148	138.638	428.551	835.651
1997	6.845	13.151	17.130	14.388	33.273	134.140	138.637	428.543	835.648
1998	6.745	12.930	16.816	13.905	32.054	130.971	132.926	414.897	800.575
1999	6.724	12.908	16.780	13.900	32.045	130.829	132.905	414.741	800.425
2000	6.745	12.930	16.816	13.905	32.053	130.969	132.926	414.896	800.575
2001	6.724	12.908	16.780	13.900	32.045	130.829	132.905	414.741	800.425
2002	6.724	12.908	16.780	13.900	32.045	130.829	132.905	414.741	800.425
2003	6.724	12.908	16.780	13.900	32.045	130.829	132.905	414.741	800.425
2004	6.724	12.908	16.780	13.900	32.045	130.829	132.905	414.741	800.425
2005	6.724	12.908	16.780	13.900	32.045	130.829	132.905	414.741	800.425
2006	7.133	14.064	18.413	14.456	33.256	134.953	137.095	431.084	826.534
2007	6.837	13.180	17.158	14.456	33.257	134.986	137.096	431.102	826.539
2008	6.842	13.183	17.163	14.456	33.256	134.989	137.095	431.092	826.534
2009	6.842	13.183	17.163	14.456	33.256	134.989	137.095	431.092	826.534

Tabla 68: Varianza Kriging calculada en la estación Quinta Normal DMC por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	7.811	14.797	19.802	13.373	30.118	132.022	120.346	401.965	725.736
1981	7.121	13.458	17.650	13.373	30.121	131.907	120.359	401.933	725.837
1982	7.810	14.791	19.797	13.373	30.121	131.905	120.359	401.929	725.836
1983	7.820	14.811	19.821	13.373	30.121	131.905	120.359	401.929	725.836
1984	7.617	14.611	19.393	13.369	30.114	131.712	120.344	401.777	725.728
1985	7.466	14.398	19.026	13.369	30.114	131.712	120.344	401.777	725.728
1986	6.996	13.334	17.433	13.369	30.114	131.712	120.344	401.777	725.728
1987	7.224	13.883	18.234	14.781	33.710	139.529	136.805	441.404	826.576
1988	6.998	13.338	17.437	13.368	30.114	131.705	120.344	401.770	725.726
1989	6.996	13.334	17.433	13.369	30.114	131.707	120.344	401.775	725.727
1990	6.996	13.334	17.433	13.369	30.114	131.715	120.345	401.779	725.729
1991	7.462	14.387	19.015	13.369	30.114	131.715	120.345	401.779	725.729
1992	6.877	13.141	17.125	13.615	30.900	132.378	125.161	408.269	754.313
1993	7.060	13.612	17.789	13.615	30.900	132.378	125.160	408.266	754.312
1994	6.843	13.104	17.066	13.606	30.885	132.144	125.118	407.986	754.014
1995	6.794	13.044	16.973	13.603	30.884	131.813	125.118	407.845	754.007
1996	6.825	13.079	17.027	13.612	30.899	132.040	125.161	408.126	754.308
1997	6.820	13.075	17.023	13.612	30.898	132.032	125.160	408.119	754.305
1998	6.752	12.955	16.850	13.566	30.841	130.911	125.107	406.497	753.957
1999	6.728	12.928	16.807	13.557	30.826	130.722	125.066	406.242	753.661
2000	6.752	12.955	16.850	13.566	30.841	130.910	125.107	406.495	753.956
2001	6.728	12.927	16.806	13.557	30.826	130.722	125.066	406.242	753.661
2002	6.728	12.927	16.806	13.557	30.826	130.722	125.066	406.242	753.661
2003	6.728	12.927	16.806	13.557	30.826	130.722	125.066	406.242	753.661
2004	6.728	12.927	16.806	13.557	30.826	130.722	125.066	406.242	753.661
2005	6.728	12.927	16.806	13.557	30.826	130.722	125.066	406.242	753.661
2006	6.974	13.613	17.772	15.083	34.891	137.890	144.793	448.325	874.386
2007	6.870	13.315	17.344	15.085	34.894	137.964	144.803	448.396	874.456
2008	6.875	13.318	17.348	15.083	34.891	137.954	144.793	448.349	874.386
2009	7.065	13.909	18.170	19.402	48.134	151.521	222.277	561.172	1350.060

Tabla 69: Varianza Kriging calculada en la estación San Antonio por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	9.183	17.674	25.282	32.573	81.118	221.276	374.254	888.761	2472.749
1981	8.998	17.509	24.944	32.542	81.080	220.620	374.241	887.931	2472.256
1982	9.172	17.655	25.257	32.514	81.001	220.485	373.817	887.146	2469.777
1983	9.195	17.713	25.339	32.514	81.001	220.485	373.817	887.146	2469.777
1984	9.035	17.566	24.996	32.435	80.827	219.736	373.103	885.164	2464.288
1985	8.887	17.415	24.658	32.435	80.827	219.736	373.103	885.164	2464.288
1986	8.814	17.318	24.522	32.429	80.811	219.693	373.026	884.971	2463.901
1987	8.837	17.339	24.549	32.360	80.647	219.259	372.319	883.213	2458.673
1988	8.827	17.360	24.578	32.359	80.645	219.221	372.309	883.172	2458.642
1989	8.814	17.320	24.523	32.405	80.760	219.385	372.843	884.505	2461.905
1990	8.814	17.320	24.523	32.455	80.874	219.909	373.304	885.734	2465.603
1991	8.870	17.365	24.595	32.455	80.874	219.909	373.304	885.734	2465.603
1992	8.809	17.312	24.515	32.401	80.748	219.358	372.775	884.359	2461.569
1993	8.841	17.366	24.590	32.374	80.678	219.358	372.442	883.600	2459.488
1994	8.791	17.294	24.484	32.366	80.662	219.254	372.372	883.391	2459.057
1995	8.786	17.280	24.471	32.408	80.759	219.551	372.785	884.440	2462.190
1996	8.806	17.313	24.514	32.460	80.898	219.887	373.472	885.931	2466.385
1997	8.804	17.297	24.501	32.420	80.789	219.687	372.929	884.809	2462.997
1998	8.801	17.294	24.498	32.420	80.788	219.676	372.926	884.787	2462.983
1999	8.792	17.317	24.504	32.464	80.911	219.827	373.551	886.009	2466.895
2000	8.802	17.294	24.498	32.388	80.704	219.508	372.513	883.908	2460.370
2001	8.789	17.301	24.489	32.464	80.911	219.827	373.551	886.009	2466.895
2002	8.789	17.301	24.489	32.464	80.911	219.827	373.551	886.009	2466.895
2003	8.789	17.301	24.489	32.464	80.911	219.827	373.551	886.009	2466.895
2004	8.789	17.301	24.489	32.464	80.911	219.827	373.551	886.009	2466.895
2005	8.789	17.301	24.489	32.464	80.911	219.827	373.551	886.009	2466.895
2006	8.818	17.325	24.526	32.464	80.912	219.840	373.557	886.027	2466.912
2007	9.125	17.764	25.631	33.613	83.240	228.920	381.800	912.105	2545.895
2008	8.837	17.346	24.586	32.507	81.004	220.307	373.921	887.128	2469.651
2009	8.842	17.350	24.591	32.507	81.004	220.316	373.923	887.136	2469.654

Tabla 70: Varianza Kriging calculada en la estación Embalse Rungue por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	9.185	17.685	25.300	31.983	79.968	214.884	370.369	874.704	2436.050
1981	8.620	17.043	23.897	31.533	79.026	211.278	366.893	863.856	2405.890
1982	9.180	17.667	25.282	31.512	78.964	211.192	366.548	863.257	2403.944
1983	9.205	17.724	25.365	31.512	78.964	211.192	366.548	863.257	2403.944
1984	9.203	17.710	25.354	31.512	78.964	211.192	366.548	863.257	2403.944
1985	8.855	17.289	24.381	31.512	78.964	211.192	366.548	863.257	2403.944
1986	8.467	16.825	23.453	31.507	78.950	211.160	366.480	863.095	2403.612
1987	8.606	16.949	23.697	31.462	78.826	211.302	365.888	861.981	2399.505
1988	8.479	16.859	23.500	31.450	78.809	210.800	365.845	861.594	2399.107
1989	8.468	16.827	23.454	31.484	78.902	210.925	366.307	862.629	2401.746
1990	8.468	16.827	23.454	31.529	79.004	211.324	366.726	863.733	2405.074
1991	8.835	17.239	24.313	31.529	79.004	211.324	366.726	863.733	2405.074
1992	8.398	16.750	23.290	31.480	78.890	210.895	366.242	862.489	2401.427
1993	8.507	16.869	23.496	31.461	78.836	210.895	365.960	861.932	2399.799
1994	7.909	15.643	21.182	25.250	63.030	183.550	292.560	711.843	1840.470
1995	7.900	15.633	21.171	25.264	63.062	183.654	292.695	712.211	1841.376
1996	8.383	16.743	23.274	31.534	79.029	211.266	366.898	863.913	2405.919
1997	8.325	16.676	23.136	31.426	78.769	210.404	365.728	861.074	2397.761
1998	8.302	16.656	23.099	31.423	78.767	210.284	365.727	860.997	2397.758
1999	7.855	15.606	21.093	25.247	63.038	183.341	292.653	711.844	1840.639
2000	8.303	16.656	23.098	31.400	78.702	210.174	365.394	860.339	2395.737
2001	7.853	15.599	21.088	25.247	63.038	183.341	292.653	711.844	1840.639
2002	7.853	15.599	21.088	25.247	63.038	183.341	292.653	711.844	1840.639
2003	7.853	15.599	21.088	25.247	63.038	183.341	292.653	711.844	1840.639
2004	7.853	15.599	21.088	25.247	63.038	183.341	292.653	711.844	1840.639
2005	7.853	15.599	21.088	25.247	63.038	183.341	292.653	711.844	1840.639
2006	7.958	15.728	21.308	25.247	63.038	183.362	292.653	711.846	1840.646
2007	7.885	15.633	21.137	25.261	63.070	183.541	292.802	712.272	1841.467
2008	7.865	15.608	21.101	25.247	63.038	183.362	292.653	711.846	1840.646
2009	7.883	15.623	21.124	25.247	63.038	183.411	292.653	711.858	1840.646

Tabla 71: Varianza Kriging calculada en la estación La Obra por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	8.101	15.678	21.222	22.909	57.354	168.888	267.388	651.788	1657.109
1981	7.655	15.145	20.273	22.914	57.366	168.922	267.447	651.919	1657.452
1982	8.100	15.670	21.216	22.910	57.355	168.899	267.385	651.795	1657.149
1983	8.112	15.697	21.248	22.910	57.355	168.899	267.385	651.795	1657.149
1984	8.000	15.602	21.058	22.905	57.342	168.832	267.324	651.633	1656.841
1985	7.931	15.538	20.948	22.905	57.342	168.832	267.324	651.633	1656.841
1986	7.610	15.104	20.213	22.904	57.340	168.824	267.312	651.601	1656.793
1987	7.825	15.406	20.729	22.949	57.400	170.239	267.431	653.138	1657.458
1988	7.614	15.117	20.229	22.894	57.316	168.739	267.205	651.309	1656.129
1989	7.610	15.104	20.214	22.900	57.332	168.768	267.283	651.516	1656.523
1990	7.610	15.104	20.214	22.908	57.349	168.863	267.354	651.726	1657.008
1991	7.924	15.516	20.925	22.908	57.349	168.863	267.354	651.726	1657.008
1992	7.445	14.768	19.636	22.884	57.295	168.645	267.132	651.064	1655.552
1993	7.592	14.972	19.959	22.881	57.286	168.645	267.084	650.951	1655.308
1994	7.430	14.755	19.617	22.880	57.285	168.593	267.084	650.915	1655.311
1995	7.430	14.754	19.616	22.887	57.302	168.659	267.163	651.132	1655.801
1996	7.446	14.770	19.639	22.895	57.322	168.754	267.257	651.379	1656.276
1997	7.442	14.759	19.629	22.882	57.287	168.665	267.087	650.980	1655.349
1998	7.312	14.487	19.193	22.033	55.087	163.996	256.441	628.587	1584.139
1999	7.305	14.487	19.187	22.039	55.104	164.008	256.526	628.761	1584.591
2000	7.312	14.487	19.192	22.030	55.078	163.972	256.391	628.475	1583.873
2001	7.304	14.484	19.185	22.039	55.104	164.008	256.526	628.761	1584.591
2002	7.304	14.484	19.185	22.039	55.104	164.008	256.526	628.761	1584.591
2003	7.304	14.484	19.185	22.039	55.104	164.008	256.526	628.761	1584.591
2004	7.304	14.484	19.185	22.039	55.104	164.008	256.526	628.761	1584.591
2005	7.304	14.484	19.185	22.039	55.104	164.008	256.526	628.761	1584.591
2006	7.426	14.635	19.417	22.057	55.136	164.435	256.628	629.354	1585.161
2007	7.356	14.552	19.289	22.061	55.146	164.500	256.676	629.495	1585.386
2008	7.352	14.547	19.280	22.059	55.140	164.451	256.655	629.408	1585.287
2009	7.420	14.644	19.432	22.088	55.183	165.244	256.739	630.414	1585.765

Tabla 72: Varianza Kriging calculada en la estación Digua por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	7.455	15.038	19.859	23.920	60.221	172.929	282.327	679.536	1750.915
1981	7.480	15.069	19.930	23.937	60.249	173.220	282.406	680.049	1751.270
1982	7.421	14.986	19.774	23.872	60.120	172.389	281.946	678.216	1748.136
1983	7.423	14.993	19.778	23.872	60.120	172.389	281.946	678.216	1748.136
1984	7.402	14.962	19.739	23.869	60.112	172.375	281.893	678.121	1747.929
1985	7.401	14.960	19.738	23.869	60.112	172.375	281.893	678.121	1747.929
1986	7.381	14.930	19.700	23.862	60.098	172.230	281.844	677.893	1747.647
1987	7.376	14.918	19.680	23.830	60.025	171.990	281.541	677.023	1745.612
1988	7.377	14.922	19.683	23.830	60.025	171.989	281.540	677.020	1745.609
1989	7.376	14.917	19.680	23.834	60.034	172.065	281.588	677.160	1745.772
1990	7.376	14.917	19.680	23.837	60.043	172.093	281.633	677.265	1745.990
1991	7.376	14.919	19.680	23.837	60.043	172.093	281.633	677.265	1745.990
1992	7.376	14.917	19.680	23.832	60.032	171.996	281.582	677.101	1745.757
1993	7.377	14.922	19.683	23.831	60.027	171.996	281.552	677.052	1745.655
1994	7.376	14.916	19.679	23.832	60.027	172.061	281.546	677.086	1745.628
1995	7.217	14.437	18.951	21.426	53.542	161.688	249.268	615.032	1526.486
1996	7.219	14.440	18.953	21.428	53.546	161.698	249.293	615.082	1526.569
1997	7.217	14.436	18.950	21.425	53.539	161.681	249.250	614.993	1526.417
1998	7.217	14.436	18.950	21.425	53.539	161.680	249.250	614.992	1526.417
1999	7.229	14.447	18.965	21.426	53.542	161.718	249.269	615.043	1526.469
2000	7.211	14.431	18.943	21.424	53.537	161.655	249.236	614.951	1526.374
2001	7.228	14.446	18.965	21.426	53.542	161.718	249.269	615.043	1526.469
2002	7.228	14.446	18.965	21.426	53.542	161.718	249.269	615.043	1526.469
2003	7.228	14.446	18.965	21.426	53.542	161.718	249.269	615.043	1526.469
2004	7.228	14.446	18.965	21.426	53.542	161.718	249.269	615.043	1526.469
2005	7.228	14.446	18.965	21.426	53.542	161.718	249.269	615.043	1526.469
2006	7.228	14.446	18.965	21.426	53.542	161.718	249.269	615.043	1526.469
2007	7.228	14.447	18.965	21.427	53.545	161.723	249.284	615.074	1526.521
2008	7.228	14.447	18.965	21.427	53.544	161.722	249.278	615.063	1526.500
2009	7.228	14.447	18.965	21.427	53.544	161.722	249.278	615.064	1526.500

Tabla 73: Varianza Kriging calculada en la estación San Javier por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	7.752	15.763	21.081	27.966	70.978	189.772	334.647	780.133	2128.053
1981	7.528	15.236	20.190	25.801	65.587	179.106	310.484	726.702	1943.439
1982	7.308	14.650	19.259	22.772	57.416	166.261	269.951	649.687	1661.848
1983	7.309	14.655	19.262	22.772	57.416	166.261	269.951	649.687	1661.848
1984	7.308	14.649	19.259	22.770	57.411	166.249	269.921	649.626	1661.733
1985	7.307	14.647	19.258	22.770	57.411	166.249	269.921	649.626	1661.733
1986	7.302	14.638	19.251	22.770	57.411	166.245	269.917	649.616	1661.723
1987	7.303	14.639	19.251	22.767	57.403	166.223	269.877	649.524	1661.553
1988	7.305	14.643	19.255	22.767	57.403	166.221	269.876	649.522	1661.551
1989	7.302	14.638	19.251	22.769	57.408	166.234	269.900	649.609	1661.621
1990	7.302	14.638	19.251	22.771	57.413	166.261	269.929	649.650	1661.768
1991	7.303	14.640	19.251	22.771	57.413	166.261	269.929	649.650	1661.768
1992	7.302	14.637	19.250	22.769	57.408	166.229	269.900	649.607	1661.620
1993	7.305	14.643	19.255	22.768	57.405	166.229	269.884	649.544	1661.578
1994	7.302	14.636	19.250	22.767	57.404	166.231	269.877	649.530	1661.556
1995	7.365	14.761	19.447	23.051	58.085	168.130	272.837	656.954	1683.001
1996	7.365	14.764	19.448	23.053	58.092	168.145	272.884	657.043	1683.165
1997	7.363	14.759	19.445	23.049	58.080	168.115	272.808	656.891	1682.879
1998	7.363	14.758	19.445	23.049	58.080	168.114	272.808	656.890	1682.878
1999	7.381	14.782	19.476	23.052	58.086	168.223	272.841	657.015	1682.981
2000	7.360	14.755	19.442	23.049	58.077	168.104	272.789	656.857	1682.830
2001	7.381	14.780	19.475	23.052	58.086	168.223	272.841	657.015	1682.981
2002	7.381	14.780	19.475	23.052	58.086	168.223	272.841	657.015	1682.981
2003	7.381	14.780	19.475	23.052	58.086	168.223	272.841	657.015	1682.981
2004	7.381	14.780	19.475	23.052	58.086	168.223	272.841	657.015	1682.981
2005	7.381	14.780	19.475	23.052	58.086	168.223	272.841	657.015	1682.981
2006	7.381	14.781	19.476	23.052	58.086	168.223	272.841	657.016	1682.982
2007	7.382	14.783	19.477	23.053	58.090	168.233	272.868	657.067	1683.073
2008	7.381	14.782	19.476	23.053	58.089	168.231	272.857	657.050	1683.036
2009	7.381	14.782	19.476	23.053	58.089	168.231	272.857	657.050	1683.036

Tabla 74: Varianza Kriging calculada en la estación Embalse Ancoa por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	7.418	15.166	20.043	25.513	64.989	175.105	308.164	717.825	1931.313
1981	7.430	15.155	20.041	25.450	64.849	174.701	307.610	716.250	1926.898
1982	7.406	15.133	20.000	25.446	64.838	174.584	307.554	716.078	1926.653
1983	7.407	15.139	20.003	25.446	64.838	174.584	307.554	716.078	1926.653
1984	7.404	15.132	19.999	25.443	64.827	174.573	307.485	715.974	1926.358
1985	7.404	15.130	19.998	25.443	64.827	174.573	307.485	715.974	1926.358
1986	7.402	15.121	19.994	25.442	64.826	174.571	307.477	715.963	1926.340
1987	7.404	15.124	19.999	25.439	64.814	174.565	307.397	715.843	1925.972
1988	7.404	15.128	20.001	25.439	64.813	174.564	307.395	715.839	1925.967
1989	7.403	15.123	19.998	26.672	67.973	180.315	322.036	746.631	2034.847
1990	7.403	15.123	19.998	26.679	67.994	180.354	322.139	746.841	2035.444
1991	7.404	15.125	19.999	26.679	67.994	180.354	322.139	746.841	2035.444
1992	7.403	15.122	19.998	25.441	64.821	174.570	307.448	715.918	1926.157
1993	7.404	15.127	20.000	25.440	64.816	174.570	307.412	715.877	1926.038
1994	7.403	15.121	19.998	26.669	67.962	180.310	321.954	746.520	2034.547
1995	7.553	15.430	20.521	27.581	70.181	185.737	331.722	769.724	2107.289
1996	7.555	15.435	20.523	27.590	70.211	185.773	331.911	770.024	2108.136
1997	7.553	15.428	20.519	27.574	70.160	185.709	331.600	769.515	2106.663
1998	7.553	15.427	20.519	27.574	70.160	185.708	331.599	769.511	2106.661
1999	7.715	15.756	21.111	28.468	72.201	191.632	339.941	791.827	2172.159
2000	7.487	15.335	20.341	27.461	69.925	184.514	330.714	766.566	2099.862
2001	7.714	15.752	21.109	28.468	72.201	191.632	339.941	791.827	2172.159
2002	7.714	15.752	21.109	28.468	72.201	191.632	339.941	791.827	2172.159
2003	7.714	15.752	21.109	28.468	72.201	191.632	339.941	791.827	2172.159
2004	7.714	15.752	21.109	28.468	72.201	191.632	339.941	791.827	2172.159
2005	7.714	15.752	21.109	28.468	72.201	191.632	339.941	791.827	2172.159
2006	7.714	15.753	21.109	28.468	72.201	191.633	339.944	791.833	2172.168
2007	7.715	15.756	21.110	28.475	72.226	191.661	340.099	792.081	2172.887
2008	7.715	15.755	21.111	28.473	72.217	191.657	340.033	791.995	2172.593
2009	7.715	15.756	21.111	28.473	72.217	191.658	340.034	791.998	2172.594

Tabla 75: Varianza Kriging calculada en la estación Pencahue por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	8.376	16.753	23.148	30.302	76.051	207.065	354.104	835.642	2297.755
1981	8.186	16.463	22.582	29.967	75.390	203.585	351.843	827.234	2278.496
1982	7.945	15.949	21.617	27.970	70.559	192.421	330.742	778.174	2114.789
1983	7.950	15.971	21.639	27.970	70.559	192.421	330.742	778.174	2114.789
1984	7.943	15.947	21.617	27.952	70.510	192.324	330.488	777.663	2113.292
1985	7.939	15.938	21.610	27.952	70.510	192.324	330.488	777.663	2113.292
1986	7.921	15.903	21.567	27.949	70.503	192.296	330.450	777.568	2113.114
1987	7.923	15.907	21.570	27.921	70.431	192.115	330.119	776.803	2110.911
1988	7.932	15.924	21.597	27.920	70.430	192.107	330.112	776.783	2110.888
1989	7.921	15.903	21.567	27.971	70.539	192.174	330.551	778.138	2114.006
1990	7.921	15.903	21.567	27.960	70.530	192.385	330.582	777.895	2113.836
1991	7.924	15.911	21.572	27.960	70.530	192.385	330.582	777.895	2113.836
1992	7.921	15.900	21.564	27.970	70.533	192.168	330.518	778.081	2113.861
1993	7.933	15.924	21.596	27.926	70.444	192.168	330.176	776.972	2111.248
1994	7.920	15.896	21.562	27.924	70.438	192.145	330.143	776.890	2111.068
1995	7.936	15.907	21.583	27.940	70.477	192.314	330.322	777.318	2112.388
1996	7.937	15.918	21.589	27.960	70.537	192.424	330.643	777.949	2114.150
1997	7.927	15.897	21.564	27.923	70.434	192.193	330.114	776.861	2111.047
1998	7.927	15.896	21.563	27.923	70.433	192.188	330.113	776.851	2111.042
1999	7.934	15.915	21.577	27.939	70.482	192.272	330.379	777.335	2112.516
2000	7.926	15.895	21.563	27.911	70.400	192.134	329.935	776.511	2110.037
2001	7.933	15.908	21.573	27.939	70.482	192.272	330.379	777.335	2112.516
2002	7.933	15.908	21.573	27.939	70.482	192.272	330.379	777.335	2112.516
2003	7.933	15.908	21.573	27.939	70.482	192.272	330.379	777.335	2112.516
2004	7.933	15.908	21.573	27.939	70.482	192.272	330.379	777.335	2112.516
2005	7.933	15.908	21.573	27.939	70.482	192.272	330.379	777.335	2112.516
2006	7.933	15.910	21.574	27.939	70.482	192.274	330.382	777.343	2112.529
2007	7.937	15.916	21.582	27.951	70.517	192.349	330.571	777.705	2113.545
2008	7.934	15.913	21.577	27.946	70.503	192.320	330.490	777.571	2113.116
2009	7.934	15.914	21.577	27.946	70.503	192.322	330.491	777.575	2113.118

Tabla 76: Varianza Kriging calculada en la estación Pencahue por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	7.956	16.207	21.947	29.425	74.382	197.064	348.703	814.674	2246.126
1981	7.731	15.807	21.152	28.657	72.727	191.673	342.499	796.362	2191.240
1982	7.749	15.860	21.249	28.865	73.165	193.302	344.078	801.396	2205.301
1983	7.751	15.873	21.258	28.865	73.165	193.302	344.078	801.396	2205.301
1984	7.731	15.839	21.220	28.852	73.126	193.256	343.854	801.022	2204.154
1985	7.731	15.835	21.218	28.852	73.126	193.256	343.854	801.022	2204.154
1986	7.644	15.691	20.969	28.631	72.649	191.484	342.041	795.528	2189.024
1987	7.641	15.689	20.962	28.610	72.590	191.367	341.732	794.910	2187.233
1988	7.652	15.702	20.983	28.610	72.589	191.364	341.727	794.897	2187.217
1989	7.641	15.687	20.962	28.620	72.621	191.408	341.920	795.246	2188.079
1990	7.641	15.687	20.962	28.634	72.658	191.493	342.103	795.628	2189.227
1991	7.641	15.691	20.963	28.634	72.658	191.493	342.103	795.628	2189.227
1992	7.641	15.686	20.961	28.619	72.618	191.400	341.901	795.213	2188.026
1993	7.652	15.702	20.982	28.614	72.599	191.400	341.779	795.030	2187.479
1994	7.641	15.684	20.960	28.612	72.594	191.396	341.747	794.973	2187.311
1995	7.522	15.381	20.467	27.402	69.600	185.263	328.427	764.763	2086.766
1996	7.523	15.386	20.469	27.411	69.631	185.290	328.625	765.059	2087.665
1997	7.522	15.379	20.466	27.395	69.577	185.234	328.295	764.539	2086.059
1998	7.522	15.378	20.465	27.395	69.577	185.233	328.294	764.534	2086.056
1999	7.525	15.386	20.469	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2000	7.521	15.378	20.465	27.390	69.560	185.218	328.186	764.373	2085.560
2001	7.524	15.383	20.468	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2002	7.524	15.383	20.468	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2003	7.524	15.383	20.468	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2004	7.524	15.383	20.468	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2005	7.524	15.383	20.468	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2006	7.524	15.384	20.468	27.401	69.601	185.253	328.456	764.759	2086.767
2007	7.524	15.386	20.469	27.407	69.620	185.271	328.575	764.937	2087.302
2008	7.525	15.385	20.469	27.405	69.613	185.268	328.524	764.875	2087.082
2009	7.525	15.386	20.469	27.405	69.613	185.268	328.525	764.877	2087.083

Tabla 77: Varianza Kriging calculada en la estación Parral por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	7.956	16.207	21.947	29.425	74.382	197.064	348.703	814.674	2246.126
1981	7.731	15.807	21.152	28.657	72.727	191.673	342.499	796.362	2191.240
1982	7.749	15.860	21.249	28.865	73.165	193.302	344.078	801.396	2205.301
1983	7.751	15.873	21.258	28.865	73.165	193.302	344.078	801.396	2205.301
1984	7.731	15.839	21.220	28.852	73.126	193.256	343.854	801.022	2204.154
1985	7.731	15.835	21.218	28.852	73.126	193.256	343.854	801.022	2204.154
1986	7.644	15.691	20.969	28.631	72.649	191.484	342.041	795.528	2189.024
1987	7.641	15.689	20.962	28.610	72.590	191.367	341.732	794.910	2187.233
1988	7.652	15.702	20.983	28.610	72.589	191.364	341.727	794.897	2187.217
1989	7.641	15.687	20.962	28.620	72.621	191.408	341.920	795.246	2188.079
1990	7.641	15.687	20.962	28.634	72.658	191.493	342.103	795.628	2189.227
1991	7.641	15.691	20.963	28.634	72.658	191.493	342.103	795.628	2189.227
1992	7.641	15.686	20.961	28.619	72.618	191.400	341.901	795.213	2188.026
1993	7.652	15.702	20.982	28.614	72.599	191.400	341.779	795.030	2187.479
1994	7.641	15.684	20.960	28.612	72.594	191.396	341.747	794.973	2187.311
1995	7.522	15.381	20.467	27.402	69.600	185.263	328.427	764.763	2086.766
1996	7.523	15.386	20.469	27.411	69.631	185.290	328.625	765.059	2087.665
1997	7.522	15.379	20.466	27.395	69.577	185.234	328.295	764.539	2086.059
1998	7.522	15.378	20.465	27.395	69.577	185.233	328.294	764.534	2086.056
1999	7.525	15.386	20.469	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2000	7.521	15.378	20.465	27.390	69.560	185.218	328.186	764.373	2085.560
2001	7.524	15.383	20.468	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2002	7.524	15.383	20.468	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2003	7.524	15.383	20.468	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2004	7.524	15.383	20.468	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2005	7.524	15.383	20.468	27.401	69.601	185.253	328.454	764.755	2086.760
2006	7.524	15.384	20.468	27.401	69.601	185.253	328.456	764.759	2086.767
2007	7.524	15.386	20.469	27.407	69.620	185.271	328.575	764.937	2087.302
2008	7.525	15.385	20.469	27.405	69.613	185.268	328.524	764.875	2087.082
2009	7.525	15.386	20.469	27.405	69.613	185.268	328.525	764.877	2087.083

Tabla 78: Varianza Kriging calculada en la estación Bullileo por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	7.514	15.206	20.153	24.659	62.024	176.610	290.203	697.734	1811.708
1981	7.654	15.444	20.635	25.200	63.213	180.361	294.814	710.907	1850.300
1982	7.523	15.217	20.174	24.654	62.014	176.510	290.162	697.559	1811.558
1983	7.499	15.181	20.126	24.654	62.014	176.510	290.162	697.559	1811.558
1984	7.499	15.178	20.125	24.649	61.999	176.487	290.069	697.393	1811.126
1985	7.489	15.159	20.109	24.649	61.999	176.487	290.069	697.393	1811.126
1986	7.490	15.159	20.112	24.648	61.996	176.454	290.055	697.343	1811.080
1987	7.491	15.164	20.115	24.627	61.934	176.369	289.736	696.701	1809.319
1988	7.490	15.157	20.112	24.627	61.934	176.367	289.734	696.694	1809.312
1989	7.490	15.157	20.112	24.666	62.017	176.796	290.054	697.772	1811.596
1990	7.491	15.160	20.113	24.673	62.035	176.851	290.140	697.977	1812.110
1991	7.490	15.156	20.111	24.673	62.035	176.851	290.140	697.977	1812.110
1992	7.491	15.163	20.115	24.631	61.948	176.379	289.813	696.849	1809.655
1993	7.490	15.155	20.111	24.628	61.939	176.379	289.757	696.756	1809.418
1994	7.427	14.992	19.861	24.662	62.004	176.789	289.971	697.626	1811.250
1995	7.432	14.999	19.870	24.440	61.568	174.432	288.547	691.248	1801.558
1996	7.427	14.989	19.860	24.446	61.588	174.478	288.661	691.460	1802.065
1997	7.427	14.989	19.860	24.436	61.555	174.409	288.471	691.104	1801.162
1998	7.455	15.021	19.914	24.435	61.554	174.408	288.471	691.101	1801.161
1999	7.407	14.968	19.817	24.451	61.589	174.643	288.623	691.559	1802.057
2000	7.454	15.018	19.912	24.415	61.512	174.174	288.301	690.571	1799.929
2001	7.454	15.018	19.912	24.451	61.589	174.643	288.623	691.559	1802.057
2002	7.454	15.018	19.912	24.451	61.589	174.643	288.623	691.559	1802.057
2003	7.454	15.018	19.912	24.451	61.589	174.643	288.623	691.559	1802.057
2004	7.454	15.018	19.912	24.451	61.589	174.643	288.623	691.559	1802.057
2005	7.454	15.019	19.913	24.451	61.589	174.643	288.623	691.559	1802.057
2006	7.454	15.021	19.913	24.451	61.589	174.644	288.624	691.561	1802.062
2007	7.454	15.020	19.913	24.455	61.601	174.660	288.694	691.681	1802.371
2008	7.454	15.021	19.914	24.453	61.596	174.657	288.664	691.639	1802.244
2009	7.918	16.086	21.676	24.453	61.596	174.658	288.665	691.641	1802.244

Tabla 79: Varianza Kriging calculada en la estación Embalse Coihueco por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	7.905	16.039	21.589	27.567	70.102	187.031	331.295	770.672	2099.046
1981	7.888	16.111	21.646	26.359	67.042	181.064	317.271	740.403	1994.531
1982	7.895	16.130	21.663	27.568	70.104	186.977	331.302	770.649	2099.222
1983	7.674	15.624	20.792	27.568	70.104	186.977	331.302	770.649	2099.222
1984	7.674	15.620	20.790	27.561	70.081	186.944	331.161	770.409	2098.589
1985	7.484	15.210	20.120	27.561	70.081	186.944	331.161	770.409	2098.589
1986	7.471	15.179	20.066	26.205	66.694	179.747	315.838	736.309	1984.198
1987	7.480	15.189	20.080	26.105	66.456	179.120	314.820	733.722	1976.700
1988	7.470	15.178	20.066	26.105	66.456	179.118	314.818	733.717	1976.695
1989	7.470	15.178	20.066	26.109	66.469	179.139	314.903	733.870	1977.013
1990	7.471	15.181	20.067	26.114	66.484	179.185	314.982	734.036	1977.425
1991	7.470	15.177	20.066	26.114	66.484	179.185	314.982	734.036	1977.425
1992	7.480	15.189	20.080	26.109	66.468	179.137	314.893	733.856	1976.987
1993	7.470	15.176	20.065	26.106	66.460	179.137	314.840	733.773	1976.785
1994	7.392	15.018	19.814	26.106	66.458	179.133	314.827	733.748	1976.731
1995	7.414	15.045	19.856	25.639	65.313	176.551	309.809	722.040	1938.264
1996	7.392	15.016	19.813	25.649	65.336	176.737	309.923	722.377	1938.733
1997	7.392	15.016	19.813	25.636	65.303	176.537	309.750	721.940	1938.003
1998	7.422	15.050	19.867	25.636	65.303	176.536	309.749	721.938	1938.001
1999	7.396	15.020	19.819	25.645	65.323	176.713	309.847	722.237	1938.413
2000	7.414	15.041	19.855	25.634	65.296	176.527	309.699	721.861	1937.809
2001	7.414	15.041	19.855	25.645	65.323	176.713	309.847	722.237	1938.413
2002	7.414	15.041	19.855	25.645	65.323	176.713	309.847	722.237	1938.413
2003	7.414	15.041	19.855	25.645	65.323	176.713	309.847	722.237	1938.413
2004	7.414	15.041	19.855	25.645	65.323	176.713	309.847	722.237	1938.413
2005	7.414	15.042	19.855	25.645	65.323	176.713	309.847	722.237	1938.413
2006	7.414	15.043	19.855	25.645	65.323	176.713	309.848	722.239	1938.415
2007	7.414	15.043	19.855	25.647	65.331	176.723	309.903	722.322	1938.617
2008	7.414	15.043	19.856	25.646	65.328	176.721	309.880	722.294	1938.534
2009	8.049	16.212	22.038	25.646	65.328	176.722	309.880	722.294	1938.535

Tabla 80: Varianza Kriging calculada en la estación Chillán DMC por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	8.064	16.277	22.106	21.786	53.966	167.550	248.500	625.551	1526.612
1981	7.593	15.018	19.943	21.787	53.972	167.510	248.532	625.604	1526.733
1982	7.598	15.030	19.954	21.784	53.964	167.444	248.492	625.475	1526.596
1983	7.543	14.950	19.830	21.784	53.964	167.444	248.492	625.475	1526.596
1984	7.543	14.946	19.828	21.780	53.955	167.419	248.445	625.358	1526.386
1985	7.505	14.913	19.763	21.780	53.955	167.419	248.445	625.358	1526.386
1986	7.502	14.911	19.758	21.780	53.955	167.419	248.445	625.358	1526.386
1987	7.539	14.938	19.821	21.774	53.940	167.343	248.382	625.158	1526.061
1988	7.502	14.909	19.758	21.774	53.940	167.341	248.381	625.153	1526.058
1989	7.502	14.909	19.758	21.778	53.950	167.405	248.427	625.301	1526.252
1990	7.502	14.913	19.759	21.783	53.960	167.470	248.469	625.437	1526.486
1991	7.501	14.908	19.757	21.783	53.960	167.470	248.469	625.437	1526.486
1992	7.539	14.938	19.820	21.778	53.949	167.403	248.422	625.288	1526.234
1993	7.501	14.906	19.756	21.776	53.943	167.403	248.394	625.220	1526.119
1994	7.447	14.837	19.639	21.776	53.942	167.397	248.388	625.201	1526.092
1995	7.456	14.849	19.653	21.738	53.868	166.825	248.133	624.136	1524.211
1996	7.447	14.834	19.638	21.743	53.881	166.892	248.195	624.312	1524.485
1997	7.447	14.834	19.637	21.735	53.861	166.804	248.097	624.042	1524.036
1998	7.462	14.852	19.660	21.735	53.861	166.803	248.096	624.039	1524.035
1999	7.452	14.838	19.644	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2000	7.455	14.845	19.650	21.733	53.855	166.790	248.065	623.965	1523.901
2001	7.455	14.845	19.650	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2002	7.455	14.845	19.650	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2003	7.455	14.845	19.650	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2004	7.455	14.845	19.650	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2005	7.455	14.846	19.650	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2006	7.455	14.847	19.651	21.739	53.871	166.859	248.150	624.189	1524.276
2007	7.455	14.847	19.651	21.741	53.878	166.873	248.183	624.265	1524.410
2008	7.455	14.847	19.651	21.740	53.875	166.871	248.169	624.238	1524.355
2009	7.394	14.577	19.244	21.740	53.875	166.871	248.169	624.239	1524.355

Tabla 81: Varianza Kriging calculada en la estación Chillán DMC por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	8.064	16.277	22.106	21.786	53.966	167.550	248.500	625.551	1526.612
1981	7.593	15.018	19.943	21.787	53.972	167.510	248.532	625.604	1526.733
1982	7.598	15.030	19.954	21.784	53.964	167.444	248.492	625.475	1526.596
1983	7.543	14.950	19.830	21.784	53.964	167.444	248.492	625.475	1526.596
1984	7.543	14.946	19.828	21.780	53.955	167.419	248.445	625.358	1526.386
1985	7.505	14.913	19.763	21.780	53.955	167.419	248.445	625.358	1526.386
1986	7.502	14.911	19.758	21.780	53.955	167.419	248.445	625.358	1526.386
1987	7.539	14.938	19.821	21.774	53.940	167.343	248.382	625.158	1526.061
1988	7.502	14.909	19.758	21.774	53.940	167.341	248.381	625.153	1526.058
1989	7.502	14.909	19.758	21.778	53.950	167.405	248.427	625.301	1526.252
1990	7.502	14.913	19.759	21.783	53.960	167.470	248.469	625.437	1526.486
1991	7.501	14.908	19.757	21.783	53.960	167.470	248.469	625.437	1526.486
1992	7.539	14.938	19.820	21.778	53.949	167.403	248.422	625.288	1526.234
1993	7.501	14.906	19.756	21.776	53.943	167.403	248.394	625.220	1526.119
1994	7.447	14.837	19.639	21.776	53.942	167.397	248.388	625.201	1526.092
1995	7.456	14.849	19.653	21.738	53.868	166.825	248.133	624.136	1524.211
1996	7.447	14.834	19.638	21.743	53.881	166.892	248.195	624.312	1524.485
1997	7.447	14.834	19.637	21.735	53.861	166.804	248.097	624.042	1524.036
1998	7.462	14.852	19.660	21.735	53.861	166.803	248.096	624.039	1524.035
1999	7.452	14.838	19.644	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2000	7.455	14.845	19.650	21.733	53.855	166.790	248.065	623.965	1523.901
2001	7.455	14.845	19.650	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2002	7.455	14.845	19.650	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2003	7.455	14.845	19.650	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2004	7.455	14.845	19.650	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2005	7.455	14.846	19.650	21.739	53.871	166.859	248.150	624.187	1524.274
2006	7.455	14.847	19.651	21.739	53.871	166.859	248.150	624.189	1524.276
2007	7.455	14.847	19.651	21.741	53.878	166.873	248.183	624.265	1524.410
2008	7.455	14.847	19.651	21.740	53.875	166.871	248.169	624.238	1524.355
2009	7.394	14.577	19.244	21.740	53.875	166.871	248.169	624.239	1524.355

Tabla 82: Varianza Kriging calculada en la estación Caracol DMC por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	8.026	16.363	22.242	18.459	43.796	157.997	189.831	540.334	1157.234
1981	7.487	14.744	19.536	29.414	74.447	196.703	349.485	814.409	2250.361
1982	7.495	14.757	19.550	18.459	43.797	158.001	189.833	540.341	1157.260
1983	7.389	14.566	19.235	18.459	43.797	158.001	189.833	540.341	1157.260
1984	7.389	14.563	19.234	18.458	43.793	157.982	189.813	540.276	1157.179
1985	7.377	14.543	19.215	18.458	43.793	157.982	189.813	540.276	1157.179
1986	7.852	16.012	21.599	18.457	43.792	157.948	189.810	540.247	1157.170
1987	7.854	16.023	21.608	29.369	74.317	196.496	348.795	813.094	2246.426
1988	7.852	16.009	21.597	29.368	74.316	196.490	348.789	813.075	2246.404
1989	7.852	16.009	21.597	29.388	74.370	196.606	349.073	813.697	2247.892
1990	7.853	16.015	21.600	29.408	74.421	196.754	349.308	814.239	2249.487
1991	7.851	16.007	21.596	29.408	74.421	196.754	349.308	814.239	2249.487
1992	7.854	16.022	21.607	29.382	74.357	196.526	349.012	813.521	2247.528
1993	7.851	16.004	21.594	29.373	74.330	196.526	348.854	813.248	2246.746
1994	7.804	15.907	21.442	29.376	74.332	196.586	348.847	813.294	2246.795
1995	7.866	15.982	21.602	29.194	73.913	195.320	347.137	808.697	2233.218
1996	7.804	15.902	21.439	29.283	74.100	196.275	347.884	810.979	2238.764
1997	7.804	15.901	21.438	29.180	73.874	195.258	346.931	808.303	2231.997
1998	7.884	15.991	21.627	29.180	73.873	195.255	346.929	808.294	2231.992
1999	7.796	15.893	21.417	29.267	74.054	196.227	347.631	810.504	2237.375
2000	7.873	15.979	21.609	29.161	73.827	195.092	346.708	807.779	2230.601
2001	7.873	15.979	21.609	29.267	74.054	196.227	347.631	810.504	2237.375
2002	7.873	15.979	21.609	29.267	74.054	196.227	347.631	810.504	2237.375
2003	7.873	15.979	21.609	29.267	74.054	196.227	347.631	810.504	2237.375
2004	7.873	15.979	21.609	29.267	74.054	196.227	347.631	810.504	2237.375
2005	7.873	15.981	21.610	29.267	74.054	196.227	347.631	810.504	2237.375
2006	7.873	15.984	21.611	29.267	74.054	196.228	347.634	810.511	2237.388
2007	7.874	15.983	21.612	29.278	74.088	196.274	347.832	810.854	2238.387
2008	7.874	15.984	21.612	29.274	74.075	196.266	347.748	810.734	2237.977
2009	8.357	16.971	23.328	29.274	74.075	196.268	347.749	810.738	2237.979

Tabla 83: Varianza Kriging calculada en la estación Polcura en Embalsadero por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	8.599	17.312	24.164	31.970	80.136	213.060	371.727	875.431	2442.028
1981	8.507	17.224	23.880	32.086	80.381	214.137	372.670	878.234	2449.952
1982	8.629	17.346	24.159	31.972	80.138	213.024	371.707	875.386	2442.423
1983	8.427	17.000	23.474	31.972	80.138	213.024	371.707	875.386	2442.423
1984	8.424	16.987	23.465	31.938	80.043	212.877	371.211	874.432	2439.443
1985	8.390	16.921	23.387	31.938	80.043	212.877	371.211	874.432	2439.443
1986	8.398	16.935	23.411	31.932	80.026	212.792	371.132	874.213	2439.058
1987	8.412	16.963	23.453	31.894	79.917	212.633	370.580	873.111	2435.674
1988	8.397	16.928	23.407	31.893	79.915	212.620	370.567	873.073	2435.628
1989	8.397	16.928	23.407	31.926	80.009	212.741	371.052	874.111	2438.276
1990	8.399	16.940	23.415	31.969	80.111	213.079	371.490	875.200	2441.570
1991	8.395	16.923	23.403	31.969	80.111	213.079	371.490	875.200	2441.570
1992	8.412	16.962	23.451	31.923	79.998	212.721	370.988	873.989	2437.986
1993	8.394	16.917	23.399	31.905	79.944	212.721	370.692	873.439	2436.368
1994	8.353	16.866	23.308	31.900	79.932	212.696	370.630	873.305	2436.016
1995	8.354	16.872	23.312	31.954	80.041	213.270	371.060	874.543	2439.620
1996	8.351	16.856	23.299	31.962	80.066	213.319	371.192	874.814	2440.304
1997	8.351	16.855	23.298	31.923	79.958	213.125	370.652	873.705	2436.952
1998	8.480	17.002	23.620	31.923	79.957	213.118	370.649	873.687	2436.940
1999	8.474	16.989	23.606	31.926	79.969	213.129	370.718	873.796	2437.340
2000	8.352	16.856	23.299	31.899	79.889	213.002	370.296	873.002	2434.856
2001	8.352	16.856	23.299	31.926	79.969	213.129	370.718	873.796	2437.340
2002	8.352	16.856	23.299	31.926	79.969	213.129	370.718	873.796	2437.340
2003	8.352	16.856	23.299	31.926	79.969	213.129	370.718	873.796	2437.340
2004	8.352	16.856	23.299	31.926	79.969	213.129	370.718	873.796	2437.340
2005	8.352	16.859	23.301	31.926	79.969	213.129	370.718	873.796	2437.340
2006	8.352	16.864	23.304	31.927	79.970	213.132	370.724	873.809	2437.366
2007	8.353	16.863	23.305	31.948	80.033	213.219	371.070	874.437	2439.266
2008	8.353	16.864	23.305	31.940	80.008	213.203	370.923	874.219	2438.487
2009	9.886	18.382	27.372	31.941	80.009	213.207	370.924	874.225	2438.490

Tabla 84: Varianza Kriging calculada en la estación Carrier Sur por duración horaria.

Año	Duración (horas)								
	0.25	0.5	0.75	1	2	4	6	12	24
1980	9.776	18.294	27.128	34.169	84.223	235.574	384.816	924.463	2577.852
1981	9.739	18.270	27.025	19.297	45.361	169.497	194.822	562.644	1197.655
1982	9.778	18.346	27.150	19.292	45.349	169.494	194.767	562.486	1197.374
1983	9.735	18.258	27.022	19.292	45.349	169.494	194.767	562.486	1197.374
1984	9.726	18.232	26.993	19.283	45.330	169.387	194.695	562.212	1196.949
1985	9.666	18.168	26.877	19.283	45.330	169.387	194.695	562.212	1196.949
1986	9.673	18.184	26.894	19.282	45.327	169.322	194.684	562.147	1196.893
1987	9.667	18.170	26.880	19.265	45.296	168.961	194.585	561.665	1196.216
1988	9.667	18.170	26.880	19.265	45.296	168.952	194.584	561.654	1196.209
1989	9.667	18.170	26.880	34.001	83.880	233.305	383.476	920.406	2567.037
1990	9.678	18.198	26.908	34.129	84.117	235.116	384.274	923.250	2574.877
1991	9.662	18.157	26.865	34.129	84.117	235.116	384.274	923.250	2574.877
1992	9.666	18.167	26.874	33.993	83.860	233.258	383.376	920.176	2566.503
1993	9.657	18.143	26.846	33.955	83.761	233.258	382.909	919.116	2563.466
1994	9.468	18.003	26.398	33.945	83.738	233.178	382.809	918.850	2562.797
1995	9.483	18.044	26.446	33.893	83.696	232.004	382.902	917.955	2561.396
1996	9.461	17.980	26.364	33.974	83.905	232.471	383.885	920.177	2567.867
1997	9.460	17.976	26.360	33.832	83.551	231.644	382.275	916.429	2556.634
1998	9.500	18.038	26.450	33.831	83.549	231.626	382.270	916.395	2556.614
1999	9.484	17.986	26.391	33.898	83.723	231.961	383.098	918.187	2562.179
2000	9.467	18.003	26.388	33.786	83.432	231.377	381.729	915.171	2552.936
2001	9.467	18.003	26.388	33.898	83.723	231.961	383.098	918.187	2562.179
2002	9.467	18.003	26.388	33.898	83.723	231.961	383.098	918.187	2562.179
2003	9.467	18.003	26.388	33.898	83.723	231.961	383.098	918.187	2562.179
2004	9.467	18.003	26.388	33.898	83.723	231.961	383.098	918.187	2562.179
2005	9.470	18.011	26.394	33.898	83.723	231.961	383.098	918.187	2562.179
2006	9.472	18.024	26.406	33.898	83.725	231.968	383.109	918.213	2562.227
2007	9.473	18.022	26.409	33.942	83.843	232.194	383.682	919.436	2565.866
2008	9.474	18.024	26.411	33.927	83.797	232.154	383.438	919.010	2564.372
2009	9.474	18.024	26.411	33.928	83.798	232.163	383.440	919.024	2564.379

Tabla 85: Varianza Kriging calculada en la estación Contulmo por duración horaria.

Año	Duración (horas)					
	1	2	4	6	12	24
1980	34.12067	84.05436	236.0008	383.9237	922.9392	2572.425
1981	34.15483	84.15595	235.7878	384.4233	923.7438	2576.261
1982	34.11398	84.04442	235.59	383.8648	922.6246	2572.707
1983	34.11398	84.04442	235.59	383.8648	922.6246	2572.707
1984	34.04757	83.88318	235.1697	383.1471	920.9094	2567.543
1985	34.04757	83.88318	235.1697	383.1471	920.9094	2567.543
1986	34.03836	83.86051	235.0872	383.044	920.6225	2566.976
1987	34.04706	83.88168	235.162	383.1378	920.8682	2567.61
1988	34.045	83.87704	235.1216	383.1178	920.7924	2567.52
1989	34.13099	84.06972	235.8032	383.9291	923.1147	2573.076
1990	34.09012	83.96597	235.8032	383.4471	921.9936	2569.9
1991	34.09012	83.96597	235.8032	383.4471	921.9936	2569.9
1992	34.12318	84.04906	235.7481	383.827	922.8733	2572.521
1993	34.08258	83.94612	235.7481	383.3494	921.7614	2569.366
1994	34.07226	83.92234	235.6558	383.2481	921.4827	2568.671
1995	34.07174	83.96705	235.1063	383.5856	921.6954	2570.178
1996	34.15781	84.18541	235.6379	384.5956	924.0349	2576.94
1997	34.00623	83.81397	234.6785	382.9376	920.066	2565.15
1998	34.00523	83.81226	234.6563	382.9331	920.0305	2565.129
1999	34.07555	83.99406	235.0333	383.7832	921.9113	2570.936
2000	33.95582	83.68933	234.3583	382.374	918.7235	2561.246
2001	34.07555	83.99406	235.0333	383.7832	921.9113	2570.936
2002	34.07555	83.99406	235.0333	383.7832	921.9113	2570.936
2003	34.07555	83.99406	235.0333	383.7832	921.9113	2570.936
2004	34.07555	83.99406	235.0333	383.7832	921.9113	2570.936
2005	34.07555	83.99406	235.0333	383.7832	921.9113	2570.936
2006	34.07632	83.99621	235.0422	383.7946	921.939	2570.987
2007	34.1237	84.12018	235.3115	384.3866	923.2443	2574.828
2008	34.1074	84.07202	235.2639	384.1342	922.7901	2573.251
2009	34.10773	84.07265	235.2742	384.1364	922.8043	2573.258

ANEXO 7: Lista de estaciones pluviográficas según la calidad de predicción.

Tabla 86: Valores máximo, mínimo y promedio obtenido de varianza Kriging para la duración 0.25 horas.

Estaciones	Parámetros		
	Máximo	Mínimo	Promedio
MOP – DGA	7.014	6.724	7.744
Quinta Normal	7.040	6.728	7.820
Edificio Central Endesa	7.141	6.583	8.765
Digua	7.311	7.211	7.480
San Javier	7.362	7.302	7.752
Bullileo	7.489	7.407	7.918
Chillán DMC	7.504	7.394	8.064
Embalse Coihueco	7.516	7.392	8.049
Embalse Ancoa	7.531	7.402	7.715
La Obra	7.563	7.304	8.112
Parral	7.610	7.521	7.956
Caracol	7.805	7.377	8.357
Pencahue	7.955	7.920	8.376
Embalse Rungue	8.344	7.853	9.205
Polcura en Embalsadero	8.453	8.351	9.886
San Antonio	8.875	8.786	9.195
Carrier Sur	9.577	9.460	9.778

Tabla 87: Valores máximo, mínimo y promedio obtenido de varianza Kriging para la duración 0.5 horas.

Estaciones	Parámetros		
	Máximo	Mínimo	Promedio
MOP – DGA	13.401	12.908	14.492
Quinta Normal	13.505	12.927	14.811
Edificio Central Endesa	13.669	12.452	16.867
Digua	14.698	14.431	15.069
San Javier	14.765	14.636	15.763
Chillán DMC	14.923	14.577	16.277
La Obra	14.924	14.484	15.697
Bullileo	15.129	14.968	16.086
Embalse Coihueco	15.264	15.016	16.212
Embalse Ancoa	15.385	15.121	15.756
Parral	15.580	15.378	16.207
Caracol	15.800	14.543	16.971
Pencahue	15.960	15.895	16.753
Embalse Rungue	16.482	15.599	17.724
Polcura en Embalsadero	16.995	16.855	18.382
San Antonio	17.387	17.280	17.764
Carrier Sur	18.102	17.976	18.346

Tabla 88: Valores máximo, mínimo y promedio obtenido de varianza Kriging para la duración 0.75 horas.

Estaciones	Parámetros		
	Máximo	Mínimo	Promedio
MOP – DGA	17.551	16.780	19.364
Quinta Normal	17.688	16.806	19.821
Edificio Central Endesa	18.060	16.171	23.453
Digua	19.345	18.943	19.930
San Javier	19.452	19.250	21.081
Chillán DMC	19.786	19.244	22.106
La Obra	19.917	19.185	21.248
Bullileo	20.077	19.817	21.676
Embalse Coihueco	20.229	19.813	22.038
Embalse Ancoa	20.453	19.994	21.111
Parral	20.792	20.465	21.947
Caracol	21.286	19.215	23.328
Pencahue	21.666	21.562	23.148
Embalse Rungue	22.813	21.088	25.365
Polcura en Embalsadero	23.580	23.298	27.372
San Antonio	24.671	24.471	25.631
Carrier Sur	26.653	26.360	27.150

Tabla 89: Valores máximo, mínimo y promedio obtenido de varianza Kriging para la duración 1 horas.

Estaciones	Parámetros		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Edificio Central Endesa	12.443	10.764	20.365
MOP – DGA	13.027	11.188	14.456
Quinta Normal	13.888	13.368	19.402
San Antonio	32.486	32.359	33.613
Rungue	29.008	25.247	31.983
La Obra	22.560	22.030	22.949
Digua	22.642	21.424	23.937
San Javier	23.185	22.767	27.966
Embalse Ancoa	26.970	25.439	28.475
Pencahue	28.089	27.911	30.302
Parral	28.071	27.390	29.425
Bullileo	24.566	24.415	25.200
Coihueco	26.130	25.634	27.568
Chillán DMC	21.759	21.733	21.787
Caracol	27.131	18.457	29.414
Polcura en Embalsadero	31.939	31.893	32.086
Carrier Sur	30.033	19.265	34.169
Contulmo	34.079	33.956	34.158

Tabla 90: Valores máximo, mínimo y promedio de varianza Kriging para la duración 2 horas.

Estaciones	Parámetros		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Edificio Central Endesa	27.238	22.281	50.537
MOP – DGA	29.050	23.352	33.404
Quinta Normal	31.660	30.114	48.134
Chillán DMC	53.912	53.855	53.972
La Obra	56.446	55.078	57.400
Digua	56.814	53.537	60.249
San Javier	58.472	57.403	70.978
Bullileo	61.827	61.512	63.213
Embalse Coihueco	66.525	65.296	70.104
Caracol	68.076	43.792	74.447
Embalse Ancoa	68.596	64.813	72.226
Pencahue	70.838	70.400	76.051
Parral	71.242	69.560	74.382
Embalse Rungue	72.594	63.030	79.968
Carrier Sur	73.532	45.296	84.223
Polcura en Embalsadero	80.020	79.889	80.381
San Antonio	80.937	80.645	83.240

Tabla 91: Valores máximo, mínimo y promedio obtenido de varianza Kriging para la duración 4 horas.

Estaciones	Parámetros		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Edificio Central Endesa	127.962	120.812	158.688
MOP – DGA	129.677	123.827	135.168
Quinta Normal	133.117	130.722	151.521
Digua	166.993	161.655	173.220
La Obra	167.006	163.972	170.239
Chillán DMC	167.139	166.790	167.550
San Javier	168.430	166.221	189.772
Bullileo	175.686	174.174	180.361
Embalse Coihueco	179.296	176.527	187.031
embalse Ancoa	182.871	174.564	191.661
Caracol	188.565	157.948	196.754
Parral	188.782	185.218	197.064
Pencahue	193.141	192.107	207.065
Embalse Rungue	200.087	183.341	214.884
Polcura en Embalsadero	213.048	212.620	214.137
Carrier Sur	215.755	168.952	235.574
San Antonio	220.144	219.221	228.920
Contulmo	235.292	234.358	236.001

Tabla 92: Valores máximo, mínimo y promedio de varianza Kriging para la duración 6 horas.

Estaciones	Parámetros		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Edificio Central Endesa	102.499	74.128	233.579
MOP – DGA	113.185	78.864	139.093
Quinta Normal	128.960	120.344	222.277
San Antonio	373.539	372.309	381.800
Embalse Rungue	336.977	292.560	370.369
La Obra	262.989	256.391	267.447
Digua	265.530	249.236	282.406
San Javier	274.885	269.876	334.647
Embalse Ancoa	324.285	307.395	340.099
Pencahue	331.899	329.935	354.104
Parral	335.692	328.186	348.703
Bullileo	289.457	288.301	294.814
Embalse Coihueco	315.197	309.699	331.302
Chillán DMC	248.295	248.065	248.532
Caracol	316.425	189.810	349.485
Polcura en Embalsadero	371.022	370.296	372.670
Carrier Sur	332.962	194.584	384.816
Contulmo	383.617	382.374	384.596

Tabla 93: Valores máximo, mínimo y promedio obtenido de varianza Kriging para la duración 12 horas.

Estaciones	Parámetros		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Edificio Central Endesa	376.773	331.344	587.970
MOP – DGA	392.382	343.433	431.102
Quinta Normal	415.563	401.770	561.172
San Antonio	886.411	883.172	912.105
Embalse Rungue	802.735	711.843	874.704
La Obra	642.543	628.475	653.138
Digua	646.422	614.951	680.049
San Javier	660.221	649.522	780.133
Embalse Ancoa	754.289	715.839	792.081
Pencahue	781.042	776.511	835.642
Parral	781.472	764.373	814.674
Bullileo	694.853	690.571	710.907
Embalse Coihueco	734.433	721.861	770.672
Chillán DMC	624.764	623.965	625.604
Caracol	757.151	540.247	814.409
Polcura en Embalsadero	874.272	873.002	878.234
Carrier Sur	823.932	561.654	924.463
Contulmo	921.868	918.724	924.035

Tabla 94: Valores máximo, mínimo y promedio obtenido de varianza Kriging para la duración 12 horas.

Estaciones	Parámetros		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Edificio Central Endesa	621.489	451.971	1421.714
MOP – DGA	684.295	480.740	838.542
Quinta Normal	777.945	725.726	1350.060
San Antonio	2467.866	2458.642	2545.895
Embalse Rungue	2178.644	1840.470	2436.050
La Obra	1627.807	1583.873	1657.458
Digua	1636.835	1526.374	1751.270
San Javier	1697.272	1661.551	2128.053
Embalse Ancoa	2052.893	1925.967	2172.887
Pencahue	2124.375	2110.037	2297.755
Parral	2141.667	2085.560	2246.126
Bullileo	1807.679	1799.929	1850.300
Embalse Coihueco	1978.818	1937.809	2099.222
Chillán DMC	1525.306	1523.901	1526.733
Caracol	2023.899	1157.170	2250.361
Polcura en Embalsadero	2438.806	2434.856	2449.952
Carrier Sur	2199.613	1196.209	2577.852
Contulmo	2570.377	2561.246	2576.940