

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN  
Facultad de Ingeniería - Ingeniería Civil



**ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO PARA LA CONFECCIÓN DE MAPAS  
DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA  
LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O´HIGGINS.**

**AUTOR: SIJINALDO ANDRÉS JARA TOLEDO**  
INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

**Profesor Guía**  
Dr. PEDRO TUME ZAPATA.

**Profesor Informante**  
MENG. MAURICIO VILLAGRÁN VALENZUELA

CONCEPCIÓN, OCTUBRE 2015.



## RESUMEN

El objetivo de este proyecto es analizar la distribución espacial de las precipitaciones máximas en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, asociadas a períodos de retornos que se utilizan en el diseño de obras de ingeniería, debido a la falta de mapas de precipitaciones con datos actualizados. Para ello se utilizó el programa ArcGis 9.3. (ESRI, 2009), con el módulo de geoestadística como herramienta de interpolación para encontrar un modelo Geoestadístico que represente de manera confiable los datos de lluvia analizados, utilizando para ello semivariogramas y tabla de errores. Con lo anterior, se logró determinar que el modelo Circular es el que mejor se ajusta a los datos analizados, para los distintos periodos de retorno.

Para lograr esto, se considera en una primera instancia, el análisis de 18 estaciones pluviométricas distribuidas en la región de O'Higgins y luego se agregan 12 estaciones de medición más, ubicadas en las regiones aledañas para estudiar la variación del error en las predicciones y elegir el modelo que más se aproxima a los valores reales.

Luego se confeccionan mapas de precipitaciones máximas asociadas a períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años, utilizando como herramienta de interpolación el Método Kriging Ordinario.

Además se compara el mapa de precipitaciones de período de retorno  $T=10$  años generado por la interpolación Kriging Ordinario con el mapa de la DGA, logrando similitudes en las zonas cordilleranas y en los valles interiores, pese a la diferencia de información y manera de confeccionar estos últimos mapas.

Por último, se confeccionan mapas de precipitaciones mensuales asociados a la Cuenca del Río Rapel, utilizando la metodología mencionada.



## ABSTRACT

The objective of this project is to analyze the spatial distribution of the maximum rainfall in the O'Higgins District, with return periods that are used in design engineering, due to lack of rainfall data maps updated. For this, ArcGis 9.3 program was used. (ESRI, 2009) with the module geostatistical interpolation as a tool to find a geostatistical model that represents rainfall data analyzed, using semivariograms and error table. With the above, it was determined that the circular model is the best fit with low errors in the data, for different return periods.

To achieve this, it is considered in the first instance, the analysis of 18 rainfall stations distributed in the O'Higgins District and then added 12 more measurement stations, located in the neighboring District to study the variation of error in predictions and choose this model.

Then, were made maps of maximum rainfall associated with return periods of 2, 5, 10, 20, 25, 50 and 100 years later, using as a tool for Ordinary Kriging interpolation.

Map rainfall return period  $T=10$  years generated by Ordinary Kriging interpolation to map DGA compared, making similarities in the mountainous areas and inland valleys, despite the difference of how to construct information and compares these latest maps.

Finally, monthly rainfall maps associated with the Rapel River Basin are made using the above methodology.



## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecer principalmente a Dios, mis padres y mi familia en general,  
por el apoyo, la paciencia y la confianza que siempre  
me han tenido en todo los ámbitos de mi vida.*

*También agradecer el cariño, el amor y la entrega de mi hijo junto a mí  
novia, quienes siempre han confiado en mí y nunca se han  
alejado de mi lado, pese al tiempo que me  
ausente por razones de trabajo o de estudios.*

*Agradecer al Dr. Pedro Tume Z., por la comprensión y consejos en  
el transcurso de la carrera dentro y fuera del aula.*

*Mencionar a mis colegas y compañeros con quienes he compartido  
los últimos años de este largo trayecto, y a todas esas  
personas que de alguna manera me entregaron su apoyo,  
a todos ustedes muchas gracias...*



## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos.....	2
1.2. Metodología.....	2
1.2.1. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN.....	3
1.2.2. TRATAMIENTO GEOESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN.....	5
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1. ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO.....	7
2.2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	8
2.2.1. Conceptos Estadísticos.....	8
2.2.2. Prueba de datos dudosos:.....	8
2.2.3. Análisis de Frecuencia.....	9
2.2.4. Distribuciones de Probabilidad.....	9
2.2.5. Test de Bondad de Ajuste.....	9
2.2.6. Períodos de Retorno.....	9
2.3. GEOESTADÍSTICA.....	10
2.3.1. Concepto de Análisis Geoestadístico.....	10
2.3.2. Análisis Estructural.....	11
2.3.3. Modelos de Variograma.....	12
I. Variograma.....	12
II. Elementos del variograma.....	13
a) Nugget (Co).....	13
b) Sill (C).....	13
c) Rango (a).....	13
2.3.4. Método de interpolación.....	14
2.3.4.1. Kriging Ordinario.....	14
2.3.4.2. Error de Estimación.....	15
2.4 APLICACIÓN DE LA GEOESTADÍSTICA EN EL ESTUDIO DE PRECIPITACIONES.....	16



<b>CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>19</b>
3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	19
3.2. GEOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	20
3.3. HIDROGRAFÍA DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS. ....	20
3.4. CLIMA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	21
3.5. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES. ....	22
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
4.1. ANÁLISIS DE ERRORES.....	28
4.2. MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS. ....	31
4.3. CONFECCIÓN DE MAPAS DE PRECIPITACIONES. ....	33
4.4. COMPARACIÓN MAPA MODELACIÓN V/S MAPA DGA PARA T=10 AÑOS.....	36
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO E.....</b>	<b>100</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Algoritmo para la elaboración de datos.</i>	4
<i>Figura 2: Distribución espacial de estaciones. Fuente <a href="http://www.rulamahue.cl/">http://www.rulamahue.cl/</a>.</i>	5
<i>Figura 3: Algoritmo para la elaboración de Mapas.</i>	6
<i>Figura 4: Dos puntos a una distancia vectorial <math>h</math>.</i>	13
<i>Figura 5: Parámetros usados para la interpolación geoestadística.</i>	14
<i>Figura 6: Ubicación geográfica de la Región del Libertador B. O'Higgins.</i>	19
<i>Figura 7: Relieves, Región de O'Higgins. Fuente <a href="http://www.mediateca.cl">www.mediateca.cl</a>.</i>	20
<i>Figura 8: Cuenca del Río Rapel y sus afluentes. Fuente <a href="http://ww2.educarchile.cl">ww2.educarchile.cl</a>.</i>	21
<i>Figura 9: Distribución de las estaciones pluviométricas analizadas. Fuente DGA.</i>	22
<i>Figura 10: Resumen estadístico de la estación Fundo Las Dos Puertas.</i>	25
<i>Figura 11: Semivariogramas para distintos períodos de retorno.</i>	33
<i>Figura 12: Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para <math>T=2</math> años.</i>	34
<i>Figura 13: Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para <math>T=10</math> años.</i>	35
<i>Figura 14: Mapa de Precipitaciones Kriging Ordinario v/s DGA.</i>	37
<i>Figura 15: Delimitación de la cuenca del Río Rapel.</i>	40
<i>Figura 16: Mapa de Precipitaciones, Julio.</i>	44
<i>Figura 17: Mapa de precipitaciones por estaciones del año.</i>	45
<i>Figura 18: Mapas de precipitaciones por periodos secos y periodos de lluvias.</i>	46
<i>Figura 19: Resumen estadístico de la estación Barrera Loncha.</i>	61
<i>Figura 20: Resumen estadístico de la estación Villa Ahue.</i>	62
<i>Figura 19: Resumen estadístico de la estación Barrera Loncha.</i>	63
<i>Figura 21: Resumen estadístico de la estación Laguna Aculeo.</i>	64
<i>Figura 22: Resumen estadístico de la estación Pirque.</i>	65
<i>Figura 23: Resumen estadístico de la estación San Gabriel.</i>	66
<i>Figura 24: Resumen estadístico de la estación Los Guindos.</i>	67
<i>Figura 24: Resumen estadístico de la estación Los Guindos.</i>	68
<i>Figura 25: Resumen estadístico de la estación Los Queñes.</i>	69
<i>Figura 26: Resumen estadístico de la estación El Manzano.</i>	70
<i>Figura 27: Resumen estadístico de la estación Santa Susana.</i>	71
<i>Figura 28: Resumen estadístico de la estación Curicó.</i>	72
<i>Figura 29: Resumen estadístico de la estación La Palma.</i>	73
<i>Figura 30: Resumen estadístico de la estación Pichilemu.</i>	74
<i>Figura 31: Resumen estadístico de la estación Nilahue.</i>	75
<i>Figura 32: Resumen estadístico de la estación Ranguili.</i>	76
<i>Figura 33: Resumen estadístico de la estación El Membrillo.</i>	77
<i>Figura 34: Resumen estadístico de la estación Candelaria.</i>	78
<i>Figura 35: Resumen estadístico de la estación Convento Viejo.</i>	79
<i>Figura 36: Resumen estadístico de la estación San Fernando.</i>	80
<i>Figura 37: Resumen estadístico de la estación La Rufina.</i>	81
<i>Figura 38: Resumen estadístico de la estación Rancagua.</i>	82
<i>Figura 39: Resumen estadístico de la estación Coltauco.</i>	83
<i>Figura 40: Resumen estadístico de la estación Cocalan.</i>	84



<i>Figura 41: Resumen estadístico de la estación Pichidegua.</i>	85
<i>Figura 42: Resumen estadístico de la estación Litueche.</i>	86
<i>Figura 43: Resumen estadístico de la estación Millahue.</i>	87
<i>Figura 44: Resumen estadístico de la estación Rengo.</i>	88
<i>Figura 45: Resumen estadístico de la estación Popeta.</i>	89
<i>Figura 46: Resumen estadístico de la estación Central las Nieves.</i>	90
<i>Figura 47: Resumen estadístico de la estación Rapel.</i>	91
<i>Figura 48: Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para T=5 años.</i>	93
<i>Figura 49: Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para T=20 años.</i>	94
<i>Figura 50: Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para T=25 años.</i>	95
<i>Figura 51: Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para T=50 años.</i>	96
<i>Figura 52: Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para T=100 años.</i>	97
<i>Figura 53: Mapa de Precipitaciones T=10 años DGA 1996.</i>	99
<i>Figura 54: Mapa de Precipitaciones, Enero.</i>	101
<i>Figura 55: Mapa de Precipitaciones, Febrero.</i>	102
<i>Figura 56: Mapa de Precipitaciones, Marzo.</i>	103
<i>Figura 57: Mapa de Precipitaciones, Abril.</i>	104
<i>Figura 58: Mapa de Precipitaciones, Mayo.</i>	105
<i>Figura 59: Mapa de Precipitaciones, Junio.</i>	106
<i>Figura 60: Mapa de Precipitaciones, Agosto.</i>	107
<i>Figura 61: Mapa de Precipitaciones, Septiembre.</i>	108
<i>Figura 62: Mapa de Precipitaciones, Octubre.</i>	109
<i>Figura 63: Mapa de Precipitaciones, Noviembre.</i>	110
<i>Figura 64: Mapa de Precipitaciones, Diciembre.</i>	111
<i>Figura 65: Mapa de Precipitaciones Promedio Mensuales.</i>	112



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Errores de Estimación. ....	15
Tabla 2: Estaciones pluviométricas.....	23
Tabla 3: Registro histórico de cada estación proporcionada por la DGA.....	24
Tabla 4: Distribución y Precipitaciones para cada período de retorno. ....	26
Tabla 5: Resumen de 30 estaciones con datos a utilizar en ArcGis 9.3.....	27
Tabla 6: Resumen de 18 estaciones con datos ingresados a ArcGis 9.3.....	28
Tabla 7: Errores de Estimación para 18 estaciones.....	29
Tabla 8: Errores de Estimación para 30 estaciones.....	30
Tabla 9: Modelos de Semivariogramas y sus parámetros.....	31
Tabla 10: Registro de Precipitaciones Máximas. DGA 1993. ....	36
Tabla 11: Precipitaciones Máximas para T= 10 años según DGA (1994).....	39
Tabla 12: Información mensual de las estaciones.....	41
Tabla 13: Errores de la modelación de Precipitaciones Mensuales. ....	42



## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.**

En los últimos años, Chile se ha visto afectado por grandes catástrofes naturales producto de un aumento en las precipitaciones, las cuales han provocado grandes aluviones e inundaciones en algunas localidades en el norte del país.

Es bien sabido, que la precipitación es el principal componente del ciclo hidrológico, responsable del depósito de agua dulce en la superficie terrestre tanto para el consumo animal, como para el hombre, que por diversos procesos le da grandes utilidades para desarrollarse diariamente.

Algunas de estas utilidades son las obras de ingeniería, las cuales en gran parte de sus áreas considera la precipitación como un factor muy importante a la hora de diseñar, eligiendo en algunos casos precipitaciones asociadas a períodos de retorno de 2 años, ya que se debe tener en cuenta el conocimiento de las lluvias intensas de corta duración, las que son muy importante para dimensionar el drenaje urbano, y así evitar inundaciones en los centros poblados. (Pizarro et al., 2005), como así también, para períodos de retornos iguales a 100 años, que estima los caudales máximos que se pueden generar, por ejemplo, en alguna modificación de cauce, de algún proyecto hidráulico.

Ahora bien, existen mapas y estudios que entregan estimaciones sobre las precipitaciones máximas asociadas a algún período de retorno utilizadas en obras de ingeniería, como son los Planes Maestros de Aguas Lluvias (PMALL) de distintas regiones del país, que se pueden obtener en el Ministerio de Obras Públicas (MOP) o como referencia el Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica de la Dirección General de Aguas (DGA), los cuales presentan ecuaciones y factores para determinar precipitaciones máximas, para alguna ciudad o comuna, basados en las curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF), pero existen nuevas herramientas que permiten de forma rápida y más aproximada la estimación de precipitaciones máximas, como será el caso de los procedimientos y mapas que se generarán a continuación.



## **1.1. Objetivos.**

En este estudio se generarán mapas de la distribución espacial de precipitaciones para la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, obtenidos a partir de la aplicación de métodos de interpolación geoestadísticos.

### **1.1.1. Objetivo General.**

- Determinar la distribución espacial de las precipitaciones máximas diarias en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins para diferentes periodos de retorno.

### **1.1.2. Objetivos Específicos.**

- Confeccionar mapas para eventos de 24 horas, con un período de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años, utilizando el método de Kriging Ordinario.(OK)
- Comparar el mapa de precipitaciones generado por la modelación de este estudio con el mapa proporcionado por la DGA para un período de retorno de 10 años.
- Estimar la distribución de precipitaciones en la cuenca del Río Rapel; de manera que se pueda disponer de una base de información estimada acerca de esta variable.

## **1.2. Metodología.**

La metodología utilizada en este trabajo será de la siguiente:

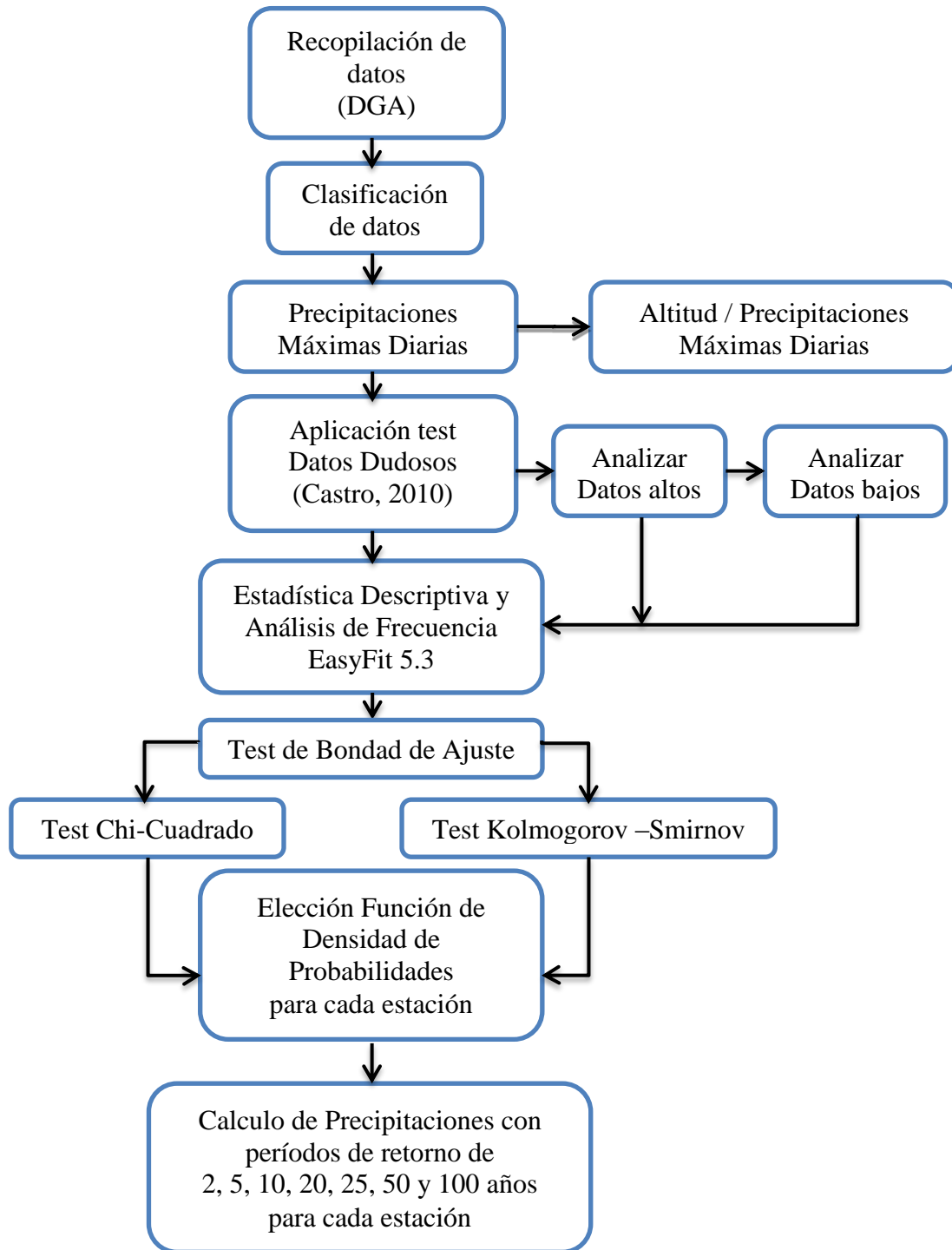
Primero se realiza un tratamiento estadístico de la información recopilada y posteriormente un tratamiento geoestadístico de los datos obtenidos.

Se considera como análisis inicial 18 estaciones de la región de O'Higgins y luego se comparara su error de predicción agregando 12 estaciones de medición pertenecientes a las regiones aledañas.



### 1.2.1. Tratamiento estadístico de la información.

- **Recopilación de la Información:** Se utiliza la información de las precipitaciones máximas diarias de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.
- **Clasificación de los Datos:** De los datos entregados por la DGA se confecciona un registro de las precipitaciones máximas diarias. (Silva, 2013).
- **Precipitaciones Máximas Diarias:** Se crea una hoja de cálculo para las diferentes duraciones analizadas, ordenando las precipitaciones máximas mensuales, para luego calcular las precipitaciones máximas anuales de cada una de las estaciones pluviométricas.
- **Aplicación test datos dudosos:** Se realiza el análisis de los datos dudosos. (Castro, 2010).
- **Estadística Descriptiva y análisis de datos:** Se calculan todos los parámetros estadísticos necesarios con los cuales se pueda elegir la mejor función de distribución para cada estación utilizando el software EasyFit 5.3 (MATHWAVE, 2004), realizando un test de bondad de ajuste Chi-Cuadrado y de Kolmogorov - Smirnov, calculando niveles de confianza, utilizando un nivel de 95% para este estudio. (Santana, 2007). Anexo B.



**Figura 1: Algoritmo para la elaboración de datos.**

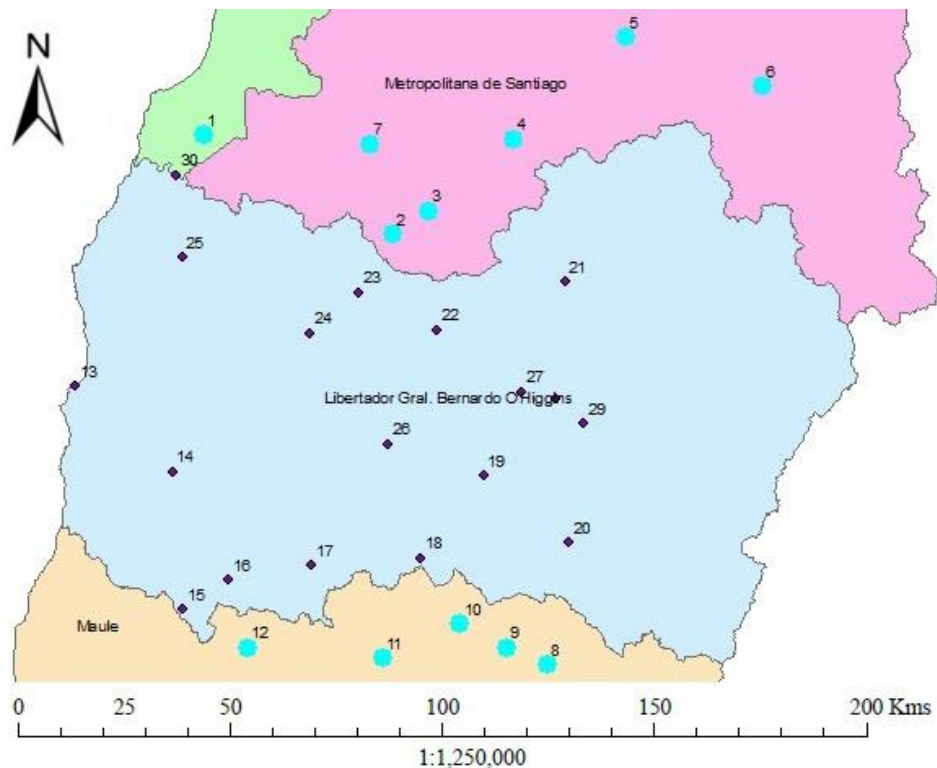
En la Figura 1 se aprecia el algoritmo para la elaboración y preparación de los datos de cada estación que se necesitan para realizar el análisis geoestadístico.

### 1.2.2. Tratamiento Geoestadístico de la información.

Para el tratamiento geoestadístico de la información y generación de mapas se deben realizar los siguientes procedimientos.

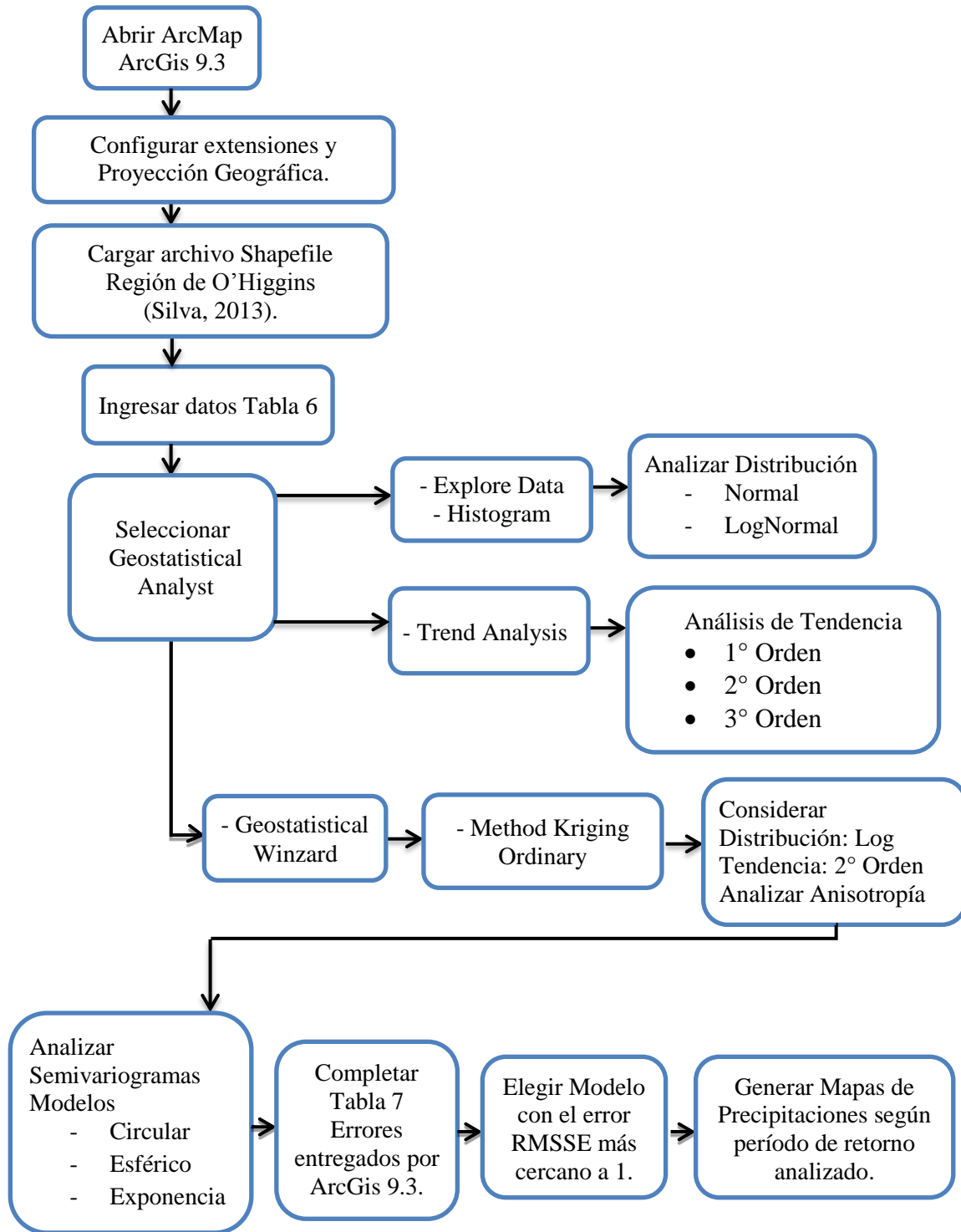
Cabe señalar que en este estudio se variará la forma de obtener el Variograma asociado a cada período de retorno, utilizando el módulo Geostatistical Analyst del software ArcGis 9.3 (ESRI, 2009), con el cual es posible explorar la variabilidad de los datos, examinar tendencias globales e investigar la correlación entre los datos a través de semivariogramas experimentales, además de crear predicciones y calcular sus errores.

Para la primera parte de este análisis se considerarán solo las estaciones que se encuentran en la región de O'Higgins como se muestra en la Figura 2 las que se detallan más adelante.



**Figura 2: Distribución espacial de estaciones. Fuente <http://www.rulamahue.cl/>.**

Las estaciones de color  no se consideran.



**Figura 3: Algoritmo para la elaboración de Mapas.**



## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.**

En el presente capítulo se dan a conocer conceptos y metodologías que serán utilizadas en el estudio de las precipitaciones asociada a distintos periodos de retorno. Con esto se debe buscar una función de distribución de precipitaciones considerando datos obtenidos de distintas estaciones pluviométricas de la región de O'Higgins. Por lo tanto, se debe estudiar la estadística descriptiva de los datos de precipitación y luego realizar un análisis geoestadístico como se indicara a continuación.

### **2.1. Análisis Geoestadístico.**

El análisis geoestadístico es un procedimiento que consta de distintas etapas y se desarrolla de la siguiente manera:

Se comienza con un análisis exploratorio de los datos, basado en técnicas estadísticas convencionales para calcular la distribución de cada variable analizada, identificando valores atípicos y decidir qué hacer con ellos. Estabilizar varianzas si es necesario (transformación logarítmica) y resumir las estadísticas e informar sobre el tratamiento de los valores dudosos y cualquier transformación realizada.

Posterior a esto, la estructura espacial de la variable es examinada con el análisis del variograma (Esférico, Circular, Exponencial, según sea el caso), (Oliver et al., 2014), en el que se busca encontrar el mejor modelo que refleje la correlación espacial de la variable regionalizada a partir de la adopción razonada de la hipótesis más adecuada acerca de su variabilidad, (Geoestadística). Para ello el variograma necesita un mínimo de 100-150 puntos para proporcionar seis a diez estimaciones dentro del alcance efectivo de predicciones esperadas y analizar los errores de cada modelo según (Tabla 1), para luego elegir el mejor modelo que se ajusta a los datos y graficar el variograma experimental.

Por último se generan los mapas de predicciones (mapas kriging o simulaciones), a través del modelo elegido para la distribución espacial de la variable en estudio, con el software ArcGIS 9.3 (ESRI, 2009), por su extensión Geostatistical Analyst.



Además se debe considerar los pasos señalados por Oliver et al., 2014, para la investigación y obtención de un mapa Kriging consistente a través del análisis geoestadístico por medio de mínimos cuadrados.

## **2.2. Estadística Descriptiva.**

Previo a la Geoestadística, se debe realizar un análisis exploratorio de los datos (precipitaciones) que ayuden a elegir la mejor distribución de probabilidades que poseen los datos analizados. (Hinojosa, 2014).

No obstante, las series de datos considerados en este proyecto, serán analizados por el software EasyFit 5.3 (MATHWAVE, 2004), la cual es una aplicación de simulación y análisis de datos que permite tomar muestras de datos y adaptarse a las distribuciones de probabilidad, seleccionar el mejor modelo, y aplicar los resultados del análisis para tomar mejores decisiones.

### **2.2.1. Conceptos Estadísticos.**

Los conceptos estadísticos que se deben considerar para elegir una buena distribución estadística (Chow et al., 1994), son los siguientes:

Ver anexo A.

- Media o promedio aritmético
- Desviación estándar
- Coeficiente de Asimetría
- Mediana
- Moda
- El error estándar de la media:
- Coeficiente de Variación

### **2.2.2. Prueba de datos dudosos:**

En toda serie de datos existen puntos que presentan dudas en su validez. Estos puntos se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. (Castro,



2010), por lo que es necesario realizar pruebas para demostrar su validez dentro de una serie o bien retirarlos.

### **2.2.3. Análisis de Frecuencia.**

Es un procedimiento que se utiliza para estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos pasados o futuros. (Monsalve, 1999), en la cual se prueban modelos de distribución estadísticos, que en primera instancia son los de mejor ajuste al tipo de información utilizada, para este caso, precipitaciones máximas.

### **2.2.4. Distribuciones de Probabilidad.**

Se debe calcular los valores de periodos de retorno asociado a cada estación eligiendo una de las siguientes distribuciones estadísticas que represente los datos analizados mediante pruebas de bondad de ajuste. (Chow, 1994; Castro, 2010).

Ver anexo A.

- Distribución Normal.
- Distribución Log-normal.
- Distribución Gamma.
- Distribución Gumbel Tipo I.
- Distribución Exponencial.

### **2.2.5. Test de Bondad de Ajuste.**

Se entiende por bondad de ajuste, la asimilación de datos observados de una variable, a una función matemática previamente establecida y reconocida., prediciendo el comportamiento de la variable en estudio (Pizarro et al, 1986). Se realiza el test de bondad de ajuste Chi-Cuadrado y de Kolmogorov -Smirnov, ambos con un 95% de nivel de confianza (Santana, 2007; Castro, 2010). Ver anexo A.

### **2.2.6. Períodos de Retorno.**

El período de retorno  $T$  de un evento  $X \geq x_T$  es el valor esperado de  $\Gamma$ ,



E ( $\Gamma$ ), es decir, es el valor promedio de los tiempos “entre ocurrencias”. La probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquier observación es el inverso de su período de retorno. Es decir (Santana, 2007),

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

Este valor se obtiene en función de la distribución de probabilidades elegida según el test de bondad de ajuste analizado, considerando períodos de retorno de  $T = 2, 5, 10, 20, 25, 50$  y  $100$  años.

### **2.3. Geoestadística.**

La Geoestadística es una rama de la estadística aplicada que se especializa en el análisis y la modelación de la variabilidad espacial en ciencias de la tierra.

La palabra geoestadística se compone de dos partes, geo y estadística y se usa con dos acepciones diferentes:

1. Como una colección de todos los métodos estadísticos y probabilísticos aplicados a las geo-ciencias,
2. Como nombre para la teoría de variables regionalizadas.

En sus principios, la geoestadística fue usada por la industria minera, debido a los altos costos que suponían las perforaciones que se hacían, de ahí que el análisis de los datos fuera de suma importancia. De hecho muchos libros y publicaciones sobre geoestadística están en su mayoría orientados a problemas de minería.

#### **2.3.1. Concepto de Análisis Geoestadístico.**

Actualmente, la Geoestadística es un conjunto de técnicas usadas para analizar y predecir valores de una propiedad distribuida en espacio o tiempo, suponiéndose de manera implícita, que dichos valores, están correlacionados unos con otros, es decir, que existe una dependencia espacial, por ende, indica que mientras más cercanos estén situados dos puntos, estos están más correlacionados y por lo tanto mientras más separados hay menos relación entre éstos. En este estudio se utilizará el software ArcGis 9.3(ESRI, 2009), el cual



realiza una interpolación de datos a través del método de los mínimos cuadrados, basado en el análisis geoestadístico.

Matheron G. (1970), pionero de la Geoestadística, usó el término en un contexto geológico para denotar la teoría y los métodos para inferir las reservas de mineral en bruto desde datos espacialmente distribuidos en un bloque (volumen de tierra y roca que puede ser explotado si es suficientemente rico).

En Francia bajo el impulso de Matheron principalmente, emergió antes de 1980 la disciplina Geoestadística como una mezcla de ingeniería en minas, geología, matemática y estadística, que a diferencia de otros enfoques más clásicos, tiene en cuenta la tendencia espacial y la correlación espacial que en terminología minera corresponden a variabilidad espacial en gran escala y en pequeña escala respectivamente.

### **2.3.2. Análisis Estructural.**

Se considera análisis estructural al proceso de selección del modelo geoestadístico, especificando el tipo de hipótesis que se van a hacer sobre la variabilidad del fenómeno en estudio. Además de lo anterior se incluye dentro del análisis estructural la estimación del variograma.

Con frecuencia el término análisis estructural se reserva para esta tarea. Sin embargo, la estimación del variograma está tan ligada a la hipótesis sobre el tipo de variable (estacionaria, intrínseca, no intrínseca), que la separación entre ambos procesos resulta un tanto artificial.

El variograma empírico es una función que mide el cambio en el valor de una variable en relación a los valores de la misma muestra y no está definida para cualquier distancia y no da ninguna garantía de seguir una tendencia. Es por ello que se presentan los modelos de variogramas teóricos para encontrar dicha función. (Funes, 2014).



### 2.3.3. Modelos de Variograma.

#### I. Variograma.

Los Variogramas o semivariogramas son una herramienta que permiten analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida. Son utilizados principalmente para estudios mineros o análisis de componentes en un suelo, pero su utilización puede involucrar cualquier tipo de estudio con datos ubicados espacialmente y con un valor propio asociado a alguna variable. En este caso, se analiza espacialmente la ubicación de las estaciones de medición y como valor propio, la precipitación máxima asociada a un período de retorno determinado.

Los modelos de Variograma, son útiles para estimar el valor del variograma en una distancia  $h$  dada. En la mayoría de las aplicaciones se requiere sin embargo conocer todos los valores de la función variograma o semivariograma. En la práctica, lo que se hace es calcularlo y ajustarlo a algún modelo de semivariograma, ya que la buena elección de este influye en la predicción de los valores desconocidos.

Existen numerosos modelos de variogramas que se utilizan en la geoestadística, siendo los más comúnmente usados el modelo circular, modelo esférico, el modelo exponencial y el modelo gaussiano. (Del Río, 2013).

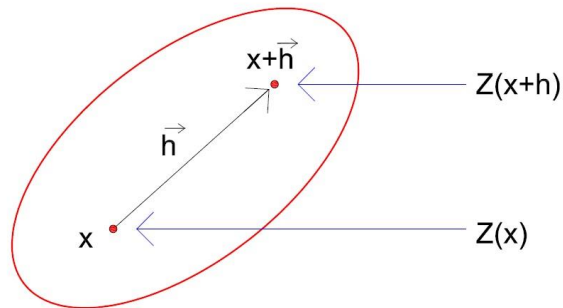
En este estudio solo se ocuparán los siguientes modelos:

- Modelo Circular
- Modelo Esférico
- Modelo Exponencial

No se utilizará el Modelo Gaussiano, ya que en algunos estudios, muestra valores inestables y entrega predicciones extrañas. (Oliver et al., 2014).

El variograma es una función que constituye la herramienta fundamental de la geoestadística, y considera el siguiente esquema.

Sean  $x$  y  $x + h$  dos puntos en el espacio:



**Figura 4: Dos puntos a una distancia vectorial  $h$ .**

La definición teórica de la función variograma  $\gamma(h)$  es la esperanza matemática siguiente:

$$\gamma(\bar{h}) = \frac{1}{2} E[(Z(x + \bar{h}) - Z(\bar{x}))^2]$$

## II. Elementos del variograma.

El ajuste a una función permite extraer una serie de parámetros que suelen ser usados para la interpolación geoestadística (Kriging Ordinario), y que definen el grado y escala de variación espacial. Estos parámetros son:

a) Nugget ( $C_0$ ).

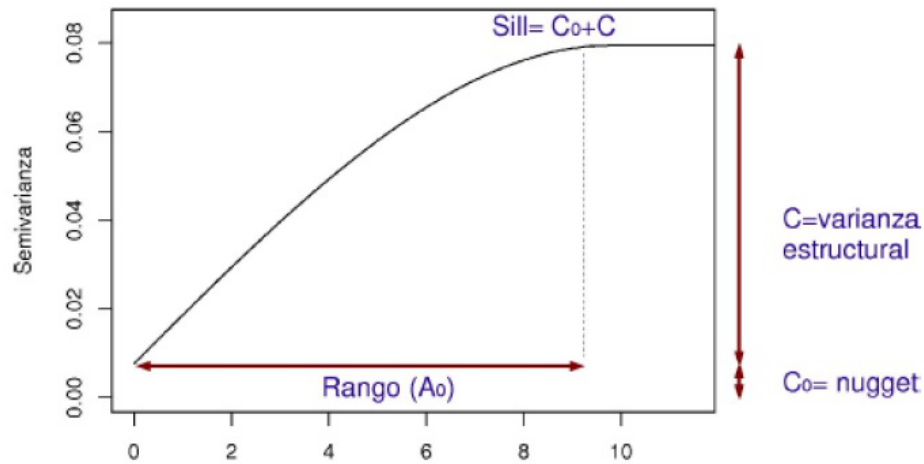
Es una discontinuidad de salto en el origen conocido también como efecto Pepita, representa la discontinuidad en el semivariograma para distancias que sean menores que la menor distancia dada entre los puntos muestrales. (Véliz, 2006).

b) Sill ( $C$ ).

El Sill conocido también como La “Meseta” es el valor máximo que alcanza el semivariograma cuando la variable es estacionaria. (Véliz, 2006).

c) Rango ( $a$ ).

El Rango es la distancia a la cual el variograma se estabiliza, deja de aumentar y las muestras se relacionan espacialmente. (Véliz, 2006).



**Figura 5: Parámetros usados para la interpolación geoestadística.**

### 2.3.4. Método de interpolación.

Los métodos de interpolación son una herramienta necesaria para predecir valores desconocidos de cualquier dato de un punto situado espacialmente, en este caso, precipitaciones.

Actualmente existen muchos métodos de interpolación que se puede utilizar para predecir datos pero para este estudio se utilizara el método Kriging Ordinario.

#### 2.3.4.1. Kriging Ordinario

El método de interpolación Kriging Ordinario es un procedimiento de estadísticas geográficas avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados en una superficie, con valores propios de cada punto. Es un término genérico utilizado para una serie de métodos de mínimos cuadrados que proporcionan las mejores predicciones lineales. (Oliver et al., 2014).

La fórmula general para el interpolador Kriging Ordinario se forma como una suma ponderada de los datos de la siguiente manera:

$$\hat{Z}(S_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot Z(S_i)$$

donde:



- $Z(S_i)$  : valor medido en la ubicación  $i$ .  
 $\lambda_i$  : una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación  $i$ .  
 $S_o$  : ubicación de la predicción.  
 $N$  : cantidad de valores medidos.  
 $\hat{Z}(S_o)$  : valor de predicción.

En otras palabras, utilizar la interpolación mediante Kriging Ordinario, será tan bueno o tan malo como el ajuste previo que hayamos realizado en el modelo del variograma elegido. (Hinojosa, 2014), considerando el error mínimo calculado.

#### 2.3.4.2. Error de Estimación.

La aceptación de un método de estimación será dada por la magnitud de los errores involucrados. En la siguiente tabla se muestran los errores considerados en este estudio para elegir el mejor modelo. ArcGis 9.3 (ESRI, 2009).

**Tabla 1: Errores de Estimación.**

$$\begin{aligned} ME &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z(X_i) - \hat{Z}(X_i)\}^2 && ; && \text{Mean Error} \\ RMSE &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z(X_i) - \hat{Z}(X_i)\}^2} && ; && \text{Root Mean Square Error} \\ ASE &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma^2(X_i)} && ; && \text{Average Standard Error} \\ MSE &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ME}{\sigma^2(X_i)} && ; && \text{Mean Square Error} \\ RMSSE &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{ME}{\sigma^2(X_i)}\right)^2} && ; && \text{Root Mean Square Standardized Error} \end{aligned}$$

Como recomendación se debe considerar lo siguiente:

- En la Tabla 1, se muestran los errores que se calculan a través de ARCGIS, asociado a cada modelo de variograma analizado.
- Se elige como mejor modelo el que presente el error RMSSE más cercano a 1. (Oliver et al., 2014).



c) Para futuros estudios, se debe considerar las siguientes características de los errores analizados.

- $ME \rightarrow 0$ , lo ideal sería que el error medio es cero, el kriging es imparcial, incluso con un modelo mal elegido. Así que el ME es de poca ayuda.
- RMSE y ASE , estos valores deben ser cercanos entre sí.
- $MSE \rightarrow 0$ , el error cuadrático medio (MSE) , el Kriging debe minimizar el MSE, por lo que el MSE es un mejor diagnóstico; pero no va a identificar un modelo "correcto"
- $RMSSE \rightarrow 1$ , El más elocuente de los tres criterios es el RMSSE. Debe ser igual a 1, y así por kriging uno puede elegir el modelo para el que el RMSSE es más cercano a 1

#### 2.4 Aplicación de la Geoestadística en el estudio de precipitaciones.

Varios autores han elaborado estudios relacionados con la aplicación de la Geoestadística en la distribución espacial de las precipitaciones, entre ellos:

**Vargas et al., (2008).** En este trabajo se analizó la distribución de precipitaciones para un período hidrológico desde 1980/1981 al 2000/2001 en la cuenca del río Simpson (subcuenca del río Aysén), ubicada en la X Región en la Patagonia chilena. Dado la reducida cantidad de estaciones el autor propone realizar un análisis Geoestadístico considerando como variable auxiliar en la estimación de la precipitación el relieve topográfico de la cuenca. Finalmente se generó un mapa de Isoyetas con las precipitaciones medias.

**Moral (2009).** Este trabajo consiste en analizar la precipitación mensual y anual medida en 136 estaciones meteorológicas de la Región Extremadura (41.600 km<sup>2</sup>) ubicadas al suroeste de España. Se concluyó que las interpolaciones Geoestadísticas generan algoritmos con predicciones más precisas, además se afirma que si hay información secundaria como la altitud pueden mejorar considerablemente las estimaciones.



**Grimes et al. (2010).** En este trabajo se ofrece una revisión de los métodos Geoestadísticos utilizando interpolación Kriging de precipitaciones registradas en una región de Etiopía.

**Mair et al., (2011).** Este trabajo consiste en comparar las interpolaciones Geoestadísticas para una parte de la isla de Oahu, Hawai (zona montañosa de 280 km<sup>2</sup>), por lo que se consideró 21 estaciones meteorológicas. El estudio tenía un seguimiento de 32 meses (2005 -2008). Se concluyó que la interpolación geoestadística supera a los métodos tradicionales que ignoran el patrón de dependencia espacial, sin embargo, la incorporación de información secundaria, entre ellos la altitud y temperatura, no ayudó mucho a mejorar la precisión, excepto cuando la correlación entre las precipitaciones y la elevación alcanzan los 0.82.

**Ovalle C. (2013).** Este estudio determinó que el modelo IDW (Método de interpolación por la distancia inversa) es el mejor representante de la distribución espacial de la precipitación para la cuenca del Biobío, mientras que para la cuenca del Itata se concluyó que el método del kriging presenta menores errores en relación a la distribución espacial respecto al método IDW.

**Del Río I. (2013).** Contempla el análisis y elaboración de mapas de precipitaciones promedios mensuales para la cuenca del Río Ñuble, para diferentes períodos de retorno. Se utilizaron un total de 24 estaciones pluviométricas distribuidas en 8 estaciones correspondientes a la cuenca del Río Ñuble y 16 estaciones vecinas, correspondientes a la cuenca del Río Itata.

**Silva, F. (2013).** Este estudio abarca el análisis y confección de mapas de la distribución espacial de las precipitaciones máximas diarias de la región de Valparaíso. Se utilizó un registro de 45 estaciones pluviométricas entre los años 1971 hasta 2012. Se determinó que no existía correlación entre las precipitaciones y la altitud para la V región.



**Oliver et al., (2014).** En este estudio, se explica cómo elegir las funciones más adecuadas mediante una combinación de gráficos y diagnósticos estadísticos, realizando pequeños cambios en la función de modelo geoestadístico y sus parámetros, pudiendo afectar estos, la varianzas de error en el kriging.

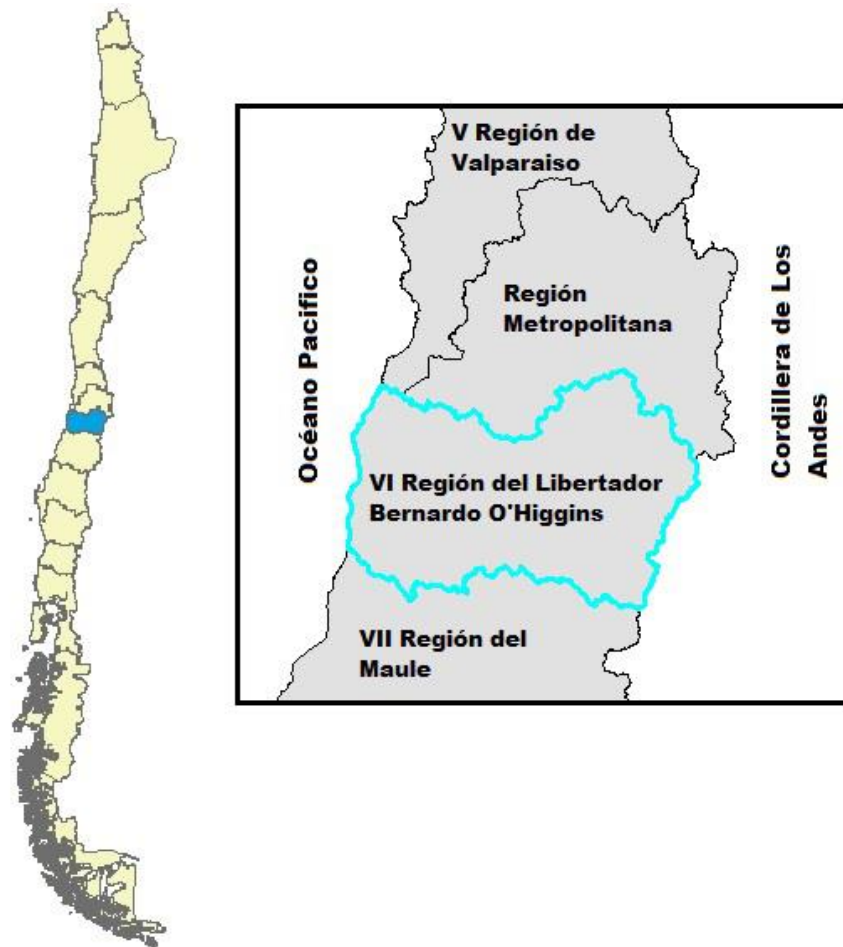
**Hinojosa, M., (2014).** Este estudio abarca el análisis y confección de mapas de la distribución espacial de las precipitaciones máximas diarias de la región del Maule. Se utilizó un registro de 37 estaciones pluviométricas entre los años 1980 hasta 2011. Se determinó que la altitud de la estación y la temperatura en la zona no tienen correlación con la precipitaciones, lo cual se debe a la geografía de la zona, además de la gran distancia entre las estaciones, las cuales no se presentan distribuidas homogéneamente en la región, lo que implica que la altitud y la temperatura no resultan relevantes para la determinación de la distribución de las precipitaciones.



### CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1. Ubicación de la zona de estudio.

La Región del Libertador Bernardo O'Higgins (VI) se localiza en la macrozona central del país, aproximadamente entre los 34° y los 35° de latitud sur. Abarca una superficie de 16.365 km<sup>2</sup>, representando el 2,2% del territorio nacional continental. Sus límites son por el norte la Región Metropolitana de Santiago a los 33°50' latitud sur, y por el sur la Región del Maule a los 34° 45' latitud sur, al oeste con el Océano Pacífico y al este con la Cordillera de Los Andes. (Fuente: <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region6>).



*Figura 6: Ubicación geográfica de la Región del Libertador B. O'Higgins.*

### 3.2. Geografía del área de estudio.

Esta región, la segunda más pequeña del país, que lleva el nombre del principal artífice de la independencia de Chile, constituye una estrecha franja entre la costa y los Andes, por lo que aunque participa de las tres unidades orográficas propias de Chile (Cordillera de la Costa, depresión Intermedia o valle Longitudinal y cordillera andina) sólo lo hace en una pequeña proporción.

Hacia el este, los Andes van perdiendo altura, de tal modo que las cumbres apenas alcanzan los 5.000 m de altitud; destacan el volcán Tinguiririca (4.300 m) y los ríos de El Palomo y El Portillo. El paso entre Chile y Argentina resulta más fácil, destacando el paso de las Damas. (Fuente <http://www.servicioweb.cl>).



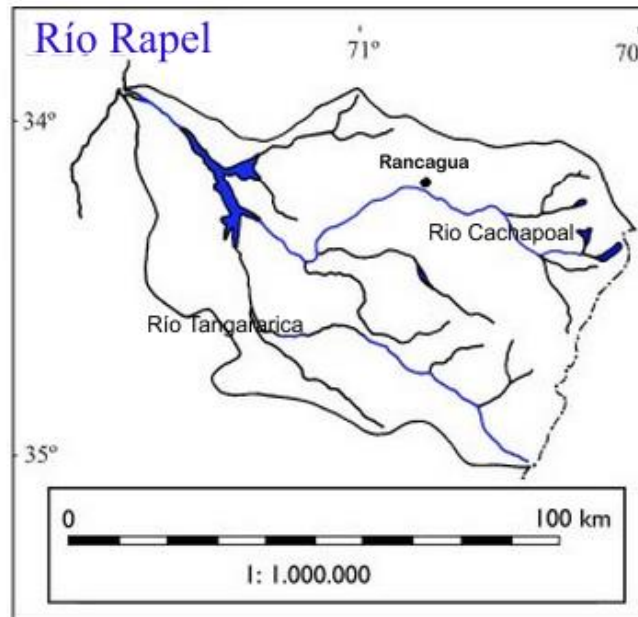
*Figura 7: Relieves, Región de O'Higgins. Fuente [www.mediateca.cl](http://www.mediateca.cl)*

### 3.3. Hidrografía de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

El sistema hidrográfico está constituido por el sistema del río Rapel y sus afluentes más importantes, el río Cachapoal y Tinguiririca; ambos en su confluencia en el sector denominado La Junta dan origen al embalse Rapel. El embalse Rapel posee una capacidad de almacenamiento de 433 millones de metros cúbicos y la central hidroeléctrica tiene una potencia instalada de 350.000 kW. La presencia de este embalse o lago Rapel permite el desarrollo de una intensa actividad turística de balnearios y deportes náuticos.



El aprovechamiento de las aguas del sistema Rapel–Cachapoal– Tinguiririca se basa en el riego, la producción de energía eléctrica, la industria, la minería y el consumo por parte de la población. (Fuente <http://www.servicioweb.cl>).



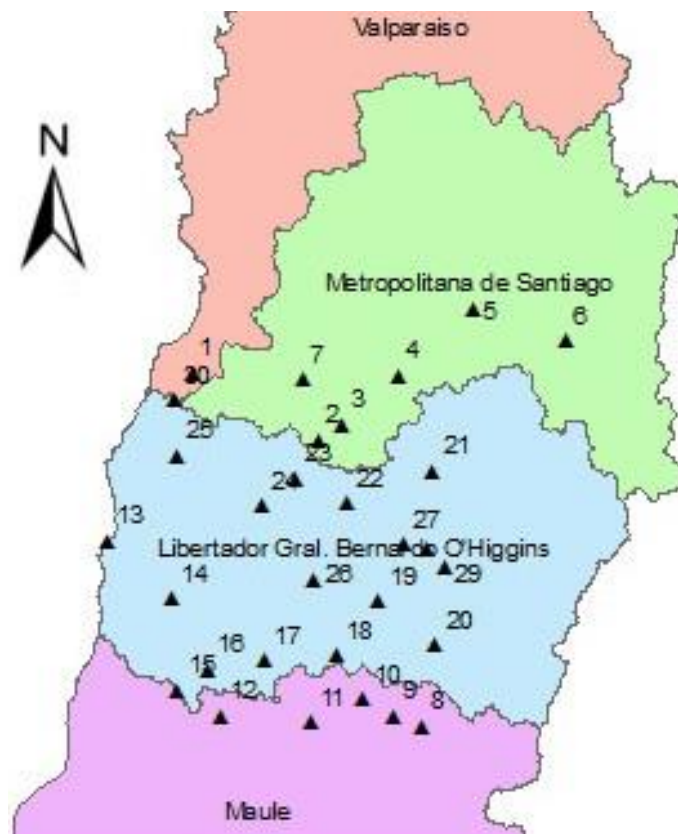
*Figura 8: Cuenca del Río Rapel y sus afluentes. Fuente [ww2.educarchile.cl](http://ww2.educarchile.cl)*

### **3.4. Clima de la zona de estudio.**

El clima predominante corresponde al Clima templado Mediterráneo, el cual presenta variaciones por efecto de la topografía local. En la costa se presenta nuboso, mientras que hacia el interior debido a la sequedad presenta fuertes contrastes térmicos. En el litoral, que recibe la influencia oceánica predomina el clima Templado Nuboso, caracterizado por una mayor humedad y abundante nubosidad. En el sector de la Depresión Intermedia predomina un clima Templado de tipo Mediterráneo Cálido con una estación seca de seis meses y un invierno lluvioso. Las precipitaciones son mayores en la costa y en la Cordillera de los Andes, debido al relieve que no deja entrada a los vientos húmedos oceánicos.

### 3.5. Descripción de las estaciones.

En una primera instancia, se consideran 18 estaciones ubicadas en la región de O'Higgins y se realiza el Análisis Estadístico y Geoestadístico, según corresponda. Posteriormente, se agregan 12 estaciones de medición que se encuentran en las regiones aledañas, para analizar si existe un aumento o disminución en el error asociado a la predicción de las precipitaciones para los distintos períodos de retorno, dando un total de 30 estaciones con información a utilizar. La ubicación de estas estaciones es proporcionada por la Dirección General de Aguas (DGA), en el siguiente enlace: <http://www.dga.cl/> - Mapas interactivos DGA y datos de precipitaciones obtenidos de la página <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>.



*Figura 9: Distribución de las estaciones pluviométricas analizadas. Fuente DGA.*



En la Tabla 2, se muestran las estaciones analizadas y las ubicaciones de estas en las regiones señaladas en la Figura 9.

**Tabla 2: Estaciones pluviométricas.**

N°	NOMBRE DE ESTACIÓN	ALTITUD (MSNM)	UTM Norte (mts)	UTM Este (mts)	REGIÓN
1	FUNDO LAS DOS PUERTAS	24	6249870	253631	VALPARAISO
2	BARRERA LONCHA	144	6226383	298056	METROPOLITANA
3	VILLA ALHUE	197	6231926	306637	METROPOLITANA
4	LAGUNA ACULEO	360	6248857	326365	METROPOLITANA
5	PIRQUE	659	6272845	352877	METROPOLITANA
6	SAN GABRIEL	1266	6261211	385240	METROPOLITANA
7	LOS GUINDOS	125	6247629	292770	METROPOLITANA
8	LOS QUEÑES	663	6125303	334641	MAULE
9	EL MANZANO	574	6129282	324902	MAULE
10	SANTA SUSANA	410	6134832	314055	MAULE
11	CURICO	195	6126706	295877	MAULE
12	LA PALMA	120	6129233	263886	MAULE
13	PICHILEMU	5	6190747	223547	O'HIGGINS
14	NILAHUE BARAHONA	90	6170642	246317	O'HIGGINS
15	RANGUILI	120	6138296	248732	O'HIGGINS
16	EL MEMBRILLO	110	6145308	259503	O'HIGGINS
17	LA CANDELARIA	213	6148544	279084	O'HIGGINS
18	CONVENTO VIEJO	239	6150390	304786	O'HIGGINS
19	SAN FERNANDO	350	6169677	319466	O'HIGGINS
20	LA RUFINA	743	6154023	339617	O'HIGGINS
21	RANCAGUA (CACHAPOAL - DCP)	515	6215240	338660	O'HIGGINS
22	COLTAUCO	253	6203948	308542	O'HIGGINS
23	COCALAN	120	6212896	290252	O'HIGGINS
24	PICHIDEGUA	110	6203317	278543	O'HIGGINS
25	LITUECHE	250	6221061	248584	O'HIGGINS
26	MILLAHUE	200	6177194	296947	O'HIGGINS
27	RENGO	310	6189449	328455	O'HIGGINS
28	POPETA	480	6187899	336501	O'HIGGINS
29	CENTRAL LAS NIEVES	700	6181879	343037	O'HIGGINS
30	RAPEL	16	6240424	247349	O'HIGGINS



### 3.6. Recopilación de la información de las precipitaciones.

En la Tabla 3 que se muestra a continuación, se observan los datos históricos proporcionados por la DGA y los respectivos datos utilizados en este estudio.

**Tabla 3: Registro histórico de cada estación proporcionada por la DGA.**

N°	NOMBRE DE ESTACIÓN	REGISTRO DGA				REGISTRO DGA CONSIDERADO			
		DESDE	HASTA	FALTA	N° AÑOS	DESDE	HASTA	FALTA	N° AÑOS
1	FUNDO LAS DOS PUERTAS	1990	2014	0	25	1990	2014	6	25
2	BARRERA LONCHA	1984	2014	0	31	1984	2014	0	31
3	VILLA ALHUE	1979	2014	0	36	1984	2014	0	31
4	LAGUNA ACULEO	1989	2014	2	26	1984	2014	0	31
5	PIRQUE	1973	2014	0	42	1984	2014	0	31
6	SAN GABRIEL	1978	2014	0	37	1984	2014	0	31
7	LOS GUINDOS	1989	2014	0	26	1989	2014	4	26
8	LOS QUEÑES	1978	2014	0	37	1984	2014	0	31
9	EL MANZANO	1977	2014	0	38	1984	2014	0	31
10	SANTA SUSANA	1985	2014	0	30	1985	2014	1	30
11	CURICO	1977	2014	0	38	1984	2014	0	31
12	LA PALMA	1980	2014	2	35	1984	2014	0	31
13	PICHILEMU	1980	2014	0	35	1984	2014	0	31
14	NILAHUE BARAHONA	1981	2014	0	34	1984	2014	0	31
15	RANGUILI	1981	2014	0	34	1984	2014	0	31
16	EL MEMBRILLO	1981	2014	0	34	1984	2014	0	31
17	LA CANDELARIA	1974	2014	0	41	1984	2014	0	31
18	CONVENTO VIEJO	1971	2014	0	44	1984	2014	0	31
19	SAN FERNANDO	1977	2014	0	38	1984	2014	0	31
20	LA RUFINA	1970	2014	0	45	1984	2014	0	31
21	RANCAGUA (CACHAPOAL - DCP)	1979	2014	0	36	1984	2014	0	31
22	COLTAUCO	1979	2014	0	36	1984	2014	0	31
23	COCALAN	1979	2014	0	36	1984	2014	0	31
24	PICHIDEGUA	1978	2014	0	37	1984	2014	0	31
25	LITUECHE	1979	2014	0	36	1984	2014	0	31
26	MILLAHUE	1978	2014	0	37	1984	2014	0	31
27	RENGO	1978	2014	0	37	1984	2014	0	31
28	POPETA	1978	2014	0	37	1984	2014	0	31
29	CENTRAL LAS NIEVES	1970	2005	3	36	1984	2005	0	22
30	RAPEL	1940	2013	0	74	1984	2013	1	30



## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de la recolección de datos de precipitaciones se procede a realizar el análisis estadístico utilizando el software EasyFit 5.3, obteniendo como resultados los valores señalados en la Figura 1. El resto de los resultados están en el Anexo B.

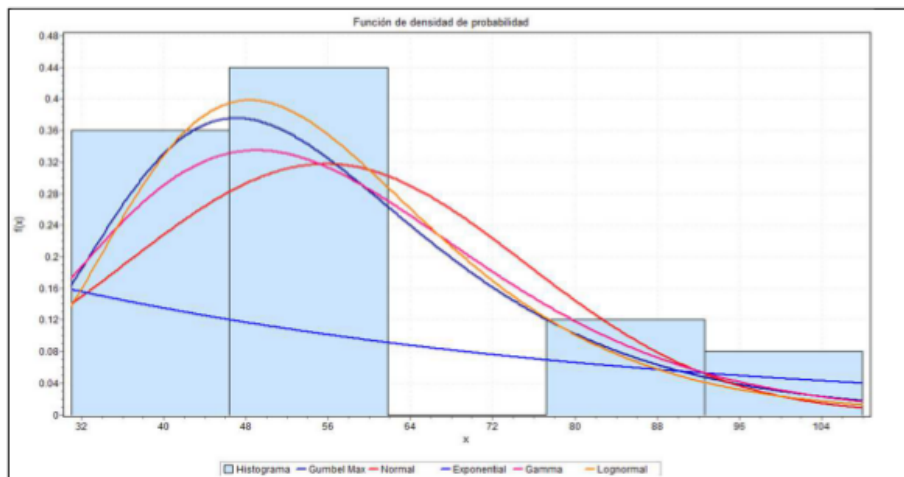
### FUNDO LAS DOS PUERTAS

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25	Min	31
Rango	77	5%	31.6
Media	55.74	10%	37.2
Varianza	374.5	25%(Q1)	44
Desviación estándar	19.35	50%(Mediana)	50
Cof. de variación	0.347	75%(Q3)	57
Error estándar	3.87	90%	91.6
Asimetría	1.377	95%	103.8
Curtosis	1.33	Max	108

Resultados de ajuste			
#	Distribución	Parámetros	
1	Exponencial	$\lambda = 0.02$	
2	Gamma	$\alpha = 8.296$	$\beta = 6.72$
3	Gumbel Max	$\sigma = 15.088$	$\omega = 47.03$
4	Lognormal	$\sigma = 0.304$	$\omega = 3.97$
5	Normal	$\sigma = 19.352$	$\omega = 55.74$

Gumbel Max [#3]						
<b>Kolmogorov-Smirnov</b>						
Tamaño de la muestra	25					
Estadística	0.193					
Valor P	0.271					
Rango	1					
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	
Valor crítico	0.21	0.24	0.26	0.30	0.32	
Rechazar?	No	No	No	No	No	
<b>Chi-cuadrado</b>						
Grados de libertad	2					
Estadística	4.89					
Valor P	0.087					
Rango	1					
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	
Valor crítico	3.22	4.61	5.99	7.82	9.21	
Rechazar?	Si	Si	No	No	No	

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Kolmogorov Smirnov		Chi-cuadrado	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
3	Gumbel Max	0.193	1	4.893	1
4	Lognormal	0.196	2	5.683	2
2	Gamma	0.218	3	6.347	3
5	Normal	0.264	4	6.572	4
1	Exponencial	0.432	5	12.290	5



Precipitaciones Máximas							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.5	0.5	39	54	53	53	56
5	0.2	0.8	90	71	70	69	72
10	0.1	0.9	128	82	81	78	81
20	0.05	0.95	167	91	92	88	88
25	0.04	0.96	179	94	95	90	90
50	0.02	0.98	218	102	106	99	95
100	0.01	0.99	257	110	116	108	101

Figura 10: Resumen estadístico de la estación Fundo Las Dos Puertas.



La Tabla 4, muestra el resumen de los valores de las precipitaciones máximas obtenidas para cada período de retorno, además de la distribución de probabilidades considerada para cada estación, según la metodología y algoritmo señalado en la Figura 1

**Tabla 4: Distribución y Precipitaciones para cada período de retorno.**

N°	NOMBRE DE ESTACIÓN	DISTRIBUCIÓN	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)						
			T=2	T=5	T=10	T=20	T=25	T=50	T=100
1	FUNDO LAS DOS PUERTAS	Gumbel	53	70	81	92	95	106	116
2	BARRERA LONCHA	Log Normal	58	86	105	124	130	150	170
3	VILLA ALHUE	Normal	70	96	110	122	125	135	144
4	LAGUNA ACULEO	Normal	73	109	128	143	148	161	172
5	PIRQUE	Gamma	57	76	88	99	102	112	121
6	SAN GABRIEL	Gumbel	63	82	94	106	110	122	133
7	LOS GUINDOS	Gamma	69	96	113	128	133	147	160
8	LOS QUEÑES	Normal	103	129	143	154	157	166	175
9	EL MANZANO	Log Normal	107	137	155	172	177	194	209
10	SANTA SUSANA	Normal	76	94	104	112	114	121	127
11	CURICO	Log Normal	59	76	87	97	101	110	120
12	LA PALMA	Gumbel	55	69	79	88	91	100	109
13	PICHILEMU	Normal	57	72	79	86	87	93	97
14	NILAHUE BARAHONA	Gamma	56	73	82	91	93	101	108
15	RANGUILI	Gamma	68	85	95	103	106	114	121
16	EL MEMBRILLO	Normal	67	81	89	95	97	102	107
17	LA CANDELARIA	Gumbel	73	99	116	132	137	153	169
18	CONVENTO VIEJO	Normal	72	90	99	107	109	116	121
19	SAN FERNANDO	Gumbel	77	109	130	150	157	176	196
20	LA RUFINA	Gumbel	98	127	146	164	170	188	206
21	RANCAGUA (CACHAPOAL - DCP)	Normal	53	70	78	86	88	94	99
22	COLTAUCO	Normal	88	122	139	154	158	171	181
23	COCALAN	Normal	55	72	80	87	89	95	100
24	PICHIDEGUA	Gumbel	59	80	94	108	112	126	139
25	LITUECHE	Gamma	87	123	145	165	171	189	207
26	MILLAHUE	Gamma	82	104	117	128	132	142	152
27	RENGO	Log Normal	50	72	87	101	106	121	136
28	POPETA	Gumbel	50	63	72	80	82	91	98
29	CENTRAL LAS NIEVES	Normal	89	110	121	131	133	141	148
30	RAPEL	Gamma	66	90	104	117	121	132	143



**Tabla 5: Resumen de 30 estaciones con datos a utilizar en ArcGis 9.3.**

N°	NOMBRE DE ESTACIÓN	UTM Norte (mts)	UTM Este (mts)	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)						
				T=2	T=5	T=10	T=20	T=25	T=50	T=100
1	FUNDO LAS DOS PUERTAS	6249870	253631	53	70	81	92	95	106	116
2	BARRERA LONCHA	6226383	298056	58	86	105	124	130	150	170
3	VILLA ALHUE	6231926	306637	70	96	110	122	125	135	144
4	LAGUNA ACULEO	6248857	326365	73	109	128	143	148	161	172
5	PIRQUE	6272845	352877	57	76	88	99	102	112	121
6	SAN GABRIEL	6261211	385240	63	82	94	106	110	122	133
7	LOS GUINDOS	6247629	292770	69	96	113	128	133	147	160
8	LOS QUEÑES	6125303	334641	103	129	143	154	157	166	175
9	EL MANZANO	6129282	324902	107	137	155	172	177	194	209
10	SANTA SUSANA	6134832	314055	76	94	104	112	114	121	127
11	CURICO	6126706	295877	59	76	87	97	101	110	120
12	LA PALMA	6129233	263886	55	69	79	88	91	100	109
13	PICHILEMU	6190747	223547	57	72	79	86	87	93	97
14	NILAHUE BARAHONA	6170642	246317	56	73	82	91	93	101	108
15	RANGUILI	6138296	248732	68	85	95	103	106	114	121
16	EL MEMBRILLO	6145308	259503	67	81	89	95	97	102	107
17	LA CANDELARIA	6148544	279084	73	99	116	132	137	153	169
18	CONVENTO VIEJO	6150390	304786	72	90	99	107	109	116	121
19	SAN FERNANDO	6169677	319466	77	109	130	150	157	176	196
20	LA RUFINA	6154023	339617	98	127	146	164	170	188	206
21	RANCAGUA (CACHAPOAL - DCP)	6215240	338660	53	70	78	86	88	94	99
22	COLTAUCO	6203948	308542	88	122	139	154	158	171	181
23	COCALAN	6212896	290252	55	72	80	87	89	95	100
24	PICHIDEGUA	6203317	278543	59	80	94	108	112	126	139
25	LITUECHE	6221061	248584	87	123	145	165	171	189	207
26	MILLAHUE	6177194	296947	82	104	117	128	132	142	152
27	RENGO	6189449	328455	50	72	87	101	106	121	136
28	POPETA	6187899	336501	50	63	72	80	82	91	98
29	CENTRAL LAS NIEVES	6181879	343037	89	110	121	131	133	141	148
30	RAPEL	6240424	247349	66	90	104	117	121	132	143

La Tabla 5, muestra los valores de las precipitaciones máximas y las coordenadas geográficas necesarias para poder utilizar el software ArcGis 9.3.



La Tabla 6, muestra las coordenadas y precipitaciones, para los distintos periodos de retorno, de cada estación ubicadas en la región de O'Higgins, las cuales deben ser ingresadas a ArcGis 9.3 (ESRI, 2009), y realizar el procedimiento según el algoritmo señalado en la Figura 3. (Silva, 2013; Hinojosa, 2014).

**Tabla 6: Resumen de 18 estaciones con datos ingresados a ArcGis 9.3.**

N°	NOMBRE DE ESTACIÓN	UTM Norte (mts)	UTM Este (mts)	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)						
				T=2	T=5	T=10	T=20	T=25	T=50	T=100
13	PICHILEMU	6190747	223547	57	72	79	86	87	93	97
14	NILAHUE BARAHONA	6170642	246317	56	73	82	91	93	101	108
15	RANGUILI	6138296	248732	68	85	95	103	106	114	121
16	EL MEMBRILLO	6145308	259503	67	81	89	95	97	102	107
17	LA CANDELARIA	6148544	279084	73	99	116	132	137	153	169
18	CONVENTO VIEJO	6150390	304786	72	90	99	107	109	116	121
19	SAN FERNANDO	6169677	319466	77	109	130	150	157	176	196
20	LA RUFINA	6154023	339617	98	127	146	164	170	188	206
21	RANCAGUA (CACHAPOAL - DCP)	6215240	338660	53	70	78	86	88	94	99
22	COLTAUCO	6203948	308542	88	122	139	154	158	171	181
23	COCALAN	6212896	290252	55	72	80	87	89	95	100
24	PICHIDEGUA	6203317	278543	59	80	94	108	112	126	139
25	LITUECHE	6221061	248584	87	123	145	165	171	189	207
26	MILLAHUE	6177194	296947	82	104	117	128	132	142	152
27	RENGO	6189449	328455	50	72	87	101	106	121	136
28	POPETA	6187899	336501	50	63	72	80	82	91	98
29	CENTRAL LAS NIEVES	6181879	343037	89	110	121	131	133	141	148
30	RAPEL	6240424	247349	66	90	104	117	121	132	143

#### 4.1. Análisis de Errores.

Como se mencionó en el procedimiento, se analiza el comportamiento de los datos de las estaciones que se encuentran dentro de la región, Tabla 6, obteniendo los siguientes valores para generar la Tabla 1, necesarios para elegir el mejor modelo geoestadístico asociado a cada período de retorno estudiado. Entonces para las 18 estaciones se tiene:



**Tabla 7: Errores de Estimación para 18 estaciones.**

T años	Model	MEAN	ROOT-MEAN-SQUARE	AVERAGE STANDARD ERROR	MEAN STANDARDIZED	ROOT-MEAN-SQUARE STANDARDIZED
2	Circular	0.730	16.920	13.780	-0.0459	1.212
	Esférico	0.621	17.010	13.700	-0.0515	1.218
	Exponencial	0.763	16.900	13.750	-0.0446	1.212
5	Circular	2.339	26.210	19.420	-0.0220	1.302
	Esférico	2.493	25.920	19.380	-0.0148	1.290
	Exponencial	1.517	25.660	19.190	-0.0602	1.304
10	Circular	2.115	31.500	22.490	-0.0773	1.352
	Esférico	2.069	31.110	22.370	-0.0773	1.337
	Exponencial	1.563	32.020	22.390	-0.1069	1.375
20	Circular	1.904	36.540	25.670	-0.1031	1.355
	Esférico	1.898	36.270	25.580	-0.1019	1.346
	Exponencial	2.196	36.500	25.830	-0.0902	1.359
25	Circular	1.839	38.000	26.960	-0.10920	1.345
	Esférico	1.851	37.770	26.890	-0.10740	1.338
	Exponencial	2.721	39.170	27.170	-0.0829	1.386
50	Circular	2.295	42.700	30.370	-0.1039	1.343
	Esférico	2.315	42.560	30.320	-0.1024	1.340
	Exponencial	2.642	39.350	26.840	-0.0531	1.394
100	Circular	5.159	44.940	34.130	-0.0020	1.251
	Esférico	3.053	48.330	34.580	-0.0939	1.337
	Exponencial	3.165	44.180	32.030	-0.0470	1.312

En la Tabla 7 se puede apreciar que el modelo que más se ajusta a los datos es el Esférico, ya que en 5 de los 7 períodos de retorno se opta por este modelo. Además se puede observar, que para ninguno de los casos se considera el modelo Exponencial.

Además se puede observar que los errores para cada periodo de retorno son muy parecidos mostrando diferencia partir del segundo dígito, dando la libertad de elegir cualquiera de los modelos analizados. Esta similitud puede estar influenciada por la poca cantidad de datos analizados en la región.

Ahora se procede a rellenar la Tabla 1, considerando el registro total de 30 estaciones de las cuales 12, provienen de las regiones aledañas. Así se tiene:



**Tabla 8: Errores de Estimación para 30 estaciones.**

T años	Model	MEAN	ROOT-MEAN-SQUARE	AVERAGE STANDARD ERROR	MEAN STANDARDIZED	ROOT-MEAN-SQUARE STANDARDIZED
2	Circular	0.039	13.080	13.320	-0.0367	1.012
	Esférico	-0.028	13.040	13.320	-0.0407	1.008
	Exponencial	-0.019	13.420	13.470	-0.0428	1.039
5	Circular	-0.230	19.160	18.590	-0.0595	1.056
	Esférico	-0.212	19.240	18.650	-0.0582	1.059
	Exponencial	0.032	19.370	18.830	-0.0458	1.067
10	Circular	-0.338	23.280	21.890	-0.0685	1.095
	Esférico	-0.346	23.500	21.960	-0.0698	1.102
	Exponencial	0.001	23.470	22.140	-0.0571	1.103
20	Circular	0.812	27.080	25.380	-0.0143	1.089
	Esférico	0.822	27.090	25.400	-0.0140	1.088
	Exponencial	0.772	27.280	25.420	-0.0206	1.100
25	Circular	0.501	27.900	26.500	-0.02734	1.081
	Esférico	0.492	29.690	26.330	-0.04061	1.136
	Exponencial	0.429	29.000	25.530	-0.0377	1.130
50	Circular	0.346	32.970	29.290	-0.0479	1.134
	Esférico	-0.212	32.790	29.120	-0.0679	1.129
	Exponencial	0.406	32.520	28.560	-0.0436	1.142
100	Circular	-0.168	36.580	32.670	-0.0675	1.124
	Esférico	-0.573	36.410	32.510	-0.0807	1.126
	Exponencial	0.399	36.500	32.090	-0.0502	1.155

En la Tabla 8, se puede apreciar que hubo una disminución en el error de las predicciones comparando los datos de la Tabla 7. Por ejemplo, el valor más evidente es el período de retorno de 5 años, que para el primer cálculo (18 estaciones) el Error RMSSE varía entre 1.290-1.304, y luego considerando un aumento de 12 estaciones, el error RMSSE varía entre 1.056-1.067, mejorando considerablemente la predicción, acercando su valor de manera aproximada a 1, según las recomendaciones de la Tabla 1 (Oliver et al., 2014).

Además se puede apreciar que el modelo que más se repite para los datos de la Tabla 8, es el modelo Circular, con 4 de los 7 períodos de retorno analizados y se considera el modelo Esférico para los 3 períodos restantes con un error mínimo de 1.008 para T=2



años, siendo este la modelación que más se acerca a los valores reales, el cual se puede apreciar entre la diferencia del Error Root-Mean-Square igual a 13.04 y el Error Average Standard Error 13.320, los cuales son muy cercanos e indican un buen error, tal como se indica en el punto 2.3.4.2. Error de Estimación.

Con la Tabla 7 y Tabla 8, se puede confirmar que para una mayor cantidad de datos analizado, existe una reducción del error, entregando predicciones más aproximadas a los valores reales.

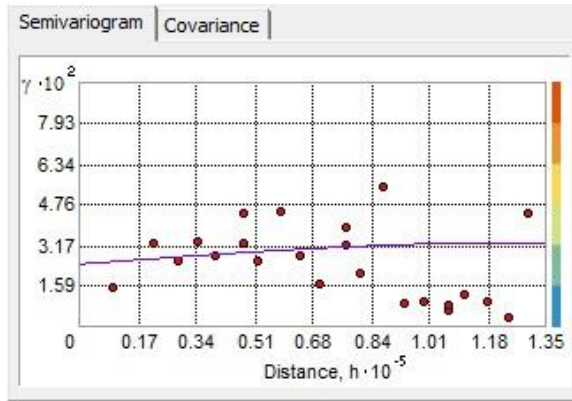
Por lo tanto, para la confección de los mapas de precipitaciones se considera la Tabla 5 como datos de entrada y la Tabla 9 como modelación de los datos, la que se resume de la siguiente manera, indicando algunos parámetros importantes del semivariograma. Cabe mencionar que el modelo que más se ajusta a los datos analizados es el Circular teniendo gran peso en los dos análisis. (Tabla 7 y Tabla 8).

#### 4.2. Modelos de Semivariogramas.

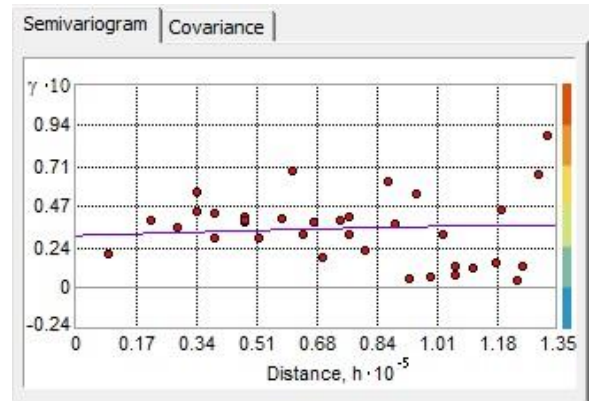
En la siguiente tabla se observa el resumen de los modelos que se ajusta a los datos analizados por el software ArcGis 9.3 y luego los distintos gráficos asociados a cada periodo de retorno.

**Tabla 9: Modelos de Semivariogramas y sus parámetros.**

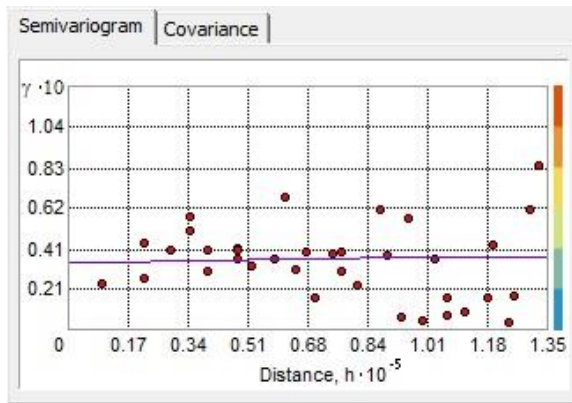
T años	Model	ROOT-MEAN-SQUARE STANDARDIZED	Nugget	Sill	Rango
2	Esférico	1.008	0.0243	0.0085	128384.3
5	Circular	1.056	0.0301	0.0060	128384.3
10	Circular	1.095	0.0339	0.0034	128384.3
20	Esférico	1.088	0.0373	0.0013	128384.3
25	Circular	1.081	0.0387	0.0008	128384.3
50	Esférico	1.129	0.0378	0.0038	128384.3
100	Circular	1.124	0.0408	0.0042	128384.3



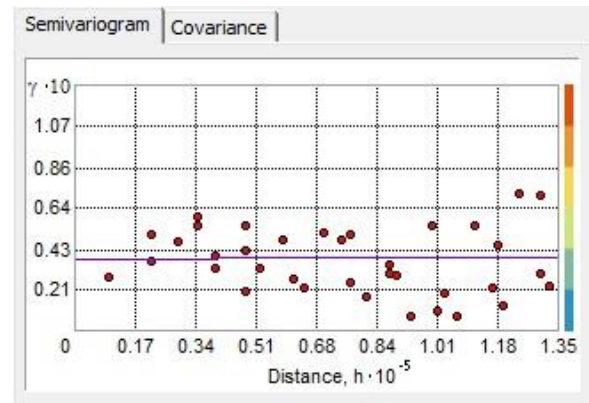
*Modelo Esférico, período  $T=2$  años.*



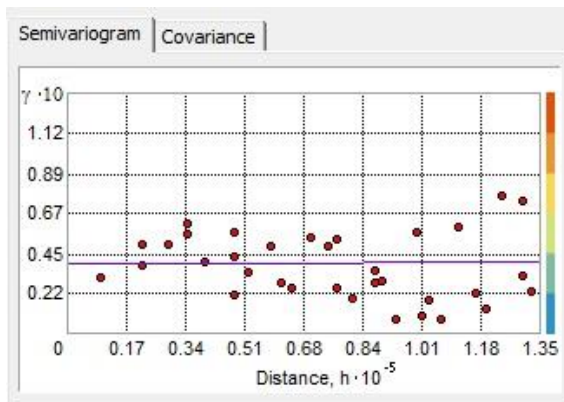
*Modelo Circular, período  $T=5$  años.*



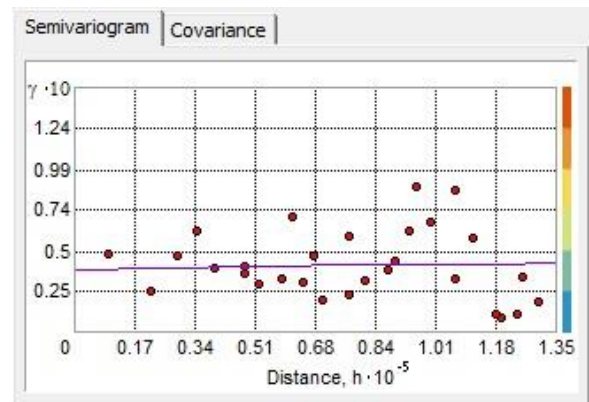
*Modelo Circular, período  $T=10$  años.*



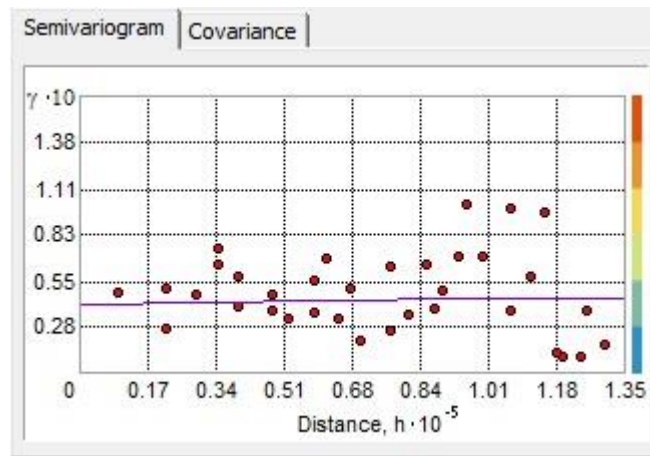
*Modelo Esférico, período  $T=20$  años.*



*Modelo Circular, período  $T=25$  años.*



*Modelo Esférico, período  $T=50$  años.*



*Modelo Circular, período  $T=100$  años.*

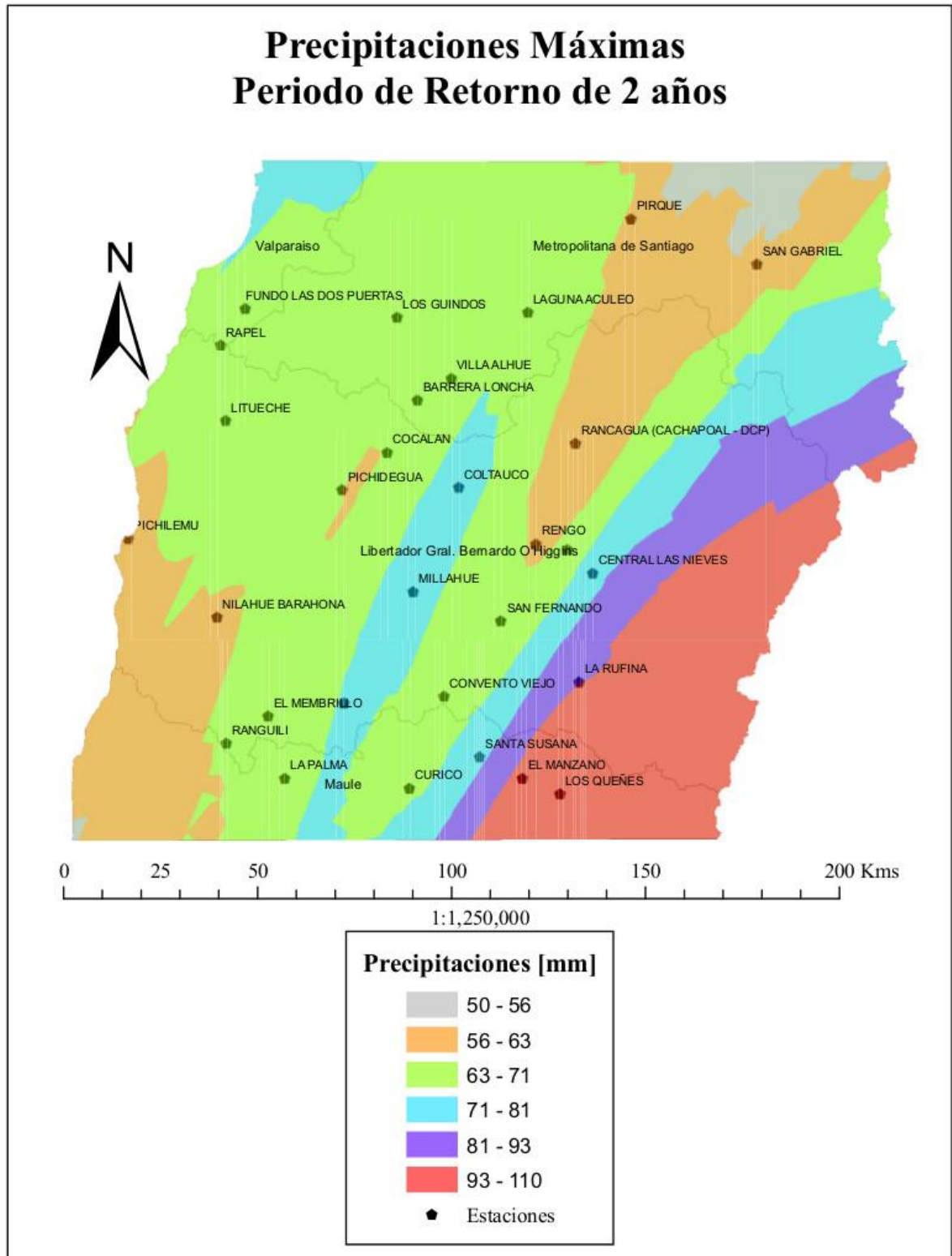
**Figura 11: Semivariogramas para distintos períodos de retorno.**

En las imágenes que conforman la Figura 11, se puede observar los 7 semivariogramas realizados con Arcgis 9.3, de los cuales, en la Tabla 9 se entregan sus parámetros y modelos a utilizar para generar los mapas de precipitaciones deseados. Cabe destacar que el semivariograma empírico para un período de retorno de 2 años, tiende a parecerse a un modelo Esférico, lográndose observar alguna la similitud con la Figura 2, anteriormente señalada.

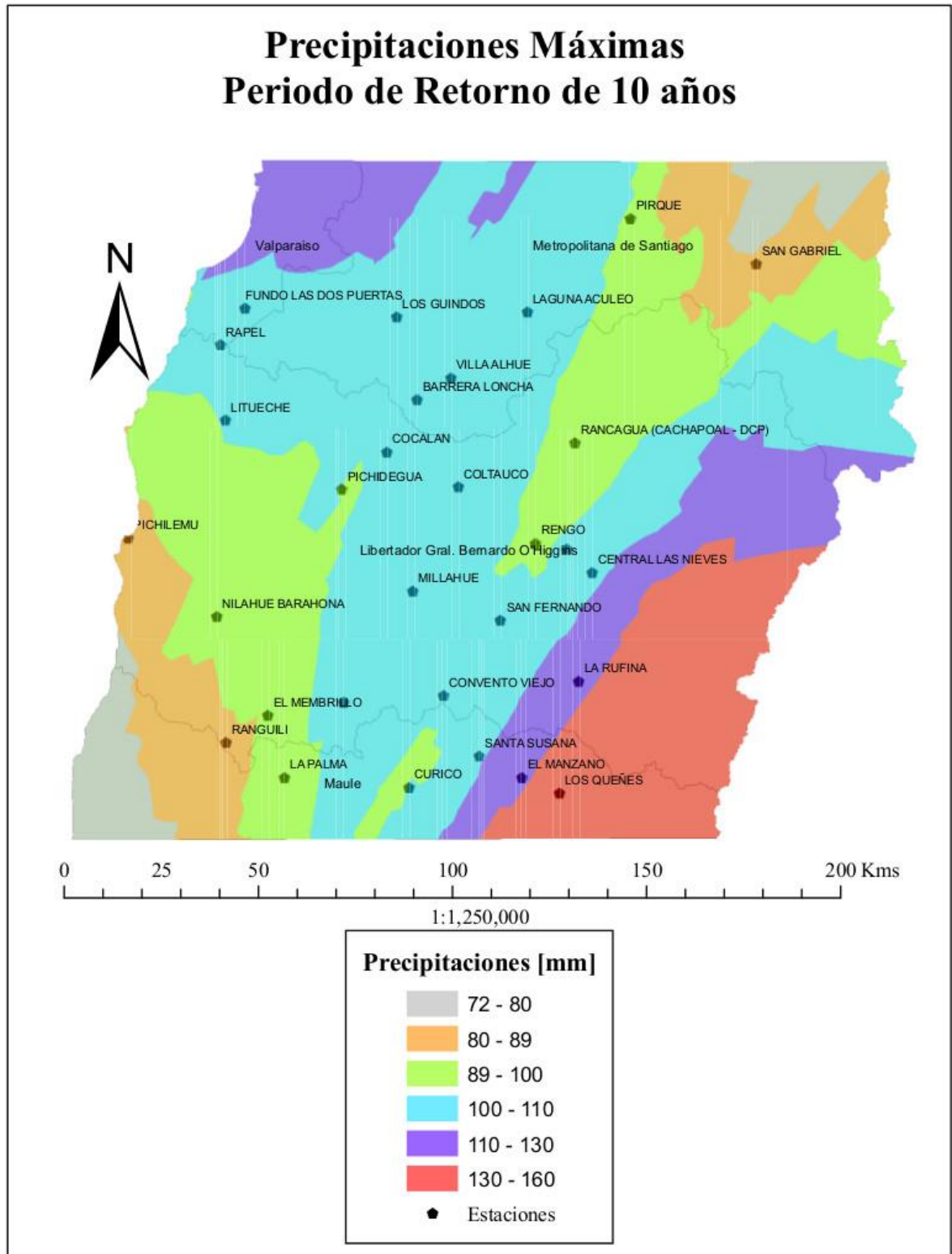
### **4.3. Confección de Mapas de Precipitaciones.**

Ahora que se tienen todos los modelos asociados a cada período de retorno, se procede a generar los mapas de precipitaciones máximas para 24 horas que se desean encontrar, Ver Anexo C. Para más información sobre el uso de Arcgis, consultar Silva, 2013 o la bibliografía adjunta.

En la Figura 12, se puede apreciar el Mapa de Precipitaciones Máximas de 24 horas asociada a un Período de Retorno  $T=2$  años, utilizando el Método de Kriging Ordinario y el Modelo Esférico como se indica en la Tabla 9. En la Figura 13, se muestra uno de los mapas más importantes del estudio, ya que se desea, dentro de los objetivos, comparar el mapa de precipitaciones asociado a un periodo de retorno de 10 años generado en el proyecto con el mapa de precipitaciones entregado por la DGA. Anexo D.



*Figura 12: Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para T=2 años.*



**Figura 13:** Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para  $T=10$  años.



#### 4.4. Comparación Mapa Modelación v/s Mapa DGA para T=10 años.

Se desea comparar el mapa de precipitaciones generado por la modelación de este estudio con el mapa proporcionado por la DGA para un período de retorno de 10 años, que se encuentra en el documento “Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días”, generado por la DGA, donde se proponen, mapas de Isoyetas, elaborados en los años 1993, por “BF. Ingenieros Civiles”, en el informe “Investigación de Eventos Hidrometeorológico Extremos, para precipitaciones máximas diarias en 24, 48 y 72 horas”.

Se considera el mapa de Santiago (Anexo D), en el cual se puede apreciar la región de O’Higgins, que se está analizando en este informe.

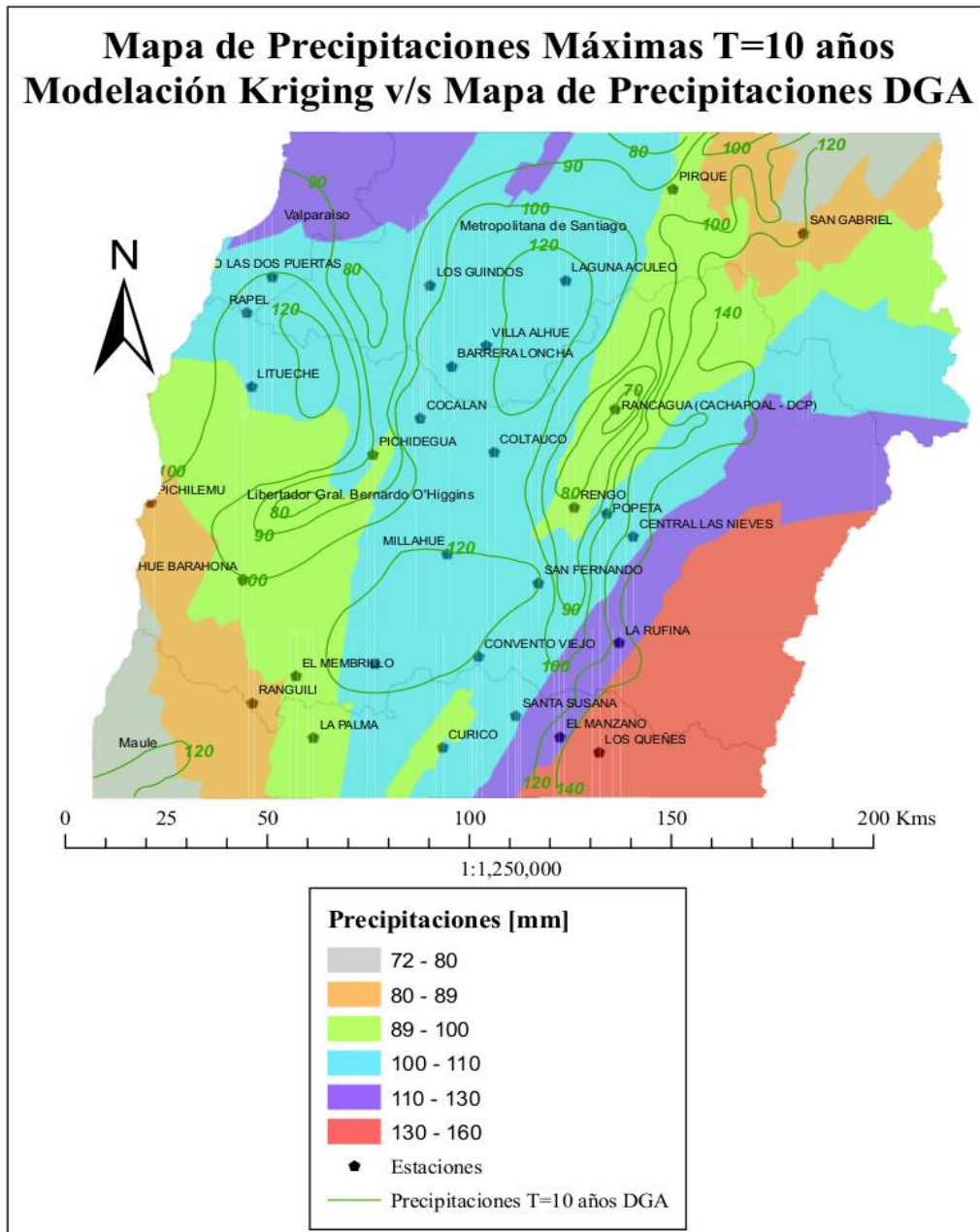
Antes de realizar esta comparación de mapas, se debe tener en cuenta lo siguiente:

**Tabla 10: Registro de Precipitaciones Máximas. DGA 1993.**

Periodos de Analisis Adoptados			
Región o Cuenca	N°Años	Desde	Hasta
1ra. Región	26	1962	1987
2da. Región	20	1968	1987
3ra. Región, Norte	26	1962	1987
3ra. Región, Cuenca Río Huasco	38	1950	1987
4ta. Región	38	1950	1987
5ta., 6ta y R. Metropolitana	47	1941	1987
7ma. Región	40	1948	1987
8va. Región	47	1941	1987
9na. Región	30	1958	1987
10a. Región, Norte	30	1958	1987
10a. Región,Chiloé	23	1965	1987
11a. Y 12a. Región	23	1965	1987

Al ver la Tabla 10, obtenida del documento “Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días”, se puede apreciar que el registro de datos utilizados para el estudio de la DGA en la región de O’Higgins y alrededores, está comprendido entre los años 1941 y 1987, muy distinto a lo utilizado en este estudio, que comprende un registro entre los años 1984 y 2014. Además se debe considerar que la metodología utilizada en ambos estudios es muy distinta. En el estudio de la DGA los mapas se generaron en una primera etapa utilizando polígonos de Thiesen para rellenar y determinar datos de precipitaciones en los sectores que no poseían estación, para luego a través de Isolíneas, generar los mapas de Isoyetas que

presenta dicho estudio, considerando las características del relieve al momento de trazar las curvas, en cambio, la metodología propuesta en este estudio es por medio de una interpolación por el método de los mínimos cuadrados, utilizando una herramienta geoestadística (ARCGIS 9.3) y tablas de comparación de errores de predicción. A continuación, en la Figura 14, se superponen ambos mapas de precipitaciones.



**Figura 14: Mapa de Precipitaciones Kriging Ordinario v/s DGA.**



Al observar la Figura 14, y a pesar de las diferencias mencionadas anteriormente, el mapa generado a través del Método Kriging Ordinario y el mapa entregado por la DGA logran un buen ajuste.

Existe relación entre la Altitud y la Precipitación en los sectores cordilleranos, como en la depresión intermedia dentro de la Región de O'Higgins, esto solo si se considera un análisis por sector.

Se puede apreciar una gran diferencia de precipitaciones en los extremos de la región, al sur de la región Metropolitana y al norte de la región del Maule, que varían de 120 mm, según la DGA, a los 80mm, según la modelación. Esto se podría deber a que no se consideró más información de las regiones aledañas en la modelación, que a diferencia del mapa de la DGA, considera toda la información a lo largo del país generando isolíneas, que pueden atravesar varias regiones a la vez.

También se puede observar que en el centro de la región existe un aumento de la precipitación (120 mm) según el mapa de la DGA, esto se puede deber a la consideración del relieve al momento de generar las curvas de isocías.

Se pueden apreciar semejanzas en la zona centro de la región que presenta una proyección de precipitación alrededor de los 100 a 110 mm, la cual se parece mucho a lo considerado por la DGA, que varía entre los 100 y 120 mm y disminuye hacia ambas cordilleras de la misma forma que lo hace la modelación del proyecto, aumentando nuevamente en los dos casos hacia la cordillera, llegando a su valor máximo que se encuentra entre los 130 y 160 mm.



En la Tabla 11 se entrega la precipitación máximas para 10 años de período de retorno de las principales ciudades de Chile, según la DGA (1994). (MINVU, 1996), donde se observa que la ciudad de Rancagua, perteneciente a la Región del O'Higgins, presenta una precipitación máxima de 24 hrs. asociada a un período de retorno de 10 años igual a 68.5 mm, la cual que es menor al valor de la modelación entregada para dicha ciudad, teniendo un valor de entre los 89 y 100 mm, esto es, aproximadamente un 40 % más de precipitación. Cabe destacar que la cantidad de datos como así la información utilizada en los mapas de precipitaciones comparados son distintos, pero se asemejan a los valores que se encuentran en el centro de la región de estudio. Esto se puede deber a la cantidad de estaciones analizadas por la DGA al momento de generar el mapa que se está comparando y otra muy importante, las metodologías utilizadas en la realización de ambos estudios.

**Tabla 11: Precipitaciones Máximas para T= 10 años según DGA (1994).**

Tabla 3.1.2.2: Precipitaciones Máximas para 10 años de periodo de retorno, según D.G.A. (1994), Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días

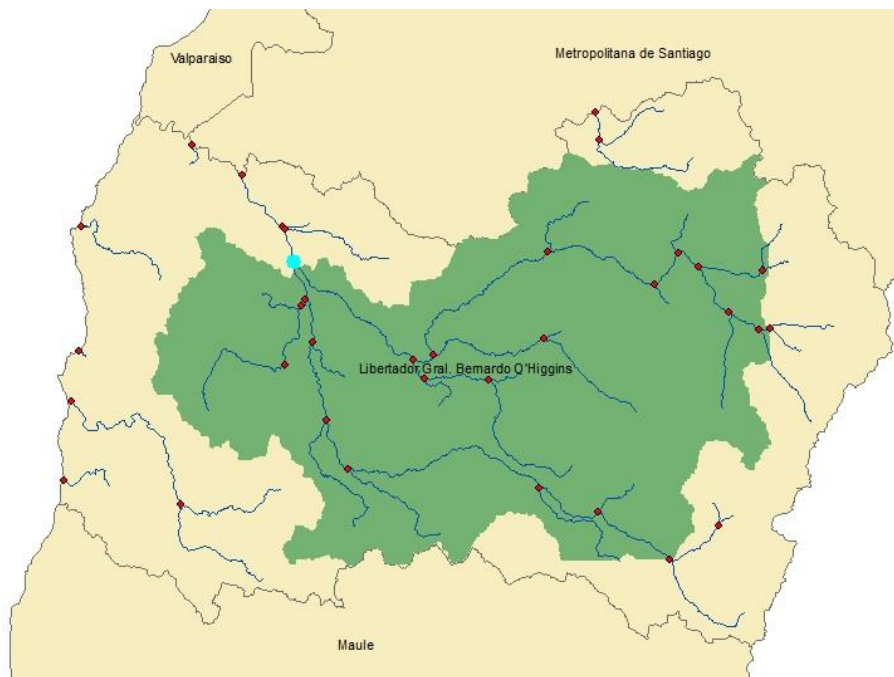
Zona Climática y región	Ciudad	Código BNA	Nombre Estación	Precipitaciones (mm)		
				24 hrs	48 hrs	72 hrs
Mediterránea						
R.Metropolitana	Santiago	5730097	Stgo. Quinta Normal	71,0	98,4	118,6
VI. de B.O'Higgins	Rancagua	6010051	Rancagua DMC	68,5	99,5	131,1
VII.Maule	Talca	7378096	San Luis Talca	93,2	135,0	165,8
	Curicó	7118050	Curicó Gral. Freire	113,6	153,0	189,6
	Linares	7358051	Linares DOS	123,1	176,9	215,3
	Constitución	7384098	Constitución	119,6	166,5	204,0
VIII. Bio Bio	Concepción	8220098	Concepción	105,1	143,0	172,8
	Chillán	8117051	Chillán	107,3	149,7	185,8
IX. Araucanía	Temuco	9129098	Temuco Maquehue	82,3	105,2	118,5

#### 4.5. Análisis de las precipitaciones de la cuenca del Río Rapel.

Se realiza el análisis de las precipitaciones asociadas a la cuenca del río Rapel, con el fin de obtener mapas de predicciones de lluvias, considerando los siguientes pasos.

##### 4.5.1 Delimitación.

Para la delimitación de la cuenca y posterior confección del mapa de precipitaciones, se considera la metodología utilizada por Mair et al., (2011) y Del Río, (2013).



**Figura 15: Delimitación de la cuenca del Río Rapel.**

Luego de realizar la delimitación de la cuenca del Río Rapel, se utiliza la misma metodología para la predicción de los datos de la región de O'Higgins, calculando lo señalado en el punto 2.3.4.2. Error de Estimación, para buscar el mejor modelo que caracterice los datos analizados.

Ahora para este caso se utilizan las precipitaciones mensuales promedio de las estaciones analizadas, como así, los períodos de lluvia comprendidos entre los meses de abril - septiembre y octubre - marzo. En la Tabla 12 se muestra el resumen de los datos obtenidos.



**Tabla 12: Información mensual de las estaciones.**

Nº	ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VER	OTO	INV	PRI	PROM	AS	OM
1	FUNDO LAS DOS PUERTAS	6249870	253631	0	2	4	13	31	37	35	33	24	10	5	2	2	27	30	5	16	29	4
2	BARRERA LONCHA	6226383	298056	0	2	4	11	34	41	31	35	17	9	5	4	2	28	27	6	16	28	4
3	VILLA ALHUE	6231926	306637	0	1	3	10	39	42	37	35	18	9	7	2	1	30	30	6	17	30	4
4	LAGUNA ACULEO	6248857	326365	0	2	3	9	32	53	39	34	16	7	4	2	1	31	29	4	17	31	3
5	PIRQUE	6272845	352877	0	2	5	12	29	38	32	33	16	11	7	4	2	26	27	7	16	27	5
6	SAN GABRIEL	6261211	385240	2	2	5	19	35	43	36	36	23	14	11	4	3	32	31	9	19	32	6
7	LOS GUINDOS	6247629	292770	0	2	3	10	40	49	36	39	19	8	5	2	1	33	31	5	18	32	3
8	LOS QUEÑES	6125303	334641	4	4	12	34	71	73	66	60	43	28	17	9	6	59	56	18	35	58	12
9	EL MANZANO	6129282	324902	2	5	11	32	69	75	74	65	43	31	16	7	6	58	60	18	36	60	12
10	SANTA SUSANA	6134832	314055	1	3	8	22	45	51	49	44	27	19	12	5	4	39	40	12	24	40	8
11	CURICO	6126706	295877	2	3	9	16	41	43	41	35	22	14	10	5	4	33	32	9	20	33	7
12	LA PALMA	6129233	263886	1	3	10	19	34	42	32	31	22	13	8	4	4	31	28	8	18	30	7
13	PICHILEMU	6190747	223547	1	2	7	14	30	35	36	29	18	10	7	3	3	26	27	6	16	27	5
14	NI LAHUE BARAHONA	6170642	246317	1	2	8	16	35	35	34	31	20	11	6	3	3	28	28	6	17	29	5
15	RANGUILI	6138296	248732	2	3	10	20	44	47	37	37	26	14	10	5	5	37	33	9	21	35	7
16	EL MEMBRILLO	6145308	259503	1	4	10	23	38	42	39	37	27	14	10	3	5	34	34	9	21	34	7
17	LA CANDELARIA	6148544	279084	1	3	8	22	42	52	50	43	29	17	9	4	4	38	40	10	23	40	7
18	CONVENTO VIEJO	6150390	304786	1	3	8	17	44	43	42	40	22	14	8	4	4	34	34	8	21	35	6
19	SAN FERNANDO	6169677	319466	0	3	6	20	46	51	49	44	23	15	9	4	3	39	38	9	23	39	6
20	LA RUFINA	6154023	339617	2	3	10	31	64	71	64	60	41	25	18	7	5	55	55	16	33	55	11
21	RANCAGUA (CACHAPOAL - DCP)	6215240	338660	0	2	5	12	28	33	28	28	16	11	6	3	2	24	24	6	14	24	5
22	COLTAUCO	6203948	308542	0	2	5	17	49	55	50	46	19	9	6	3	2	40	38	6	22	39	4
23	COCALAN	6212896	290252	0	2	5	13	36	37	33	33	19	12	5	2	2	28	28	6	16	29	4
24	PICHIDEGUA	6203317	278543	0	2	6	15	41	39	34	36	20	10	6	3	2	31	30	6	18	31	5
25	LITUECHE	6221061	248584	0	3	6	20	53	56	55	47	27	13	6	3	3	43	43	7	24	43	5
26	MILLA HUE	6177194	296947	0	2	5	21	44	54	50	46	25	11	7	3	2	39	40	7	22	40	5
27	RENGO	6189449	328455	1	2	4	15	30	36	31	29	18	12	7	3	2	27	26	7	16	27	5
28	POPETA	6187899	336501	1	3	4	18	35	38	35	31	21	13	9	4	2	30	29	8	18	30	6
29	CENTRAL LAS NIEVES	6181879	343037	2	3	7	28	45	54	51	47	29	16	14	6	4	42	42	12	25	42	8
30	RAPEL	6240424	247349	0	2	5	13	35	42	41	40	23	9	7	3	2	30	34	6	18	32	4

ENE : Enero ; AGO : Agosto ; INV : invierno  
 FEB : Febrero ; SEP : Septiembre ; PRI : primavera  
 MAR : Marzo ; OCT : Octubre ; PROM : Promedio Mensual  
 ABR : Abril ; NOV : Noviembre ; AS : Período Abril-Septiembre  
 MAY : Mayo ; DIC : Diciembre ; OM : Período Octubre- Marzo  
 JUN : Junio ; VER : verano  
 JUL : Julio ; OTO : otoño

Con estos datos se desarrolla el tratamiento de la información siguiendo la metodología descrita en el punto 4.2 de este estudio.

Posterior al análisis de los variogramas para cada mes, se confecciona la Tabla 13, donde se pueden ver los errores asociados a cada modelación, como así, el modelo que se ocupa para confeccionar cada mapa de precipitaciones.



**Tabla 13: Errores de la modelación de Precipitaciones Mensuales.**

T	Model	MEAN	ROOT-MEAN-SQUARE	AVERAGE STANDARD ERROR	MEAN STANDARDIZED	ROOT-MEAN-SQUARE STANDARDIZED
Enero	Circular	-0.027	0.53	0.52	-0.046	0.98
	Esférico	-0.032	0.54	0.52	-0.060	1.01
	Exponencial	-0.025	0.55	0.53	-0.044	1.02
Febrero	Circular	0.014	0.55	0.65	0.013	0.89
	Esférico	0.014	0.55	0.65	0.011	0.88
	Exponencial	0.028	0.55	0.65	0.022	0.94
Marzo	Circular	0.025	1.05	1.06	-0.041	1.14
	Esférico	0.026	1.04	1.05	-0.040	1.13
	Exponencial	0.031	1.04	1.08	-0.040	1.14
Abril	Circular	0.212	3.70	3.14	-0.038	1.11
	Esférico	0.242	3.79	3.11	-0.032	1.13
	Exponencial	0.126	4.07	3.42	-0.048	1.14
Mayo	Circular	-0.301	7.58	6.51	-0.089	1.23
	Esférico	-0.313	7.51	6.56	-0.090	1.21
	Exponencial	-0.284	7.73	6.84	-0.089	1.22
Junio	Circular	-0.213	7.54	7.89	-0.053	0.92
	Esférico	-0.258	7.74	8.03	-0.059	0.93
	Exponencial	-0.135	8.10	8.44	-0.048	0.96
Julio	Circular	-0.213	7.54	7.89	-0.053	0.92
	Esférico	-0.258	7.74	8.03	-0.059	0.93
	Exponencial	-0.135	8.10	8.44	-0.048	0.96
Agosto	Circular	-0.321	6.85	6.75	-0.078	0.99
	Esférico	-0.309	6.95	6.85	-0.079	0.99
	Exponencial	-0.180	7.32	7.12	-0.069	1.03
Septiembre	Circular	0.258	4.39	3.26	-0.041	1.22
	Esférico	0.270	4.42	3.26	-0.036	1.22
	Exponencial	0.147	4.45	3.47	-0.058	1.19
Octubre	Circular	0.019	2.42	2.06	-0.008	1.15
	Esférico	0.033	2.47	2.06	-0.007	1.15
	Exponencial	0.068	2.66	2.16	-0.012	1.20
Noviembre	Circular	0.008	1.72	1.45	-0.036	1.24
	Esférico	0.009	1.72	1.45	-0.036	1.23
	Exponencial	0.009	1.72	1.45	-0.037	1.23
Diciembre	Circular	0.012	0.83	0.79	-0.056	1.35
	Esférico	0.013	0.84	0.78	-0.055	1.36
	Exponencial	0.012	0.83	0.80	-0.056	1.35
Verano	Circular	0.04	0.64	0.69	-0.041	1.083
	Esférico	0.04	0.65	0.69	-0.058	1.103
	Exponencial	0.04	0.65	0.69	-0.060	1.103
Otoño	Circular	-0.06	5.77	5.26	-0.07	1.155
	Esférico	-0.07	5.69	5.27	-0.05	1.119
	Exponencial	0.20	6.08	5.88	-0.02	1.110
Invierno	Circular	0.14	5.83	5.58	-0.03	1.015
	Esférico	0.08	5.89	5.70	-0.03	1.016
	Exponencial	0.31	6.36	6.21	-0.01	1.035
Primavera	Circular	0.12	1.40	1.25	0.01	1.160
	Esférico	0.13	1.41	1.26	0.03	1.141
	Exponencial	0.11	1.43	1.30	0.01	1.144
Promedio	Circular	-0.097	3.18	2.94	-0.057	1.05
	Esférico	-0.099	3.14	2.97	-0.061	1.02
	Exponencial	-0.074	3.40	3.18	-0.058	1.06
Abril-Sept	Circular	-0.177	5.51	5.31	-0.061	1.01
	Esférico	-0.222	5.64	5.46	-0.068	1.01
	Exponencial	-0.158	6.07	5.83	-0.063	1.05
Oct-Marz	Circular	0.043	0.85	0.71	-0.005	1.23
	Esférico	0.046	0.85	0.71	-0.002	1.24
	Exponencial	0.040	0.82	0.70	-0.015	1.21



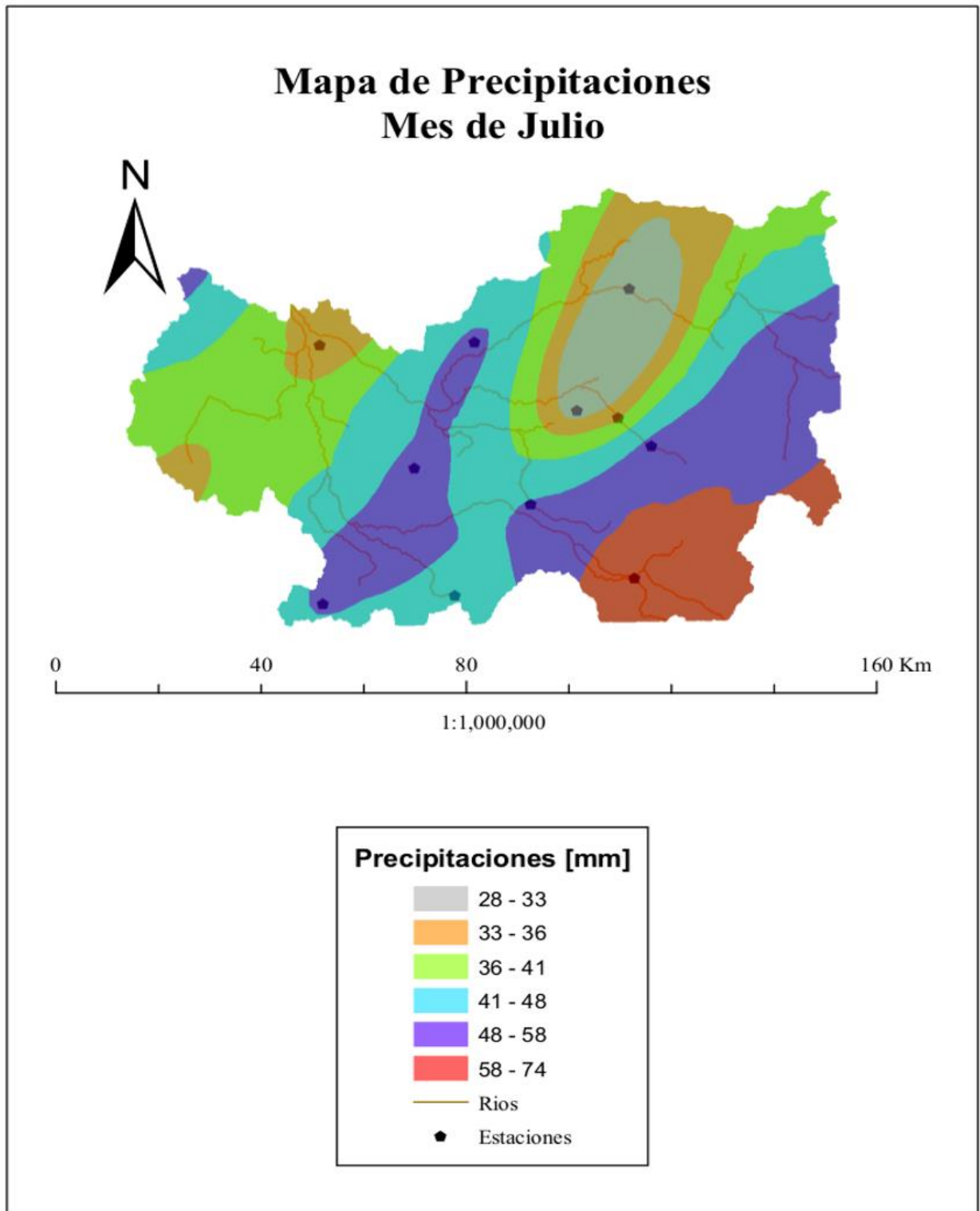
De la Tabla 13 se puede apreciar que para todos los análisis, el error entre modelos es muy similar, lográndose con esto, considerar cualquier modelo para crear los mapas deseados, pero como lo describe la metodología, se debe elegir el RMSSE más cercano a 1. (Oliver et al., 2014) y verificar que los valores RMSE y ASE cercanos entre sí.

Se puede apreciar el modelo que más se repite es el Esférico, pero esta tendencia puede variar si se quitan o agregan datos al estudio.

Hay que considerar que los datos analizados son muy pocos y además para ciertos meses las magnitudes de precipitación son muy parecidas, como es el caso del mes de enero, que por tener esta condición, posee un error muy pequeño.

Una vez elaborada la Tabla 13, se procede a la confección de los mapas de precipitaciones asociados a la cuenca del río Rapel.

A continuación en la Figura 16, se muestra el mapa de precipitaciones asociado al Mes de Julio, en el cual se observa claramente la distribución de lluvia en los distintos sectores de la cuenca, con un valor mínimo en la zona intermedia y valores máximos hacia la zona cordillerana. El resto de los mapas asociados a los distintos meses se encuentran en el Anexo E.



*Figura 16: Mapa de Precipitaciones, Julio.*

En la Figura 17 se observan los mapas de precipitaciones para las 4 estaciones del año asociadas a la cuenca del Río Rapel.

Se observa claramente que en verano las precipitaciones son muy bajas a comparación de las demás estaciones, con una precipitación máxima que bordea los 6 mm, esto quiere decir, que prácticamente no llueve en esta zona. En cambio en primavera, ya existe un aumento en las precipitaciones en la superficie de la cuenca que ya llega a los 20 mm. También se aprecia que los mapas de otoño y de invierno se parecen entre sí, ya que las magnitudes de precipitación que ocurren en estas estaciones son prácticamente iguales variando entre los 24 y 60 mm, solo se diferencian por la ubicación en donde se generan las lluvias.

Como análisis general, las máximas precipitaciones en las cuatro estaciones se dan zona cordillerana disminuyendo hacia la depresión intermedia.

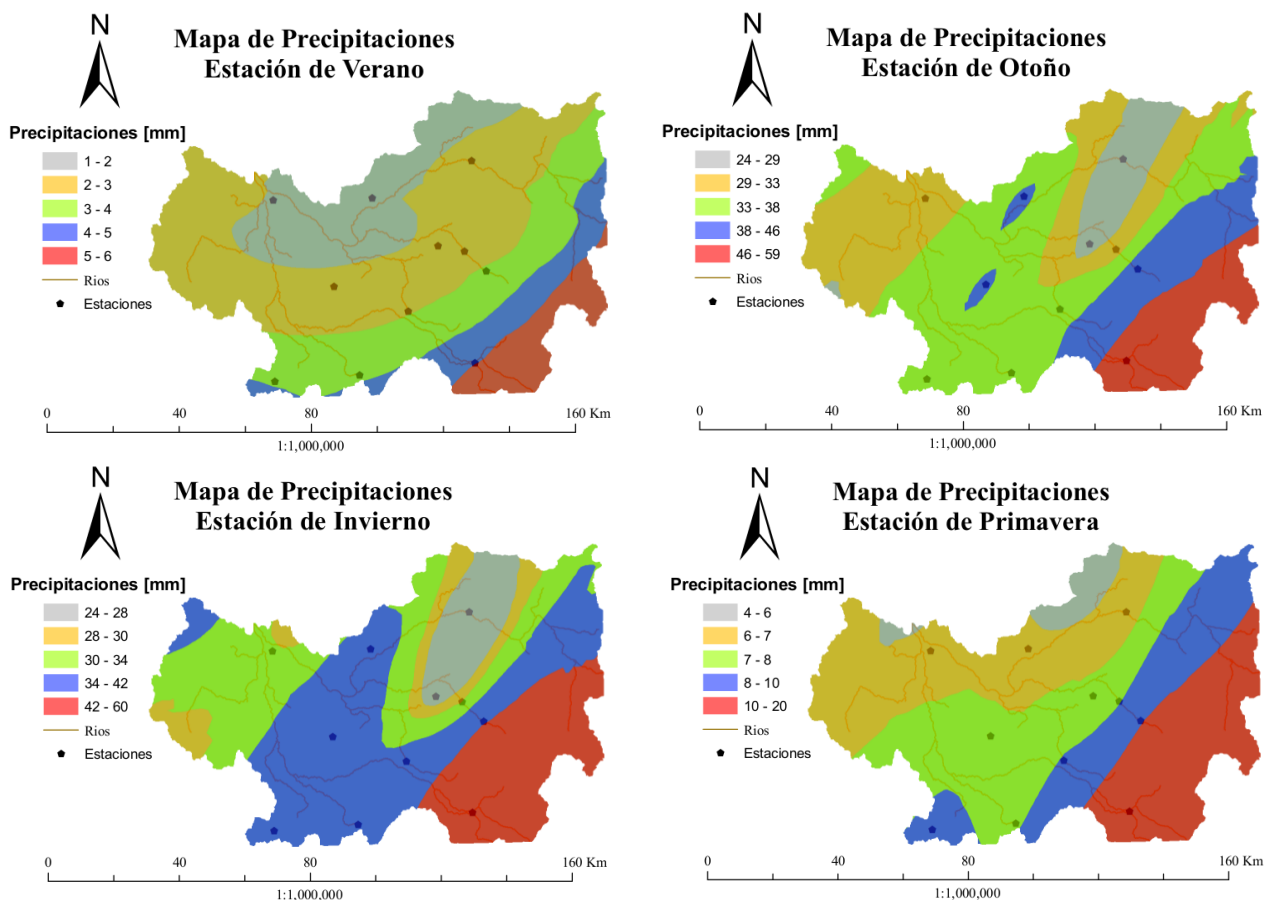
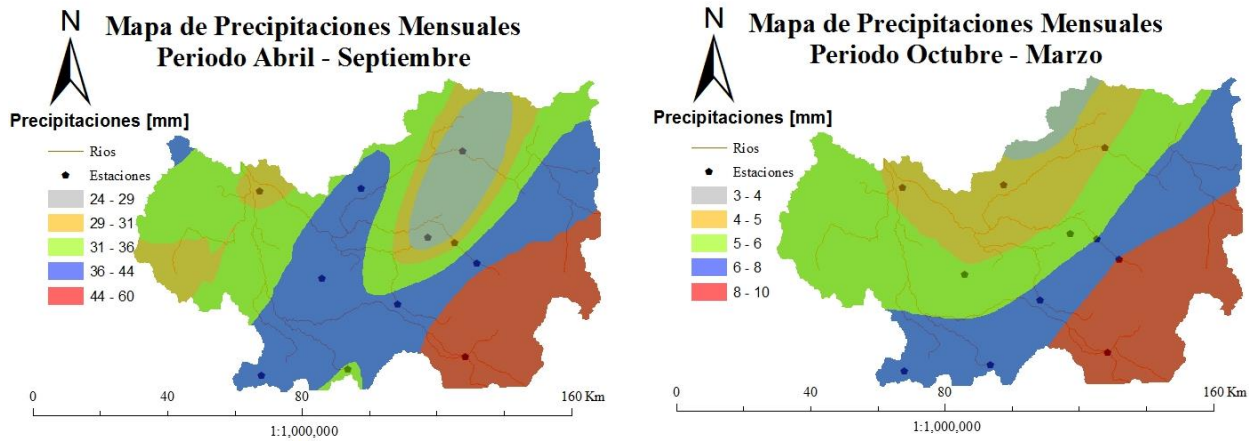


Figura 17: Mapa de precipitaciones por estaciones del año.



**Figura 18: Mapas de precipitaciones por periodos secos y periodos de lluvias.**

En la Figura 18 se puede observar la diferencia en el rango de precipitaciones que existe entre el periodo seco abril - septiembre y periodo de lluvia octubre - marzo dentro de la cuenca del rio Rapel. Claramente se observa que en el período seco, las precipitaciones son muy bajas con un máximo de 10mm; en cambio en el período de lluvia, aumenta considerablemente hasta los 60mm

Si se comparan el mapa de precipitaciones del periodo abril – septiembre con el mapa de precipitaciones de la estación de invierno, Figura 17, se puede concluir que este último controla el período de lluvias, dado que los mapas generados son prácticamente iguales. En cambio el mapa del periodo octubre – marzo tiende a parecerse al mapa de estación de verano, pero no presentan el mismo rango de precipitaciones.



## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados al comienzo de éste proyecto, se finaliza alcanzando la totalidad de ellos.

Se realizó de forma adecuada el estudio para la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, logrando obtener los resultados deseados y confeccionar los mapas de precipitaciones máximas para los distintos períodos de retornos, verificando que el método de interpolación Kriging Ordinario proporciona un análisis elaborado y con un fundamento estadístico. No obstante, es necesario contar con una mayor cantidad de datos, y que estos posean una buena distribución espacial.

Además se pudo comparar el mapa de período de retorno  $T=10$  años obtenido con la modelación y el mapa de la Dirección General de Agua (DGA), logrando similitud en algunos sectores de la región como es en el caso de las precipitaciones acercándose a la zona cordillerana.

Por último, se aprecia que para el análisis anual asociadas a la región de O'Higgins y mensual de las precipitaciones asociadas a la cuenca del río Rapel, la elección del modelo geostatístico que más represente a los datos analizados, quedara a criterio de la persona que realice la interpolación, puesto que la diferencia que existe entre los errores calculados es muy pequeña y la variación de la predicción que exista al generar los mapas no tendrá una gran relevancia.



## BIBLIOGRAFÍA

- **Castro, M., (2010).** Análisis de Precipitaciones Máximas 24,48 y 72 horas en la Región del Biobío. Tesis Ingeniero Civil, departamento de Ingeniería Civil, Universidad Del Biobío.
- **Chow, V., Maidment, D., Mays, L. (1994).** Manual de Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 584 p.
- **Del Río, I., (2013).** Análisis y elaboración de mapas de precipitaciones promedios mensuales para la cuenca del Río Ñuble
- **Deutsch, C. V. and Journel, A. G., (1998).** GSLIB, Geostatistical software library and user's guide, 2nd Ed., Oxford University Press, Oxford, UK.
- **DGA, (1993).** Balance Hídrico de Chile. Dirección General de Aguas. Ministerios de Obras Públicas. Chile.
- **Emery, X., (2007).** Apuntes de Geoestadística, Ingeniería en Minas, Facultad de Ciencias y Matemáticas Universidad de Chile.
- **ESRI, (2003).** Using ArcGIS® Geostatistical Analyst.
- **ESRI, Inc. (2008).** ArcEditor 9.3.1 [Computer software]. Redlands, CA.
- **Funes, H., (2014).** Métodos Estadísticos en Problemas Espaciales, Tesis Magister en Estadística Aplicada, San Miguel de Tucumán, Mayo 2014.
- **Grimes, D., Pardo-Igúzquiza, E., (2010).** Geostatistical Analysis of Rainfall Volume 42 Issue 2 (April 2010) p. 136-160.
- **Hinojosa, M., (2014).** Análisis Geoestadístico para la Confección de Mapas de Precipitaciones Máximas Diarias para la Región Del Maule. Tesis. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- **Mair, A., Fares, A., (2011).** Comparison of Rainfall Interpolation Methods in a Mountainous Región of Tropical Island.
- **Matheron, G., (1970).** La Théorie del Variables Régionalisées et ses applications. Centre De Géostatistique Et De Morphologie Mathématique, Ecole Nationale Supérieure des Mines de París. 212 pp.



- **Monsalve, G., (1999).** Hidrología en la Ingeniería. 2<sup>da</sup> edición. Bogotá, Alfaomega. 382 p.
- **Moral, A., (2009).** Tesis Doctoral, Precipitaciones en la provincia del Chaco: su relación con los fenómenos el Niño oscilación sur (enos) entre los años 1982 y 1998. Facultad de Humanidades – UnaF. Argentina.
- **Oliver, M.A., Webster, R., (2014).** A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging.
- **Ovalle, C., (2013).** Análisis Geoestadístico de precipitaciones, para Cuenca Itata y Cuenca Biobío, Proyecto de Título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- **Pizarro, R., Novoa, P., (1986).** Instructivo n° 5. Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. Elementos técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile. 78 p.
- **Dragović, R., Gajić, B., Dragović, S., Đorđević, M., Đorđević, M., Mihailović, N., Onjia, A., (2014).** Assessment of the impact of geographical factors on the spatial distribution of heavy metals in soils around the steel production facility in Smederevo (Serbia).
- **Santana, L., (2007).** Apunte de Hidrología, Dirección de Pregrado. Universidad del Bío-Bío. 176 p.
- **Silva, F., (2013).** Análisis Geoestadístico para la confección de Mapas de Precipitaciones Máximas, para la Región de Valparaíso.
- **Vargas, J., De la Fuente, L., Gutiérrez-López, A., Arumi, J., (2009).** Análisis geoestadístico para describir la distribución espacial de la precipitaciones de una cuenca patagónica, Revista AQUA-LAC, Vol N°1, pp. 29-41.
- **Véliz, E., Ruiz, O., (2006).** Análisis espacial para medir el índice de infección de la sigatoka negra en una hacienda bananera en el último trimestre 2005.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN  
Facultad de Ingeniería - Ingeniería Civil

**Sitios web:**

- <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region6>
- <http://www.servicioweb.cl>
- <http://www.mediateca.cl>
- <http://www.dga.cl/>
- [http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes.](http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes)



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN  
Facultad de Ingeniería - Ingeniería Civil

## ANEXOS



## ANEXO A

### PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

- **Cálculos Estadísticos.**

Los cálculos estadísticos son utilizados para determinar si la distribución de los datos es normal, lognormal, o si no se ajustan a una distribución teórica de probabilidad, lo cual implica tener conocimiento de:

- **Media o promedio aritmético:**

Se define como (Chow, 1994)

$$\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx \quad : \quad \text{para la población.}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad : \quad \text{para la muestra.}$$

donde:

n: Número de datos de la muestra.

$x_i$ : datos de la muestra  $i$ .

- **Desviación estándar:**

La variabilidad de la información se mide por medio de la varianza  $\sigma^2$ , la cual es el segundo momento alrededor de la media, por otro lado la desviación estándar  $\sigma$  es una medida de la variabilidad que tiene las mismas dimensiones de X. La cantidad de  $\sigma$  es la raíz cuadrada de la varianza y se estima por (Chow, 1994).

$$\sigma^2 = E[(x - \mu)^2] \quad : \quad \text{varianza para la población.}$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad : \quad \text{varianza para la población.}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad : \quad \text{desviación estándar la población.}$$



$$s = \sqrt{s^2} \quad : \quad \text{desviación estándar para la muestra.}$$

- **Coefficiente de Asimetría:**

La simetría de una distribución alrededor de la media se mide utilizando la asimetría (oblicuidad) la cual es el tercer momento alrededor de la media. Para asimetrías positivas ( $\gamma > 0$ ), la información está desviada hacia la derecha, con sólo un pequeño número de valores grandes; para una asimetría negativa ( $\gamma < 0$ ), la información está desviada hacia la izquierda (Chow. V. T. 1994).

$$\gamma = \frac{E[(x-\mu)^3]}{\sigma^3} \quad : \quad \text{para la población.}$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \quad : \quad \text{para la muestra.}$$

- **Mediana:**

Para una muestra de  $n$  observaciones de la variable  $x$ , dispuestas de menor a mayor, la mediana muestral es la observación que ocupa el lugar central si  $n$  es impar; y si  $n$  es par, es el promedio de las dos observaciones centrales.

- **Moda:**

Es el valor más frecuente o que más se repite de un determinado rango de datos.

- **El error estándar de la media:**

Se estima generalmente dividiendo la desviación estándar de la población entre la raíz cuadrada del tamaño de la muestra (asumiendo independencia estadística de los valores en la muestra):

$$SE_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$



donde:

s: Es la desviación estándar (es decir, la estimación basada en la muestra de la desviación estándar de la población).

n: Número de datos de la muestra.

Esta estimación puede ser comparada con la fórmula de la verdadera desviación estándar de la media de la muestra:

$$SE_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

donde:

$\sigma$  es la verdadera desviación estándar de la población.

- **Coefficiente de Variación:**

Se estima generalmente dividiendo la desviación estándar de la población entre la raíz cuadrada del tamaño de la muestra (asumiendo independencia estadística de los valores en la muestra). A mayor valor del coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable:

$$C_v = \frac{\sigma}{|\bar{x}|}$$

donde :

$\sigma$  es la verdadera desviación estándar de la población..

- **Distribución Normal.**

La distribución Normal es una distribución simétrica en forma de campana, también conocida como campana de Gauss. Esta distribución surge del teorema del límite central, el cual establece que si una secuencia de variables aleatorias  $x_i$  son independientes y están idénticamente distribuidas con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ , entonces



la distribución de la suma de  $n$  de estas variables aleatorias,  $Y = \sum_{i=1}^n X_i$ , tiende hacia la distribución normal con media  $n\mu$  y varianza  $n\sigma^2$  a medida que  $n$  aumenta. Las principales limitaciones de esta distribución en la descripción de variables hidrológicas son, por un lado, que ésta varía a lo largo de un rango continuo  $[-\infty, \infty]$ , mientras que la mayor parte de las variables hidrológicas son no negativas y por otro lado, que es simétrica alrededor de la media, mientras que la información hidrológica tiende a ser asimétrica. (Chow. V. T. 1994)

Su función de densidad de probabilidad es la que se muestra a continuación:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad -\infty \leq x \leq \infty$$

donde:  $\mu = \bar{x} = \text{Promedio.}$   $\sigma = S_x = \text{Desviación Estándar.}$

- **Distribución Log-normal.**

Si los logaritmos  $Y$  de la variable aleatoria  $X$ ,  $Y = \ln X$ , se distribuyen normalmente, entonces se dice que  $X$  está distribuida en forma log-normal. Esta distribución es muy utilizada para el cálculo de valores extremos.

La distribución log-normal tiene las ventajas de que está limitada ( $X > 0$ ) y de que la transformación log tiende a reducir la asimetría positiva comúnmente encontrada en información hidrológica, ya que al sacar los logaritmos se reducen en mayor proporción los datos mayores que los menores. Algunas limitaciones de esta distribución son que tiene solamente dos parámetros y que requiere que los logaritmos de las variables estén centrados en la media.

Su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right), \quad x > 0$$

donde:



$y = \ln(x)$  = Logaritmo natural de los datos.

$\mu_y = \bar{y}$  = Promedio.

$\sigma_y = S_y$  = Desviación Estándar.

- **Distribución Gamma.**

La distribución gamma tiene una forma que varía suavemente y es muy útil para la descripción de variables hidrológicas asimétricas sin el uso de la transformación log. La distribución gamma de dos parámetros ( $\alpha$  y  $\beta$ ) tiene como límite inferior cero, lo cual es una desventaja para la aplicación a variables hidrológicas que tienen un límite inferior superior a cero, para esos casos existe la función gamma de 3 parámetros (Chow. V. T. 1994).

La Función de Densidad de Probabilidades de la distribución gamma es:

$$f(x) = \frac{\lambda^\beta x^{\beta-1} \exp(-\lambda * x)}{\Gamma(\beta)}$$

donde:

$$\lambda = \frac{\bar{x}}{S_x^2}, \quad \beta = \frac{\bar{x}^{-2}}{S_x^2}, \quad \Gamma = \text{función gamma.}$$

- **Distribución Gumbel Tipo I.**

Los valores extremos son valores máximos o mínimos de un conjunto de datos. Fisher y Tippett (1928) han demostrado que las distribuciones de valores extremos seleccionados de conjuntos de muestras en una de las tres formas de distribución de valor extremo, llamadas Tipo I, Tipo II y Tipo III, respectivamente, cuando el número de valores extremos seleccionados es grande.



Las propiedades de las tres formas limitantes fueron desarrolladas en mayor detalle por Gumbel (1941) para la Tipo I, por Frechet (1927) para la Tipo II y por Weibull (1939) para la extrema Tipo III (Santana, 2007).

Según Gumbel, la función de densidad de probabilidad de Tipo I está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} * \exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha}\right) * \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right)$$

donde:

$$\mu = \bar{X} - 0.5772 * \alpha, \text{ con } \alpha = \frac{\sqrt{6} * S}{\pi}$$

- **Distribución Exponencial.**

Esta distribución describe en general, el periodo de retorno de eventos que ocurren instantánea e independientemente en un horizonte de tiempo, donde el parámetro  $\lambda$  es la tasa media de ocurrencia de los eventos. Su ventaja es la facilidad para estimar  $\lambda$  a partir de la información observada. Se adapta muy bien a estudios teóricos, tales como un modelo de probabilidad para el embalse lineal (Santana, 2007).

$$f(x) = \mu e^{-\mu x}, \text{ con } x > 0 \text{ y } \mu > 0 \text{ y } \mu = \frac{1}{\bar{x}}$$

Para mayor información acerca de las distribuciones de Probabilidades utilizadas, consultar: Chow. V. T. (1994). Estadística Hidrológica. Hidrología Aplicada



### Bondad de Ajuste

- **Test de Chi-Cuadrado.**

En el caso de la frecuencia relativa se utiliza la función  $X^2$ , en función de la cual se puede comparar con el valor calculado, a partir de los siguientes pasos:

- 1) Estimar el número de clases  $k$  a emplear según el número  $N$  de datos ( $k \geq 5$ ) con  $k = 1 + 3,3 \log N$ , aproximar al valor entero más cercano.
- 2) Calcular los límites inferior y superior de cada clase en función del rango de clase  $R$ .

$$R = \frac{\max - \min}{k - 1}$$

$$L_{\text{inf}} = \min + (2n - 1) * \frac{R}{2} \quad \text{con } n = 0, 1, 2, \dots, (k-1)$$

$$L_{\text{sup}} = L_{\text{inf}} + R$$

- 3) Calcular el histograma de frecuencias absolutas  $f_i$  de los  $N$  datos muestrales.
- 4) Estimar el histograma de frecuencias acumuladas con la FDP analizada para los límites de las marcas de clase.
- 5) Calcular el histograma de frecuencias absolutas  $e_i$  a partir de las frecuencias acumuladas del paso anterior en cada clase.
- 6) Calcular la diferencia de frecuencias absolutas para cada intervalo de clase.
- 7) Calcular el cuadrado de la diferencia de frecuencias absolutas dividida por la frecuencia de la función estimada para cada intervalo de clase y sumar sus resultados.
- 8) Comparar el resultado anterior con el valor de la FDP de  $X^2$  (Tabla 2.2), para un determinado nivel de confianza (95 %) y grados de libertad  $GL = k-s-1$ , donde  $s$  es el número de parámetros de la FDP estimada.
- 9) Se rechaza la FDP si el valor de  $X^2$  calculado es mayor que el tabulado (tabla 2.2), en caso contrario no rechaza.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{N(f_i - e_i)^2}{e_i}$$



- **Test de Kolmogorov - Smirnov**

En este caso se trabaja con las frecuencias acumuladas. El procedimiento se puede resumir en los siguientes pasos:

- 1) Ordenar la serie de datos de mayor a menor, asignando a cada dato una probabilidad de excedencia según Weibull u otro criterio.
- 2) Para cada dato calcular la probabilidad de no ocurrencia como el complemento de la probabilidad de ocurrencia.
- 3) Simultáneamente, para cada dato calcular la probabilidad de no excedencia con la FDA a partir de la FDP elegida.
- 4) Calcular para cada dato la diferencia en valor absoluto entre las probabilidades asignadas según Weibull (u otro criterio) y la función de densidad de probabilidad ajustada.
- 5) Obtener el valor con la máxima diferencia de probabilidades  $\Delta_{max}$ .
- 6) Comparar el resultado anterior con el valor  $\Delta$  de la FDP de Kolmogorov (tabulado), para un determinado nivel de confianza (95 %) y número de datos de la serie de precipitaciones.
- 7) Se rechaza la FDP que se desea ajustar a los datos si el valor de  $\Delta$  calculado con la máxima diferencia de probabilidades es mayor que el tabulado (tabla 2.3) para un determinado nivel de confianza.

$$\Delta = \max |FDA(x_i) - P_{noexe}(x_i)|$$



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN  
Facultad de Ingeniería - Ingeniería Civil

## ANEXO B

RESUMEN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO EL COMPORTAMIENTO DE LOS  
DATOS DE LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE EASYFIT 5.3  
(MATHWAVE, 2004).



**BARRERA LONCHA**

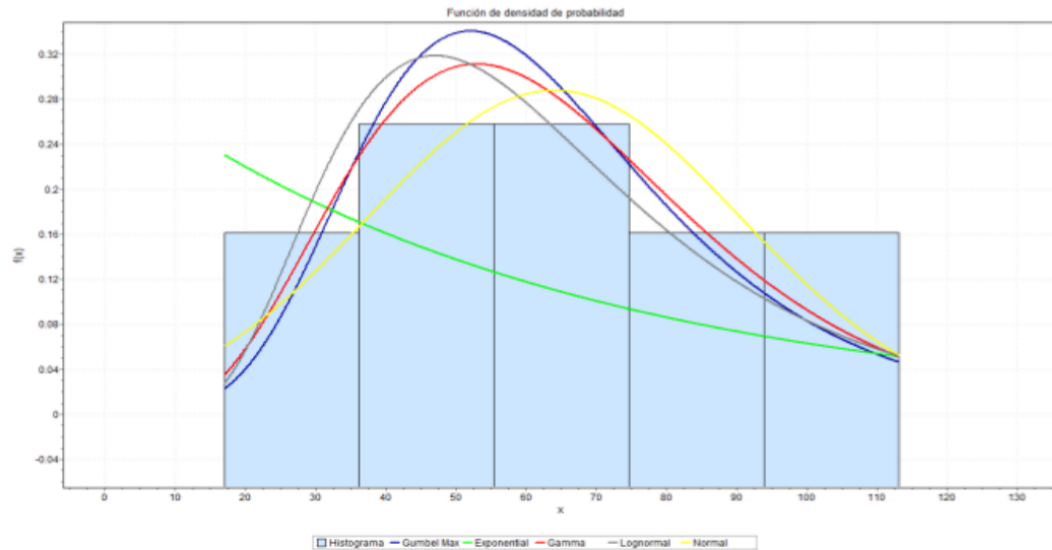
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	17
Rango	96.10	5%	23.3
Media	63.98	10%	29.62
Varianza	709.75	25% (Q1)	40
Desviación estándar	26.64	50% (Mediana)	60.7
Coef. de variación	0.42	75% (Q3)	80
Error estándar	4.78	90%	109.12
Asimetría	0.26	95%	111.54
Curtosis	-0.77	Max	113.1

Resultados de ajuste			
#	Distribución	Parámetros	
1	Exponential	$\lambda=$	0.02
2	Gamma	$\alpha=$	5.77 $\beta=$ 11.09
3	Gumbel Max	$\sigma=$	26.64 $\mu=$ 51.99
4	Lognormal	$\sigma=$	0.46 $\mu=$ 4.06
5	Normal	$\sigma=$	26.64 $\mu=$ 63.98

Lognormal [#4]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	4				
Estadística	0.319				
Valor P	0.989				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28
Rechazar?	No	No	No	No	No

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.111				
Valor P	0.802				
Rango	3				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
4	Lognormal	0.32	1	0.11	3
5	Normal	0.37	2	0.07	1
2	Gamma	1.49	3	0.09	2
3	Gumbel Max	1.74	4	0.11	4
1	Exponential	11.08	5	0.32	5



Precipitaciones Máximas Anuales								
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal	
2	0.500	0.50	44	60	60	58	64	
5	0.200	0.80	103	85	83	86	86	
10	0.100	0.90	147	100	99	105	98	
20	0.050	0.95	192	113	114	124	108	
25	0.040	0.96	206	117	118	130	111	
50	0.020	0.98	250	130	133	150	119	
100	0.010	0.99	295	142	148	170	126	

**Figura 19: Resumen estadístico de la estación Barrera Loncha.**



VILLA ALHUE

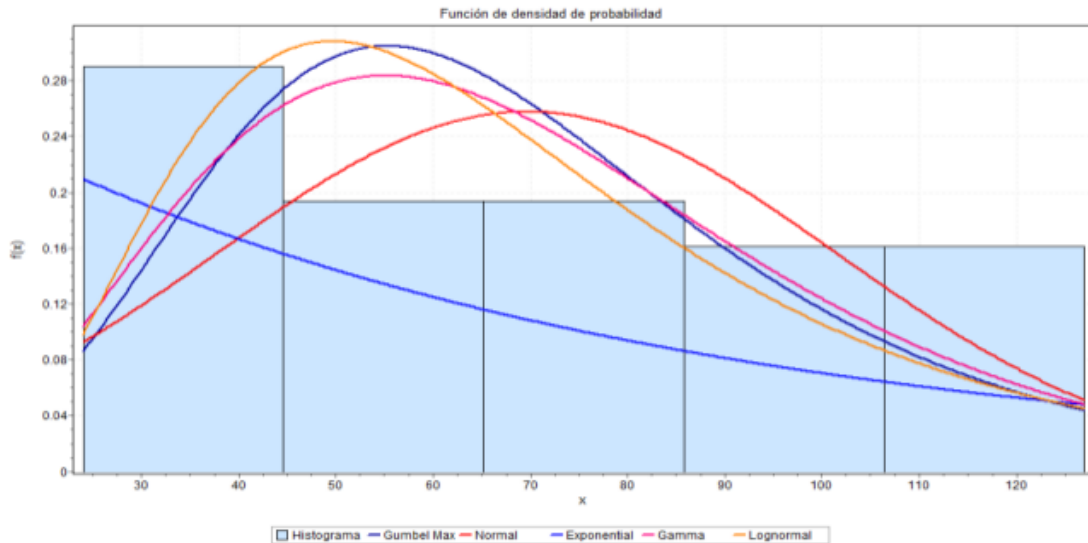
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	24
Rango	103	5%	27.6
Media	69.62	10%	31.4
Varianza	1015.98	25% (Q1)	41.5
Desviación estándar	31.87	50% (Mediana)	68
Cof. de variación	0.46	75% (Q3)	96
Error estándar	5.72	90%	117.16
Asimetría	0.37	95%	127
Curstosis	-1.17	Max	127

Normal [05]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	2				
Estadística	2.072				
Valor P	0.355				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	3.22	4.61	5.99	7.82	9.21
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	4.77	$\beta=$ 14.59
3	Gumbel Max	$\sigma=$	31.87	$\mu=$ 55.27
4	Lognormal	$\sigma=$	0.48	$\mu=$ 4.13
5	Normal	$\sigma=$	31.87	$\mu=$ 69.62

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.129				
Valor P	0.633				
Rango	4				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	2.07	1	0.13	4
4	Lognormal	2.09	2	0.11	2
2	Gamma	3.44	3	0.10	1
3	Gumbel Max	3.57	4	0.11	3
1	Exponential	8.28	5	0.32	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Proexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	48	65	64	62	70
5	0.200	0.80	112	94	93	93	96
10	0.100	0.90	160	112	111	115	110
20	0.050	0.95	209	129	129	137	122
25	0.040	0.96	224	134	135	144	125
50	0.020	0.98	272	149	152	167	135
100	0.010	0.99	321	164	170	190	144

Figura 20: Resumen estadístico de la estación Villa Alhue.



**BARRERA LONCHA**

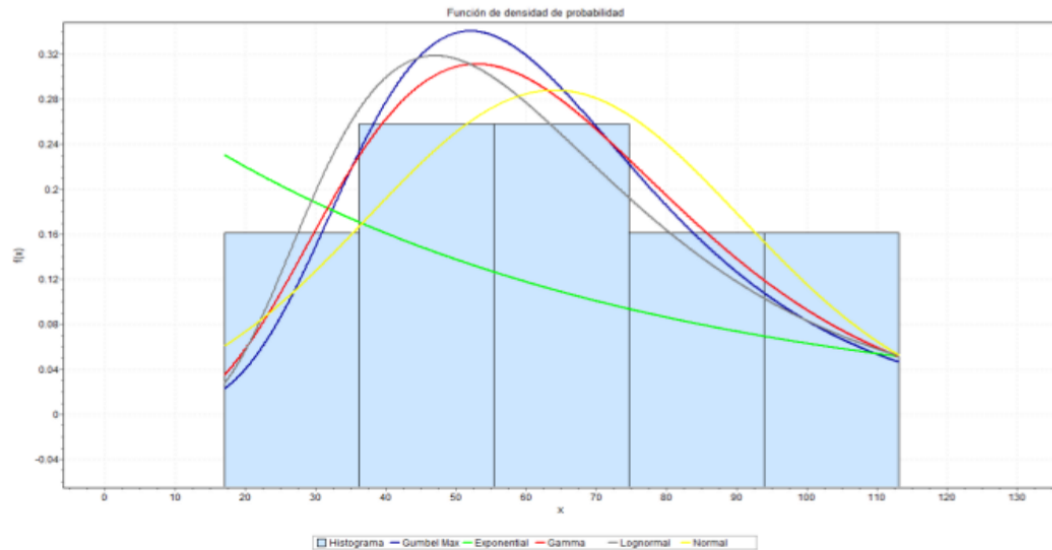
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	17
Rango	96.10	5%	23.3
Media	63.98	10%	29.62
Varianza	709.75	25% (Q1)	40
Desviación estándar	26.64	50% (Mediana)	60.7
Coef. de variación	0.42	75% (Q3)	80
Error estándar	4.78	90%	109.12
Asimetría	0.26	95%	111.54
Curtosis	-0.77	Max	113.1

Resultados de ajuste			
#	Distribución	Parámetros	
1	Exponential	$\lambda=$	0.02
2	Gamma	$\alpha=$	5.77 $\beta=$ 11.09
3	Gumbel Max	$\sigma=$	26.64 $\mu=$ 51.99
4	Lognormal	$\sigma=$	0.46 $\mu=$ 4.06
5	Normal	$\sigma=$	26.64 $\mu=$ 63.98

Lognormal [#4]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	4				
Estadística	0.319				
Valor P	0.989				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28
Rechazar?	No	No	No	No	No

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.111				
Valor P	0.802				
Rango	3				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
4	Lognormal	0.32	1	0.11	3
5	Normal	0.37	2	0.07	1
2	Gamma	1.49	3	0.09	2
3	Gumbel Max	1.74	4	0.11	4
1	Exponential	11.08	5	0.32	5



Precipitaciones Máximas Anuales								
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal	
2	0.500	0.50	44	60	60	58	64	
5	0.200	0.80	103	85	83	86	86	
10	0.100	0.90	147	100	99	105	98	
20	0.050	0.95	192	113	114	124	108	
25	0.040	0.96	206	117	118	130	111	
50	0.020	0.98	250	130	133	150	119	
100	0.010	0.99	295	142	148	170	126	

**Figura 21: Resumen estadístico de la estación Barrera Loncha.**



LAGUNA CULEO

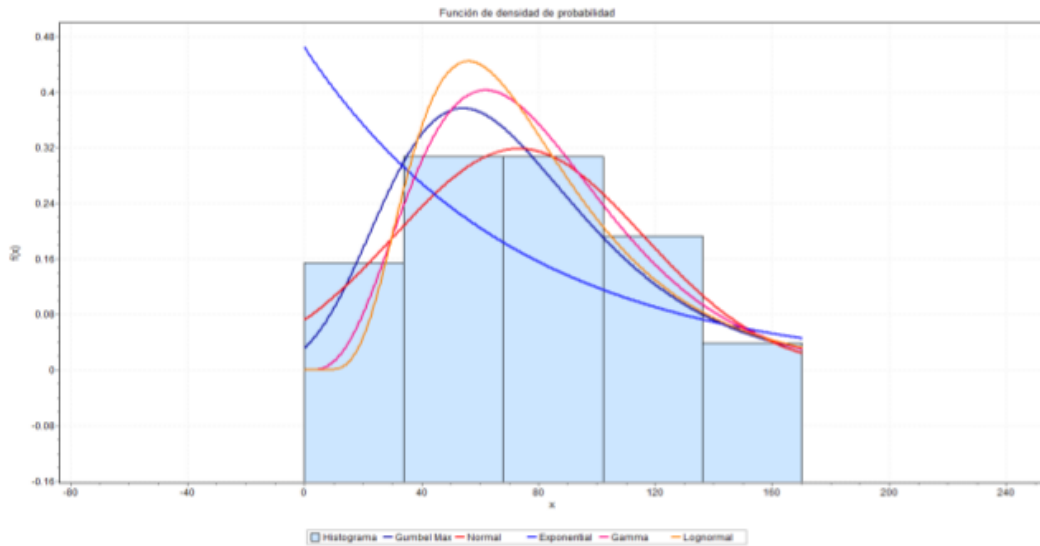
Estadística descriptiva		Percentil	
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	26	Min	0
Rango	170	5%	0
Media	73.27	10%	22.4
Varianza	1814.80	25% (Q1)	39.75
Desviación estándar	42.60	50% (Mediana)	68.5
Coef. de variación	0.58	75% (Q3)	100.45
Error estándar	8.35	90%	130
Asimetría	0.35	95%	156
Curiosis	-0.29	Max	170

Normal [#5]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.29				
Valor P	0.96				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.35
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponencial	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	2.96	$\beta=$ 24.77
3	Gumbel Max	$\sigma=$	42.60	$\mu=$ 54.10
4	Lognormal	$\sigma=$	0.49	$\mu=$ 4.26
5	Normal	$\sigma=$	42.60	$\mu=$ 73.27

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	26				
Estadística	0.102				
Valor P	0.927				
Rango	3				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.20	0.23	0.26	0.29	0.31
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	0.29	1	0.10	3
2	Gamma	0.30	2	0.09	1
3	Gumbel Max	0.31	3	0.09	2
4	Lognormal	1.20	4	0.15	4
1	Exponencial	1.89	5	0.28	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	51	65	66	71	73
5	0.200	0.80	118	105	104	106	109
10	0.100	0.90	169	130	129	132	128
20	0.050	0.95	219	154	153	157	143
25	0.040	0.96	236	162	160	166	148
50	0.020	0.98	287	185	184	192	161
100	0.010	0.99	337	206	207	219	172

Figura 22: Resumen estadístico de la estación Laguna Aculeo.



PIRQUE

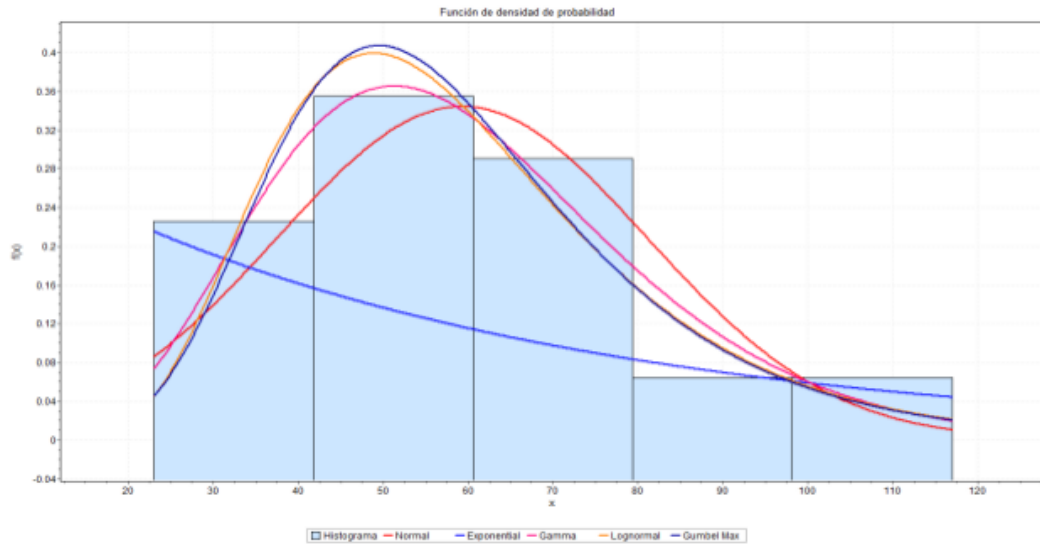
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	23
Rango	94	5%	25.7
Media	59.28	10%	36.54
Varianza	474.64	25% (Q1)	45.5
Desviación estándar	21.79	50% (Mediana)	56
CoeF. de variación	0.37	75% (Q3)	67.8
Error estándar	3.91	90%	95.4
Asimetría	0.92	95%	111
Curkosis	0.91	Max	117

Gamma [02]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad		3			
Estadística		0.514			
Valor P		0.916			
Rango		1			
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.35
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.02	
2	Gamma	$\alpha=$	7.40	$\beta=$ 8.01
3	Gumbel Max	$\sigma=$	21.79	$\mu=$ 49.48
4	Lognormal	$\sigma=$	0.36	$\mu=$ 4.02
5	Normal	$\sigma=$	21.79	$\mu=$ 59.28

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra		31			
Estadística		0.106			
Valor P		0.837			
Rango		3			
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
1	Exponential	18.11	5	0.40	5
2	Gamma	0.51	1	0.11	3
3	Gumbel Max	1.29	2	0.08	1
4	Lognormal	1.39	3	0.09	2
5	Normal	1.70	4	0.14	4



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Proexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	41	57	56	56	59
5	0.200	0.80	95	76	75	75	78
10	0.100	0.90	136	88	88	88	87
20	0.050	0.95	178	99	100	101	95
25	0.040	0.96	191	102	104	105	97
50	0.020	0.98	232	112	116	117	104
100	0.010	0.99	273	121	128	129	110

Figura 23: Resumen estadístico de la estación Pirque.



SAN GABRIEL

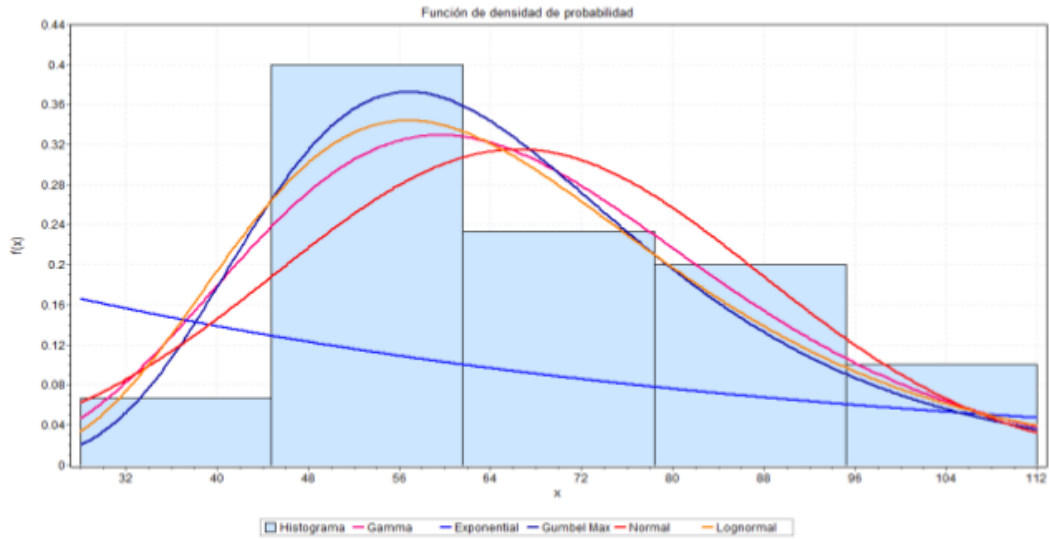
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	30	Min	28
Rango	84	5%	33.5
Media	66.40	10%	45
Varianza	452.67	25% (Q1)	49
Desviación estándar	21.28	50% (Mediana)	63.3
Coef. de variación	0.32	75% (Q3)	85.25
Error estándar	3.88	90%	97.25
Asimetría	0.37	95%	107.6
Curiosis	-0.72	Max	112

Gumbel Max [03]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.44				
Valor P	0.93				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponencial	$\lambda=$	0.02	
2	Gamma	$\alpha=$	9.74	$\beta=$ 6.82
3	Gumbel Max	$\sigma=$	21.28	$\mu=$ 56.83
4	Lognormal	$\sigma=$	0.33	$\mu=$ 4.14
5	Normal	$\sigma=$	21.28	$\mu=$ 66.40

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	30				
Estadística	0.138				
Valor P	0.574				
Rango	3				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.22	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
3	Gumbel Max	0.44	1	0.14	3
4	Lognormal	0.65	2	0.12	1
2	Gamma	0.70	3	0.13	2
5	Normal	2.12	4	0.15	4
1	Exponencial	10.10	5	0.43	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Proexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	46	64	63	63	66
5	0.200	0.80	107	83	82	83	84
10	0.100	0.90	153	95	94	96	94
20	0.050	0.95	199	105	106	108	101
25	0.040	0.96	214	108	110	112	104
50	0.020	0.98	260	117	122	123	110
100	0.010	0.99	306	126	133	135	116

Figura 24: Resumen estadístico de la estación San Gabriel.



LOS GUINDOS

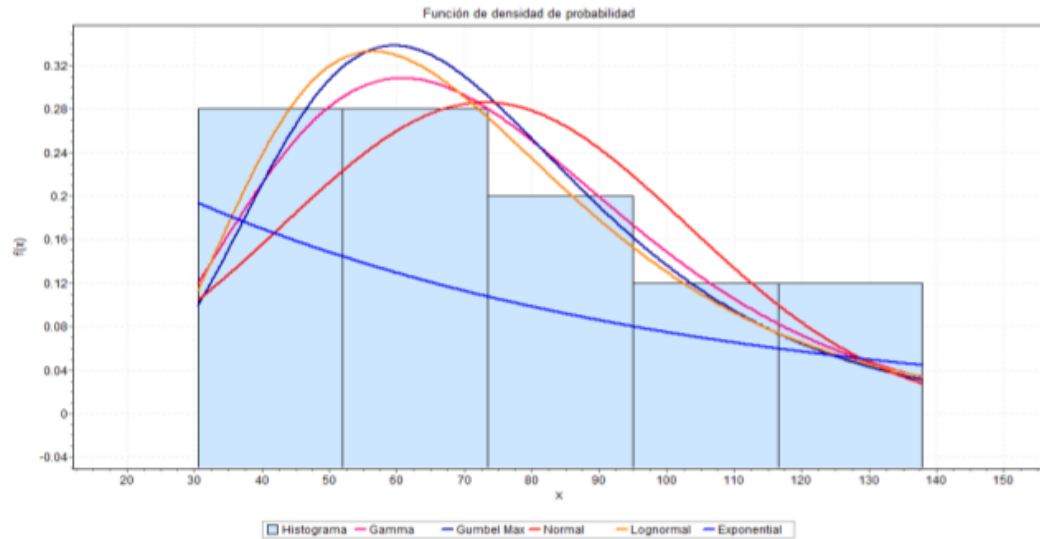
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25	Min	30.5
Rango	107.50	5%	30.5
Media	73.07	10%	33.5
Varianza	898.37	25% (Q1)	47.5
Desviación estándar	29.97	50% (Mediana)	67.5
Coef. de variación	0.41	75% (Q3)	92.5
Error estándar	5.99	90%	120
Asimetría	0.53	95%	132.6
Curiosis	-0.51	Max	138

Gamma [#2]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.280				
Valor P	0.964				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste					
#	Distribución	Parámetros			
1	Exponencial	$\lambda$ =	0.01		
2	Gamma	$\alpha$ =	5.94	$\beta$ =	12.29
3	Gumbel Max	$\sigma$ =	29.97	$\mu$ =	59.58
4	Lognormal	$\sigma$ =	0.42	$\mu$ =	4.21
5	Normal	$\sigma$ =	29.97	$\mu$ =	73.07

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	25				
Estadística	0.092				
Valor P	0.970				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.21	0.24	0.26	0.30	0.32
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
2	Gamma	0.28	1	0.09	1
4	Lognormal	0.29	2	0.11	3
3	Gumbel Max	0.31	3	0.09	2
5	Normal	0.99	4	0.11	4
1	Exponencial	17.63	5	0.34	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	51	69	68	67	73
5	0.200	0.80	118	96	95	96	98
10	0.100	0.90	168	113	112	115	111
20	0.050	0.95	219	128	129	134	122
25	0.040	0.96	235	133	134	140	126
50	0.020	0.98	286	147	151	159	135
100	0.010	0.99	336	160	167	178	143

Figura 25: Resumen estadístico de la estación Los Guindos.



LOS GUINDOS

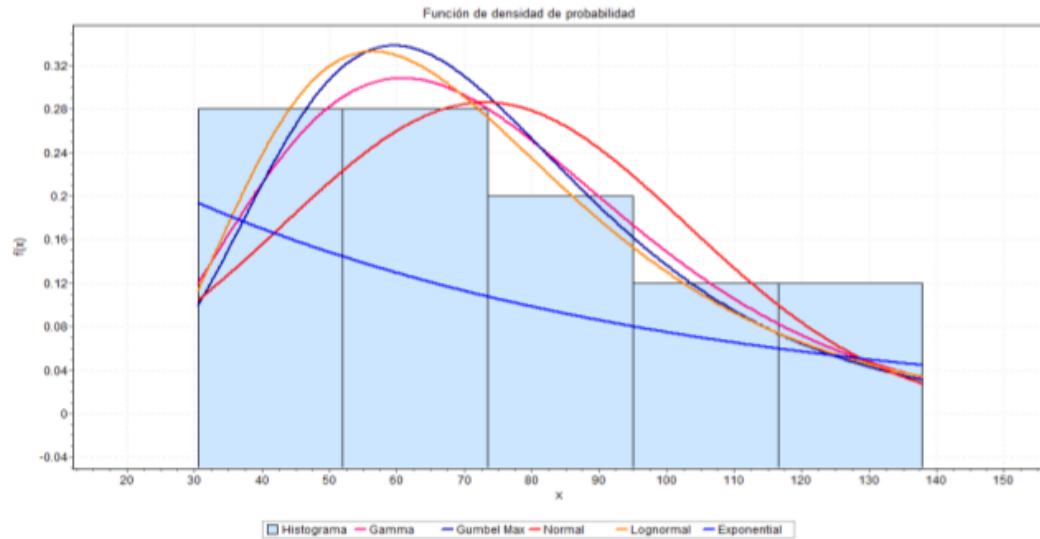
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25	Min	30.5
Rango	107.50	5%	30.5
Media	73.07	10%	33.5
Varianza	898.37	25% (Q1)	47.5
Desviación estándar	29.97	50% (Mediana)	67.5
Coef. de variación	0.41	75% (Q3)	92.5
Error estándar	5.99	90%	120
Asimetría	0.53	95%	132.6
Curstosis	-0.51	Max	138

Gamma [#2]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.280				
Valor P	0.964				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste					
#	Distribución	Parámetros			
1	Exponencial	$\lambda$ =	0.01		
2	Gamma	$\alpha$ =	5.94	$\beta$ =	12.29
3	Gumbel Max	$\sigma$ =	29.97	$\mu$ =	59.58
4	Lognormal	$\sigma$ =	0.42	$\mu$ =	4.21
5	Normal	$\sigma$ =	29.97	$\mu$ =	73.07

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	25				
Estadística	0.092				
Valor P	0.970				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.21	0.24	0.26	0.30	0.32
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
2	Gamma	0.28	1	0.09	1
4	Lognormal	0.29	2	0.11	3
3	Gumbel Max	0.31	3	0.09	2
5	Normal	0.99	4	0.11	4
1	Exponencial	17.63	5	0.34	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	51	69	68	67	73
5	0.200	0.80	118	96	95	96	98
10	0.100	0.90	168	113	112	115	111
20	0.050	0.95	219	128	129	134	122
25	0.040	0.96	235	133	134	140	126
50	0.020	0.98	286	147	151	159	135
100	0.010	0.99	336	160	167	178	143

Figura 26: Resumen estadístico de la estación Los Guindos.



LOS QUEÑES

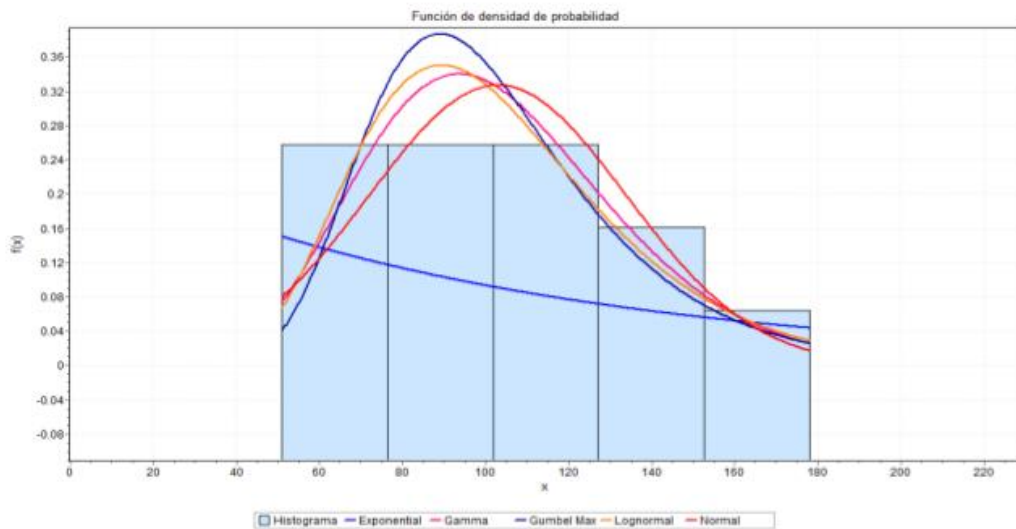
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	51
Rango	127	5%	52.2
Media	102.90	10%	64.36
Varianza	959.09	25% (Q1)	75
Desviación estándar	30.97	50% (Mediana)	98
Coef. de variación	0.30	75% (Q3)	122.5
Error estándar	5.56	90%	143.3
Asimetría	0.34	95%	166.42
Curiosis	-0.21	Max	178

Normal [N5]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad		3			
Estadística		0.561			
Valor P		0.905			
Rango		1			
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	11.04	$\beta=$ 9.32
3	Gumbel Max	$\sigma=$	30.97	$\mu=$ 88.96
4	Lognormal	$\sigma=$	0.31	$\mu=$ 4.59
5	Normal	$\sigma=$	30.97	$\mu=$ 102.90

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra		31			
Estadística		0.093			
Valor P		0.927			
Rango		2			
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	0.56	1	0.09	2
4	Lognormal	2.36	2	0.10	3
2	Gamma	3.57	3	0.09	1
3	Gumbel Max	3.97	4	0.12	4
1	Exponential	15.60	5	0.40	5



T (años)	P exc	Precipitaciones Máximas Anuales					
		Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	71	100	98	98	103
5	0.200	0.80	166	128	125	127	129
10	0.100	0.90	237	144	143	146	143
20	0.050	0.95	308	159	161	163	154
25	0.040	0.96	331	163	166	169	157
50	0.020	0.98	403	176	183	185	166
100	0.010	0.99	474	188	200	201	175

Figura 27: Resumen estadístico de la estación Los Queñes.



EL MANZANO

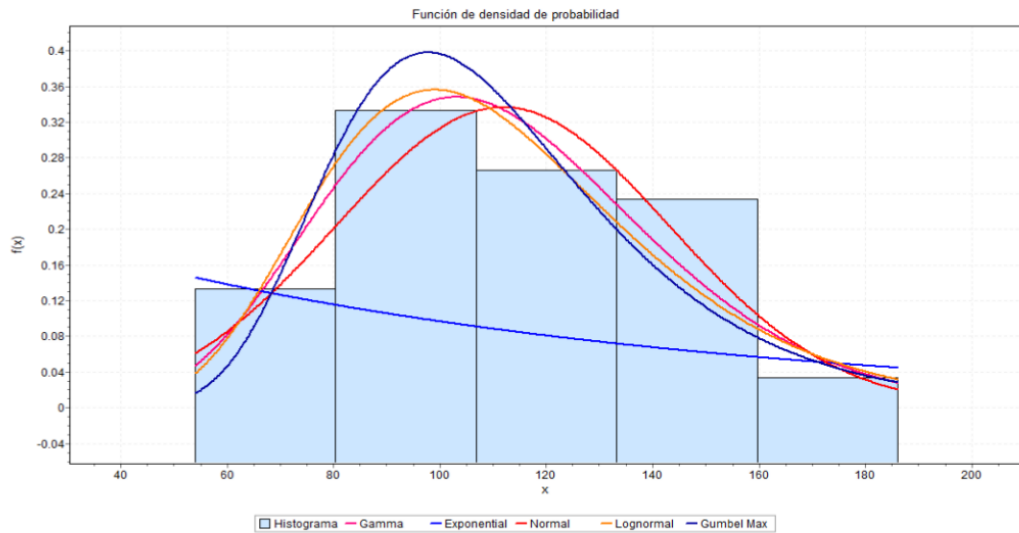
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	30	Min	54
Rango	132	5%	58.68
Media	111.77	10%	74.40
Varianza	978.84	25% (Q1)	86.38
Desviación estándar	31.29	50% (Mediana)	111.25
Coef. de variación	0.28	75% (Q3)	139.50
Error estándar	5.71	90%	152.70
Asimetría	0.27	95%	169.50
Curstosis	-0.37	Max	186

Lognormal [#4]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	4				
Estadística	0.510				
Valor P	0.973				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste					
#	Distribución	Parámetros			
1	Exponential	$\lambda=$	0.01		
2	Gamma	$\alpha=$	12.76	$\beta=$	8.76
3	Gumbel Max	$\sigma=$	31.29	$\mu=$	97.69
4	Lognormal	$\sigma=$	0.29	$\mu=$	4.68
5	Normal	$\sigma=$	31.29	$\mu=$	111.77

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	30				
Estadística	0.080				
Valor P	0.983				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.22	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
4	Lognormal	0.51	1	0.08	1
2	Gamma	0.85	2	0.08	2
3	Gumbel Max	1.10	3	0.09	3
5	Normal	1.57	4	0.10	4
1	Exponential	23.10	5	0.42	5



Precipitaciones Máximas Anuales								
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal	
2	0.500	0.50	77	109	107	107	112	
5	0.200	0.80	180	137	134	137	138	
10	0.100	0.90	257	153	153	155	152	
20	0.050	0.95	335	168	170	172	163	
25	0.040	0.96	360	172	176	177	167	
50	0.020	0.98	437	185	193	194	176	
100	0.010	0.99	515	197	210	209	185	

Figura 28: Resumen estadístico de la estación El Manzano.



SANTA SUSANA

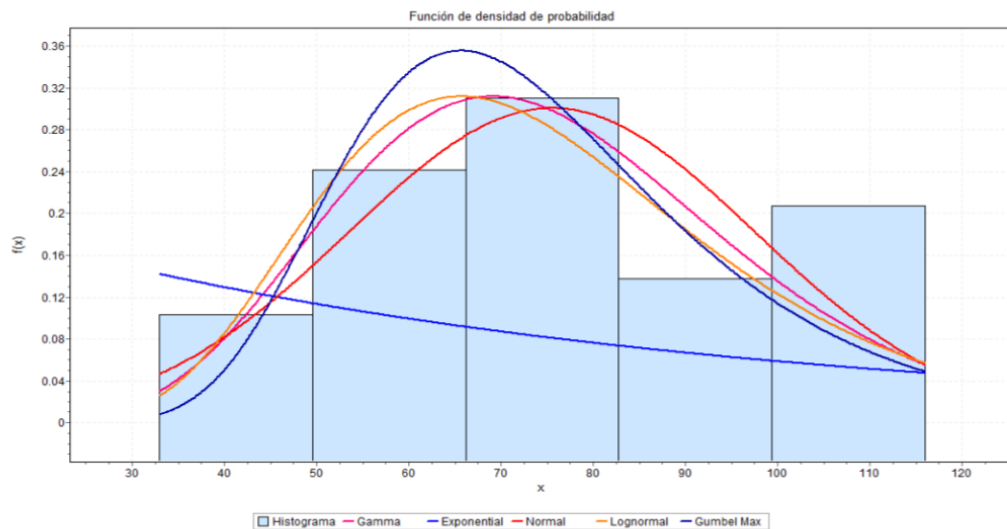
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	29	Min	33
Rango	83	5%	38.9
Media	75.55	10%	48
Varianza	485.18	25% (Q1)	54
Desviación estándar	22.03	50% (Mediana)	75
Coef. de variación	0.29	75% (Q3)	96
Error estándar	4.09	90%	104
Asimetría	0.03	95%	114.2
Curtosis	-0.87	Max	116

Normal [#5]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	2				
Estadística	0.643				
Valor P	0.725				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	3.22	4.61	5.99	7.82	9.21
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.013	
2	Gamma	$\alpha=$	11.765	$\beta=$ 6.42
3	Gumbel Max	$\sigma=$	22.027	$\mu=$ 65.64
4	Lognormal	$\sigma=$	0.308	$\mu=$ 4.28
5	Normal	$\sigma=$	22.027	$\mu=$ 75.55

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	29				
Estadística	0.100				
Valor P	0.903				
Rango	2				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.22	0.25	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	0.64	1	0.10	2
2	Gamma	1.95	2	0.11	3
4	Lognormal	2.88	3	0.10	1
3	Gumbel Max	3.17	4	0.12	4
1	Exponential	16.34	5	0.41	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	52	73	72	72	76
5	0.200	0.80	122	93	91	94	94
10	0.100	0.90	174	105	104	107	104
20	0.050	0.95	226	115	117	120	112
25	0.040	0.96	243	118	121	124	114
50	0.020	0.98	296	127	133	136	121
100	0.010	0.99	348	136	145	148	127

Figura 29: Resumen estadístico de la estación Santa Susana.



CURICO

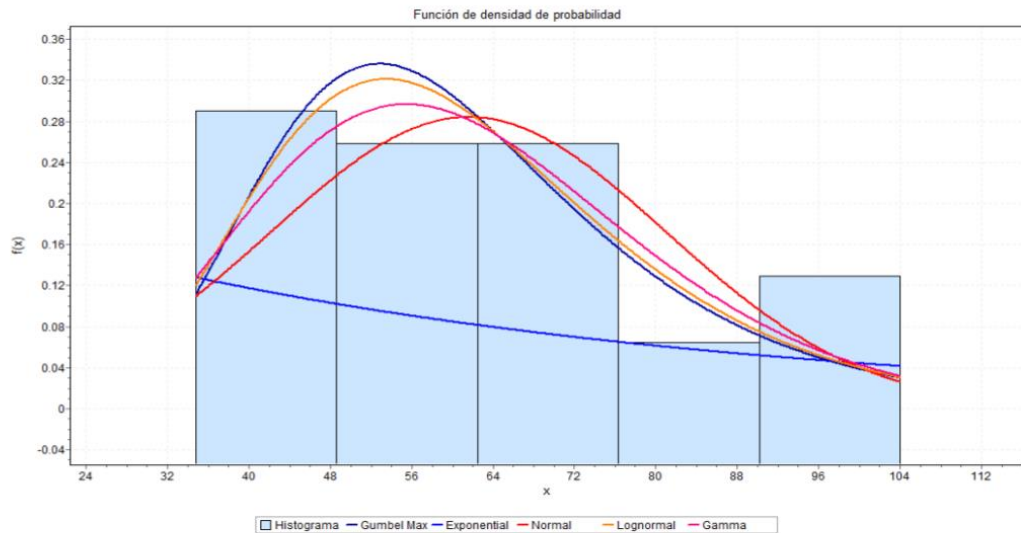
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	34.8
Rango	69.20	5%	35.16
Media	61.58	10%	36.84
Varianza	377.92	25% (Q1)	45
Desviación estándar	19.44	50% (Mediana)	59.5
Coef. de variación	0.32	75% (Q3)	69.7
Error estándar	3.49	90%	95
Asimetría	0.66	95%	103.4
Curtosis	-0.18	Max	104

Lognormal [#4]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.221				
Valor P	0.974				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.02	
2	Gamma	$\alpha=$	10.03	$\beta=$ 6.14
3	Gumbel Max	$\sigma=$	19.44	$\mu=$ 52.83
4	Lognormal	$\sigma=$	0.31	$\mu=$ 4.07
5	Normal	$\sigma=$	19.44	$\mu=$ 61.58

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.066				
Valor P	0.998				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
4	Lognormal	0.22	1	0.07	1
5	Normal	0.37	2	0.11	4
2	Gamma	0.54	3	0.08	3
3	Gumbel Max	0.99	4	0.07	2
1	Exponential	30.28	5	0.43	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	43	60	58	59	62
5	0.200	0.80	99	77	76	76	78
10	0.100	0.90	142	87	87	87	86
20	0.050	0.95	184	97	98	97	94
25	0.040	0.96	198	99	101	101	96
50	0.020	0.98	241	108	112	110	102
100	0.010	0.99	284	116	123	120	107

Figura 30: Resumen estadístico de la estación Curicó.



LA PALMA

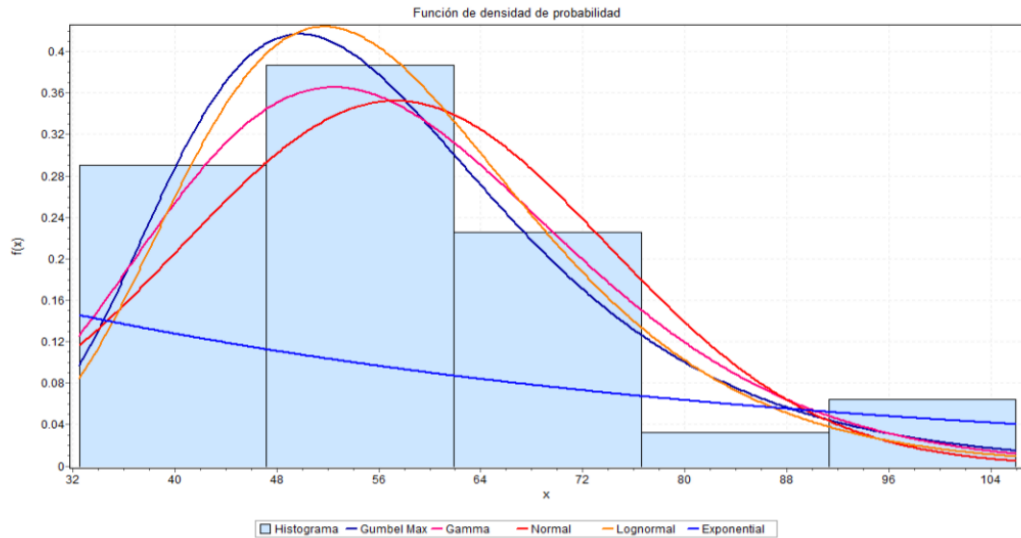
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	32.5
Rango	73.50	5%	37.3
Media	57.28	10%	41.8
Varianza	277.00	25% (Q1)	46.5
Desviación estándar	16.64	50% (Mediana)	50.5
Coef. de variación	0.29	75% (Q3)	67
Error estándar	2.99	90%	79.9
Asimetría	1.42	95%	102.4
Curtosis	2.09	Max	106

Gumbel Max [#3]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	5.393				
Valor P	0.145				
Rango	2				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	Si	No	No	No	No

Resultados de ajuste					
#	Distribución	Parámetros			
1	Exponencial	$\lambda=$	0.02		
2	Gamma	$\alpha=$	11.85	$\beta=$	4.84
3	Gumbel Max	$\sigma=$	16.64	$\mu=$	49.79
4	Lognormal	$\sigma=$	0.26	$\mu=$	4.01
5	Normal	$\sigma=$	16.64	$\mu=$	57.28

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.149				
Valor P	0.449				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
3	Gumbel Max	5.39	2	0.15	1
4	Lognormal	7.68	3	0.17	2
2	Gamma	10.78	4	0.17	3
5	Normal	14.98	5	0.21	4
1	Exponencial	2.59	1	0.47	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	40	56	55	55	57
5	0.200	0.80	92	71	69	69	71
10	0.100	0.90	132	79	79	77	79
20	0.050	0.95	172	87	88	85	85
25	0.040	0.96	184	89	91	87	86
50	0.020	0.98	224	96	100	94	91
100	0.010	0.99	264	103	109	101	96

Figura 31: Resumen estadístico de la estación La Palma.



PICHILEMU

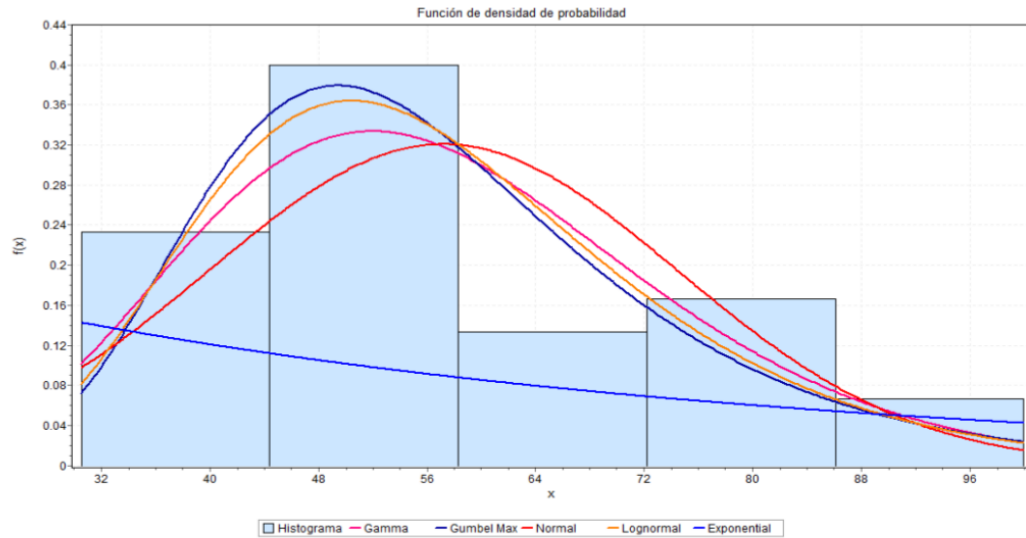
Estadística descriptiva		Percentil	
Estadística	Valor		Valor
Tamaño de la muestra	30	Min	30.5
Rango	69.5	5%	33.25
Media	57.18	10%	36.3
Varianza	299.00	25% (Q1)	44.75
Desviación estándar	17.29	50% (Mediana)	54.5
Coef. de variación	0.30	75% (Q3)	68.75
Error estándar	3.16	90%	84.35
Asimetría	0.73	95%	92.85
Curtosis	-0.15	Max	100

Normal [#5]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.590				
Valor P	0.899				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.02	
2	Gamma	$\alpha=$	10.93	$\beta=$ 5.23
3	Gumbel Max	$\sigma=$	17.29	$\mu=$ 49.40
4	Lognormal	$\sigma=$	0.29	$\mu=$ 4.00
5	Normal	$\sigma=$	17.29	$\mu=$ 57.18

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	30				
Estadística	0.128				
Valor P	0.666				
Rango	4				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.22	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	0.59	1	0.13	4
4	Lognormal	1.10	2	0.11	3
3	Gumbel Max	1.10	3	0.11	2
2	Gamma	1.35	4	0.10	1
1	Exponential	17.49	5	0.43	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	40	55	54	55	57
5	0.200	0.80	92	71	70	70	72
10	0.100	0.90	132	80	80	79	79
20	0.050	0.95	171	88	89	88	86
25	0.040	0.96	184	91	93	91	87
50	0.020	0.98	224	98	102	99	93
100	0.010	0.99	263	105	111	108	97

Figura 32: Resumen estadístico de la estación Pichilemu.



NILAHUE

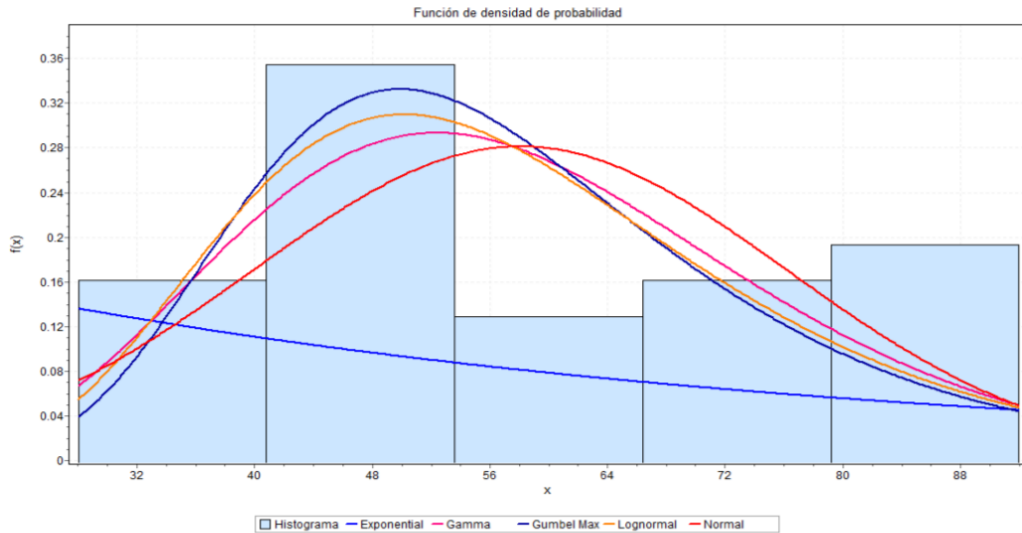
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Mm	28
Rango	64	5%	29.8
Media	58.05	10%	38.2
Varianza	329.86	25% (Q1)	44
Desviación estándar	18.16	50% (Mediana)	53
Coef. de variación	0.31	75% (Q3)	75
Error estándar	3.26	90%	86.4
Asimetría	0.40	95%	90.2
Curtosis	-0.97	Max	92

Gamma [#2]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.467				
Valor P	0.926				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste					
#	Distribución	Parámetros			
1	Exponential	$\lambda=$	0.02		
2	Gamma	$\alpha=$	10.22	$\beta=$	5.68
3	Gumbel Max	$\sigma=$	18.16	$\mu=$	49.87
4	Lognormal	$\sigma=$	0.31	$\mu=$	4.01
5	Normal	$\sigma=$	18.16	$\mu=$	58.05

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.130				
Valor P	0.628				
Rango	3				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
2	Gamma	0.47	1	0.13	3
4	Lognormal	1.80	2	0.11	1
3	Gumbel Max	1.87	3	0.11	2
5	Normal	3.76	4	0.17	4
1	Exponential	20.19	5	0.42	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	40	56	55	55	58
5	0.200	0.80	93	73	71	72	73
10	0.100	0.90	134	82	82	83	81
20	0.050	0.95	174	91	92	93	88
25	0.040	0.96	187	93	95	96	90
50	0.020	0.98	227	101	105	105	95
100	0.010	0.99	267	108	115	115	100

Figura 33: Resumen estadístico de la estación Nilahue.



RANGULI

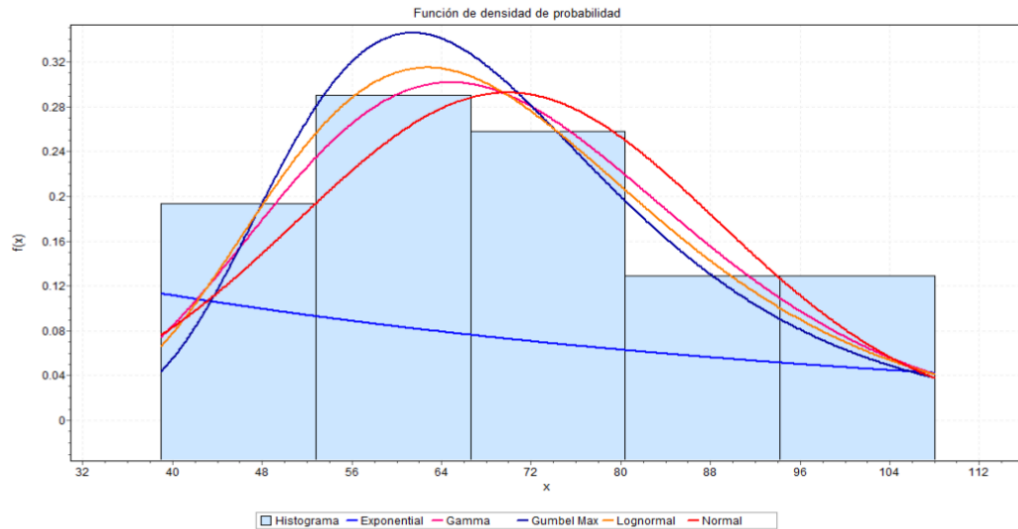
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	39
Rango	69	5%	42
Media	69.87	10%	45
Varianza	354.21	25% (Q1)	55.2
Desviación estándar	18.82	50% (Mediana)	67
Coef. de variación	0.27	75% (Q3)	84
Error estándar	3.38	90%	99.8
Asimetría	0.35	95%	105
Curtosis	-0.75	Max	108

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	13.78	$\beta=$ 5.07
3	Gumbel Max	$\sigma=$	18.82	$\mu=$ 61.40
4	Lognormal	$\sigma=$	0.27	$\mu=$ 4.21
5	Normal	$\sigma=$	18.82	$\mu=$ 69.87

Gamma [#2]						
Chi-cuadrado						
Grados de libertad	3					
Estadística	0.057					
Valor P	0.996					
Rango	1					
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34	
Rechazar?	No	No	No	No	No	

Kolmogorov-Smirnov						
Tamaño de la muestra	31					
Estadística	0.062					
Valor P	0.999					
Rango	1					
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29	
Rechazar?	No	No	No	No	No	

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
2	Gamma	0.06	1	0.06	1
3	Gumbel Max	0.39	2	0.08	4
4	Lognormal	0.41	3	0.06	2
5	Normal	0.74	4	0.08	3
1	Exponential	32.31	5	0.44	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponential	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	48	68	67	67	70
5	0.200	0.80	112	85	83	85	86
10	0.100	0.90	161	95	94	95	94
20	0.050	0.95	209	103	105	105	101
25	0.040	0.96	225	106	108	108	103
50	0.020	0.98	273	114	119	117	109
100	0.010	0.99	322	121	129	126	114

Figura 34: Resumen estadístico de la estación Ranguili.



EL MEMBRILLO

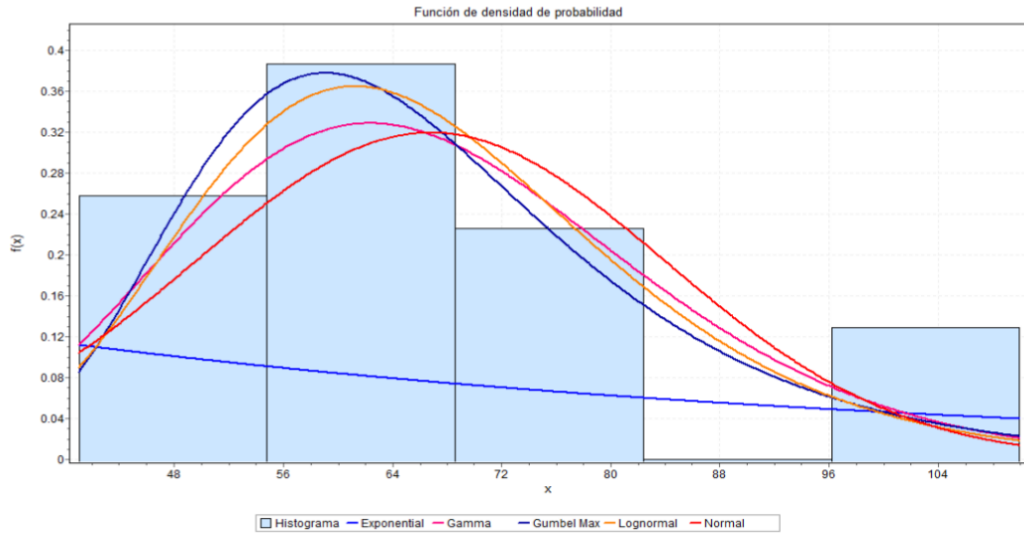
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	41
Rango	69	5%	46.4
Media	66.78	10%	50
Varianza	297.02	25% (Q1)	50.1
Desviación estándar	17.23	50% (Mediana)	60
Coef. de variación	0.26	75% (Q3)	77
Error estándar	3.10	90%	99.24
Asimetría	0.98	95%	105.2
Curtosis	0.43	Max	110

Normal [#5]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	1.514				
Valor P	0.679				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	15.01	$\beta=$ 4.45
3	Gumbel Max	$\sigma=$	17.23	$\mu=$ 59.02
4	Lognormal	$\sigma=$	0.24	$\mu=$ 4.17
5	Normal	$\sigma=$	17.23	$\mu=$ 66.78

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.169				
Valor P	0.303				
Rango	4				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	1.51	1	0.17	4
2	Gamma	1.67	2	0.14	2
4	Lognormal	2.25	3	0.14	3
3	Gumbel Max	2.30	4	0.12	1
1	Exponential	27.04	5	0.49	5



Precipitaciones Máximas Anuales								
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal	
2	0.500	0.50	46	65	64	65	67	
5	0.200	0.80	107	81	79	79	81	
10	0.100	0.90	154	90	89	88	89	
20	0.050	0.95	200	97	99	96	95	
25	0.040	0.96	215	100	102	99	97	
50	0.020	0.98	261	107	111	106	102	
100	0.010	0.99	308	113	121	113	107	

Figura 35: Resumen estadístico de la estación El Membrillo.



CANDELARIA

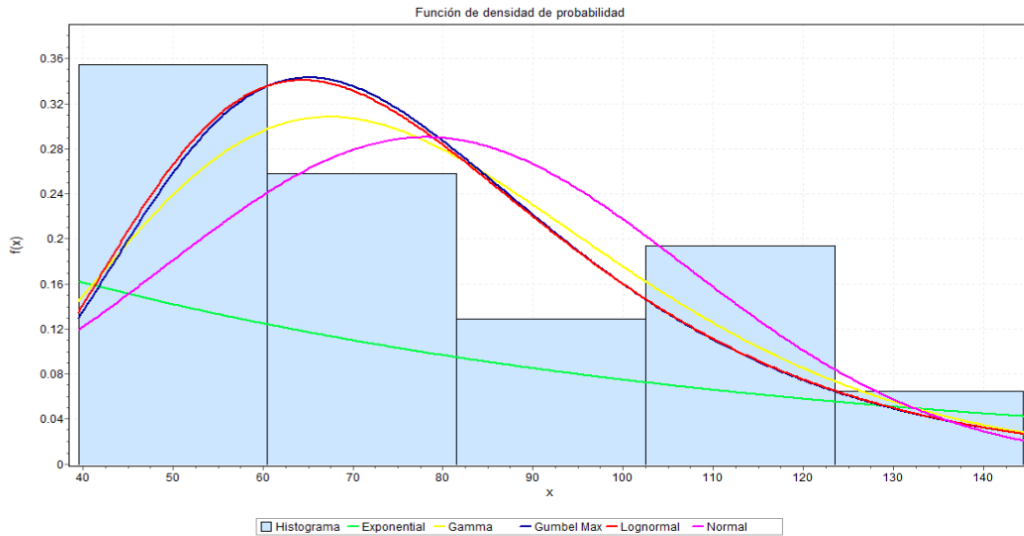
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	39.5
Rango	105	5%	39.98
Media	78.05	10%	48.72
Varianza	833.99	25% (Q1)	52.3
Desviación estándar	28.88	50% (Mediana)	70.6
Coeff. de variación	0.37	75% (Q3)	103.2
Error estándar	5.19	90%	115.48
Asimetría	0.66	95%	140.48
Curtosis	-0.51	Max	144.5

Gumbel Max [#3]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.697				
Valor P	0.874				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste					
#	Distribución	Parámetros			
1	Exponential	$\lambda=$	0.01		
2	Gamma	$\alpha=$	7.30	$\beta=$	10.69
3	Gumbel Max	$\sigma=$	28.88	$\mu=$	65.05
4	Lognormal	$\sigma=$	0.36	$\mu=$	4.29
5	Normal	$\sigma=$	28.88	$\mu=$	78.05

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.117				
Valor P	0.747				
Rango	3				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
3	Gumbel Max	0.70	1	0.12	3
4	Lognormal	0.73	2	0.12	2
2	Gamma	1.21	3	0.10	1
5	Normal	3.75	4	0.14	4
1	Exponential	20.02	5	0.40	5



Precipitaciones Máximas Anuales								
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal	
2	0.500		54	75	73	73	78	
5	0.200		126	101	99	99	102	
10	0.100		180	117	116	116	115	
20	0.050		234	131	132	132	126	
25	0.040		251	135	137	137	129	
50	0.020		305	148	153	153	137	
100	0.010		359	160	169	168	145	

Figura 36: Resumen estadístico de la estación Candelaria.



CONVENTO VIEJO

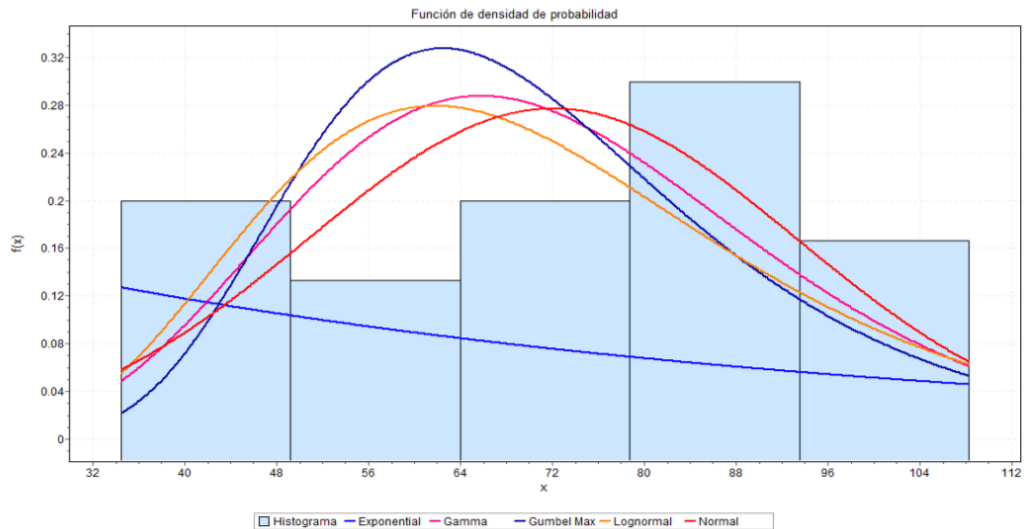
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	30	Min	34.5
Rango	73.8	5%	35.875
Media	72.04	10%	39.63
Varianza	451.47	25% (Q1)	58.8
Desviación estándar	21.25	50% (Mediana)	74.6
Coef. de variación	0.29	75% (Q3)	86.7
Error estándar	3.88	90%	101.94
Asimetría	-0.21	95%	105.825
Curiosis	-0.85	Max	108.3

Normal [#5]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.161				
Valor P	0.984				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	11.50	$\beta=$ 6.27
3	Gumbel Max	$\sigma=$	21.25	$\mu=$ 62.48
4	Lognormal	$\sigma=$	0.32	$\mu=$ 4.23
5	Normal	$\sigma=$	21.25	$\mu=$ 72.04

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	30				
Estadística	0.110				
Valor P	0.819				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.22	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	0.16	1	0.11	1
4	Lognormal	0.56	2	0.15	3
2	Gamma	0.85	3	0.14	2
3	Gumbel Max	1.40	4	0.18	4
1	Exponential	26.31	5	0.38	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	50	70	69	69	72
5	0.200	0.80	116	89	87	90	90
10	0.100	0.90	166	100	100	104	99
20	0.050	0.95	216	110	112	117	107
25	0.040	0.96	232	113	115	121	109
50	0.020	0.98	282	122	127	133	116
100	0.010	0.99	332	130	139	146	121

Figura 37: Resumen estadístico de la estación Convento Viejo.



SAN FERNANDO

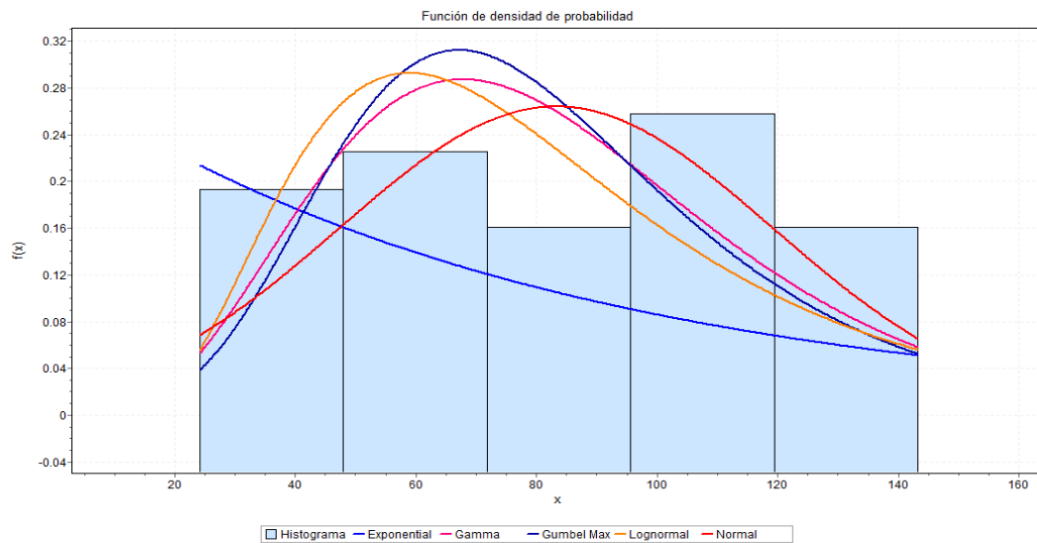
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	24.2
Rango	119	5%	28.28
Media	83.25	10%	32.68
Varianza	1292.70	25% (Q1)	56.4
Desviación estándar	35.95	50% (Mediana)	81
Coef. de variación	0.43	75% (Q3)	112
Error estándar	6.46	90%	141.12
Asimetría	0.12	95%	142.6
Curtosis	-1.07	Max	143.2

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	5.36	$\beta=$ 15.53
3	Gumbel Max	$\sigma=$	35.95	$\mu=$ 67.06
4	Lognormal	$\sigma=$	0.49	$\mu=$ 4.31
5	Normal	$\sigma=$	35.95	$\mu=$ 83.25

Gumbel Max [#3]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.129				
Valor P	0.988				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.141				
Valor P	0.523				
Rango	4				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
3	Gumbel Max	0.13	1	0.14	4
2	Gamma	0.13	2	0.13	3
4	Lognormal	1.26	3	0.12	2
5	Normal	2.55	4	0.10	1
1	Exponential	10.87	5	0.28	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Proexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	58	78	<b>77</b>	75	83
5	0.200	0.80	134	111	<b>109</b>	113	114
10	0.100	0.90	192	131	<b>130</b>	140	129
20	0.050	0.95	249	150	<b>150</b>	167	142
25	0.040	0.96	268	155	<b>157</b>	176	146
50	0.020	0.98	326	172	<b>176</b>	204	157
100	0.010	0.99	383	189	<b>196</b>	233	167

Figura 38: Resumen estadístico de la estación San Fernando.



LA RUFINA

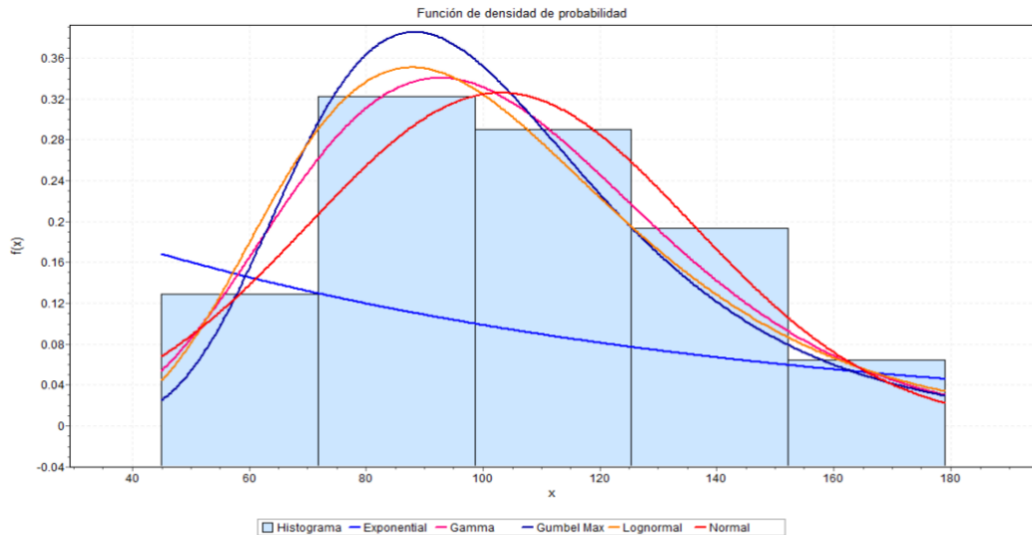
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	45
Rango	134	5%	45.6
Media	103.04	10%	65.48
Varianza	1075.68	25% (Q1)	76
Desviación estándar	32.80	50% (Mediana)	100
Coef. de variación	0.32	75% (Q3)	126
Error estándar	5.89	90%	150
Asimetría	0.40	95%	166.4
Curtosis	-0.24	Max	179

Gumbel Max [#3]						
Chi-cuadrado						
Grados de libertad	3					
Estadística	0.604					
Valor P	0.896					
Rango	1					
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34	
Rechazar?	No	No	No	No	No	

Resultados de ajuste					
#	Distribución	Parámetros			
1	Exponential	$\lambda=$	0.010		
2	Gamma	$\alpha=$	9.869	$\beta=$	10.44
3	Gumbel Max	$\sigma=$	32.798	$\mu=$	88.27
4	Lognormal	$\sigma=$	0.329	$\mu=$	4.58
5	Normal	$\sigma=$	32.798	$\mu=$	103.04

Kolmogorov-Smirnov						
Tamaño de la muestra	31					
Estadística	0.085					
Valor P	0.963					
Rango	3					
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29	
Rechazar?	No	No	No	No	No	

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
3	Gumbel Max	0.60	1	0.09	3
4	Lognormal	0.68	2	0.08	2
5	Normal	0.71	3	0.12	4
2	Gamma	1.39	4	0.08	1
1	Exponential	24.78	5	0.40	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	71	100	98	98	103
5	0.200	0.80	166	129	127	129	131
10	0.100	0.90	237	147	146	149	145
20	0.050	0.95	309	162	164	168	157
25	0.040	0.96	332	167	170	174	160
50	0.020	0.98	403	181	188	192	170
100	0.010	0.99	474	194	206	210	179

Figura 39: Resumen estadístico de la estación La Rufina.



RANCAGUA

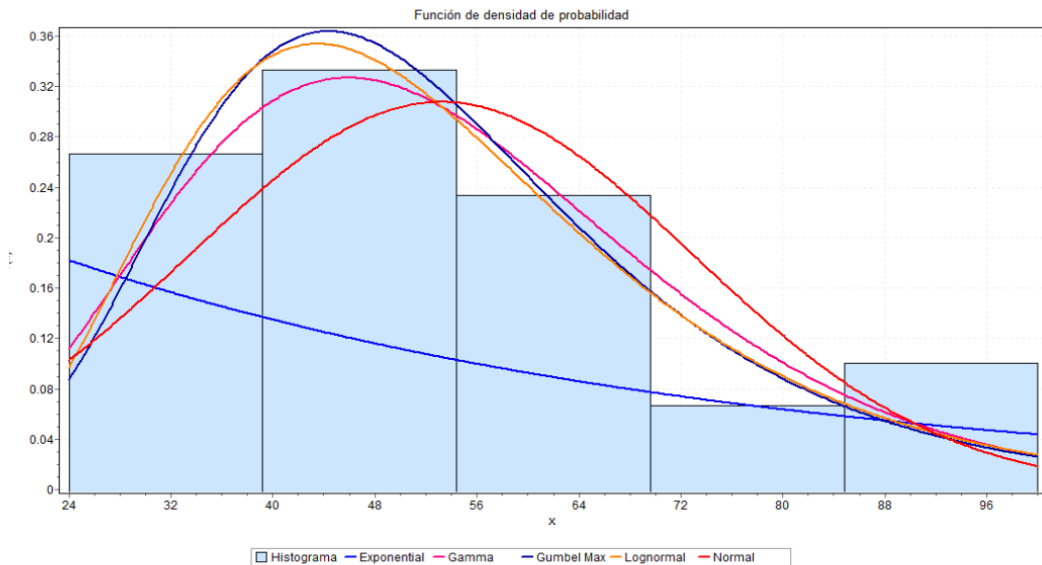
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	30	Min	24
Modo	76	5%	25.43
Mediana	53.21	10%	29.38
Varianza	388.90	25% (Q1)	35.575
Desviación estándar	19.72	50% (Mediana)	52.25
Coeff. de variación	0.37	75% (Q3)	65
Error estándar	3.60	90%	84.2
Asimetría	0.66	95%	97.525
Kurtosis	0.05	Max	100

Normal [#5]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	4				
Estadística	0.621				
Valor P	0.961				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.02	
2	Gamma	$\alpha=$	7.28	$\beta=$ 7.31
3	Gumbel Max	$\sigma=$	19.72	$\mu=$ 44.33
4	Lognormal	$\sigma=$	0.37	$\mu=$ 3.91
5	Normal	$\sigma=$	19.72	$\mu=$ 53.21

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	30				
Estadística	0.114				
Valor P	0.787				
Rango	4				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.22	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	0.62	1	0.11	4
4	Lognormal	0.68	2	0.11	3
3	Gumbel Max	0.70	3	0.11	2
2	Gamma	0.95	4	0.09	1
1	Exponential	17.59	5	0.36	5



T (años)	Precipitaciones Máximas Anuales						
	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	37	51	50	50	53
5	0.200	0.80	86	69	67	68	70
10	0.100	0.90	123	80	79	80	78
20	0.050	0.95	159	89	90	91	86
25	0.040	0.96	171	92	94	95	88
50	0.020	0.98	208	101	104	106	94
100	0.010	0.99	245	109	115	117	99

Figura 40: Resumen estadístico de la estación Rancagua.



COLTAUCO

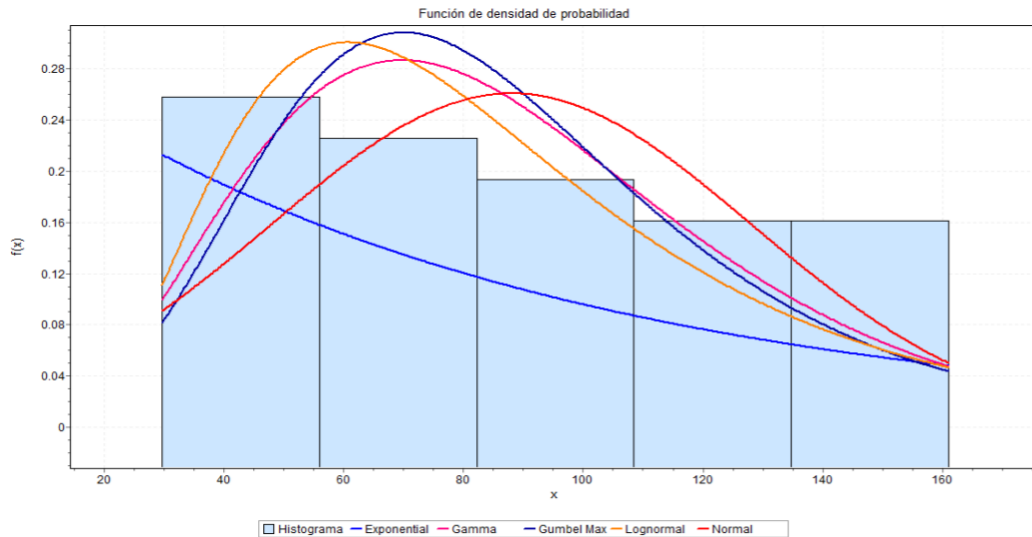
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Mm	29.7
Rango	131.3	5%	30.78
Media	88.0	10%	33.6
Varianza	1614.4	25% (Q1)	48.7
Desviación estándar	40.2	50% (Mediana)	88
Coef. de variación	0.5	75% (Q3)	119.5
Error estándar	7.2	90%	151.66
Asimetría	0.2	95%	158.72
Curtosis	-1.0	Max	161

Normal [#5]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	4				
Estadística	0.359				
Valor P	0.986				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	4.80	$\beta=$ 18.35
3	Gumbel Max	$\sigma=$	40.18	$\mu=$ 69.92
4	Lognormal	$\sigma=$	0.51	$\mu=$ 4.36
5	Normal	$\sigma=$	40.18	$\mu=$ 88.00

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.100				
Valor P	0.885				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	0.36	1	0.10	1
2	Gamma	1.66	2	0.11	2
3	Gumbel Max	1.73	3	0.12	4
4	Lognormal	2.48	4	0.11	3
1	Exponential	6.24	5	0.29	5



T (años)	Precipitaciones Máximas Anuales							Normal
	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal		
2	0.500	0.50	61	82	81	78	88	
5	0.200	0.80	142	119	117	120	122	
10	0.100	0.90	203	142	140	150	139	
20	0.050	0.95	264	163	163	180	154	
25	0.040	0.96	283	169	170	190	158	
50	0.020	0.98	344	189	192	221	171	
100	0.010	0.99	405	207	214	254	181	

Figura 41: Resumen estadístico de la estación Coltauco.



COCALAN

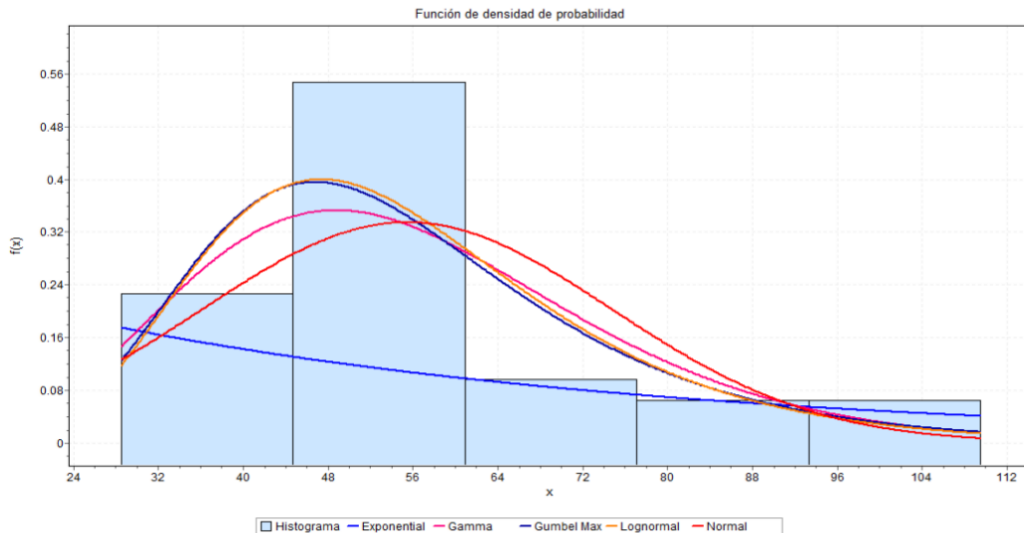
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	28.5
Rango	81	5%	28.8
Media	55.44	10%	31.8
Varianza	372.38	25% (Q1)	47.5
Desviación estándar	19.30	50% (Mediana)	51
Coef. de variación	0.35	75% (Q3)	59
Error estándar	3.47	90%	92.4
Asimetría	1.19	95%	100.8
Curtosis	1.49	Max	109.5

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.02	
2	Gamma	$\alpha=$	8.25	$\beta=$ 6.72
3	Gumbel Max	$\sigma=$	19.30	$\mu=$ 46.75
4	Lognormal	$\sigma=$	0.32	$\mu=$ 3.96
5	Normal	$\sigma=$	19.30	$\mu=$ 55.44

Normal [#5]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	6.996				
Valor P	0.072				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	Si	Si	No	No	No

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.201				
Valor P	0.142				
Rango	4				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	Si	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	0.59	1	0.13	4
4	Lognormal	1.10	2	0.11	3
3	Gumbel Max	1.10	3	0.11	2
2	Gamma	1.35	4	0.10	1
1	Exponential	17.49	5	0.43	5



Precipitaciones Maximias Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	38	53	52	53	55
5	0.200	0.80	89	71	69	69	72
10	0.100	0.90	128	81	81	80	80
20	0.050	0.95	166	91	91	90	87
25	0.040	0.96	178	93	95	93	89
50	0.020	0.98	217	102	105	102	95
100	0.010	0.99	255	110	116	112	100

Figura 42: Resumen estadístico de la estación Cocalan.



PICHIDEGUA

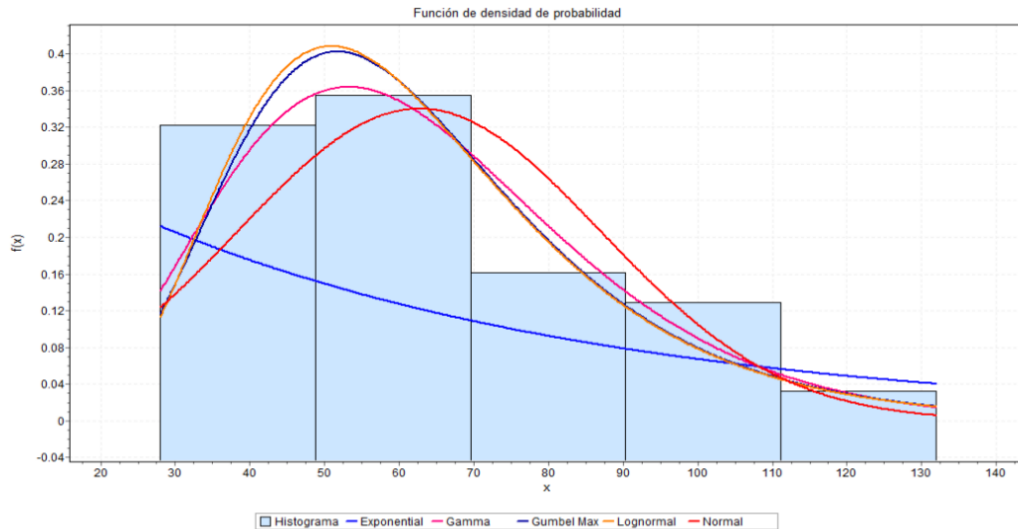
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	28
Rango	103.9	5%	30.4
Media	62.66	10%	34.6
Varianza	594.17	25% (Q1)	42
Desviación estándar	24.38	50% (Mediana)	57.5
Coef. de variación	0.39	75% (Q3)	76.5
Error estándar	4.38	90%	100
Asimetría	0.93	95%	114.56
Curtosis	0.72	Max	131.9

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.02	
2	Gamma	$\alpha=$	6.61	$\beta=$ 9.48
3	Gumbel Max	$\sigma=$	24.38	$\mu=$ 51.69
4	Lognormal	$\sigma=$	0.37	$\mu=$ 4.07
5	Normal	$\sigma=$	24.38	$\mu=$ 62.66

Gumbel Max [#3]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.532				
Valor P	0.912				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.069				
Valor P	0.996				
Rango	2				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
3	Gumbel Max	0.53	1	0.07	2
4	Lognormal	0.61	2	0.07	3
2	Gamma	0.67	3	0.06	1
5	Normal	0.94	4	0.11	4
1	Exponential	22.60	5	0.37	5



T (años)	Precipitaciones Maximas Anuales						
	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	43	60	59	58	63
5	0.200	0.80	101	82	80	80	83
10	0.100	0.90	144	95	94	94	94
20	0.050	0.95	188	107	108	108	103
25	0.040	0.96	202	111	112	112	105
50	0.020	0.98	245	122	126	126	113
100	0.010	0.99	289	133	139	139	119

Figura 43: Resumen estadístico de la estación Pichidegua.



LITUECHE

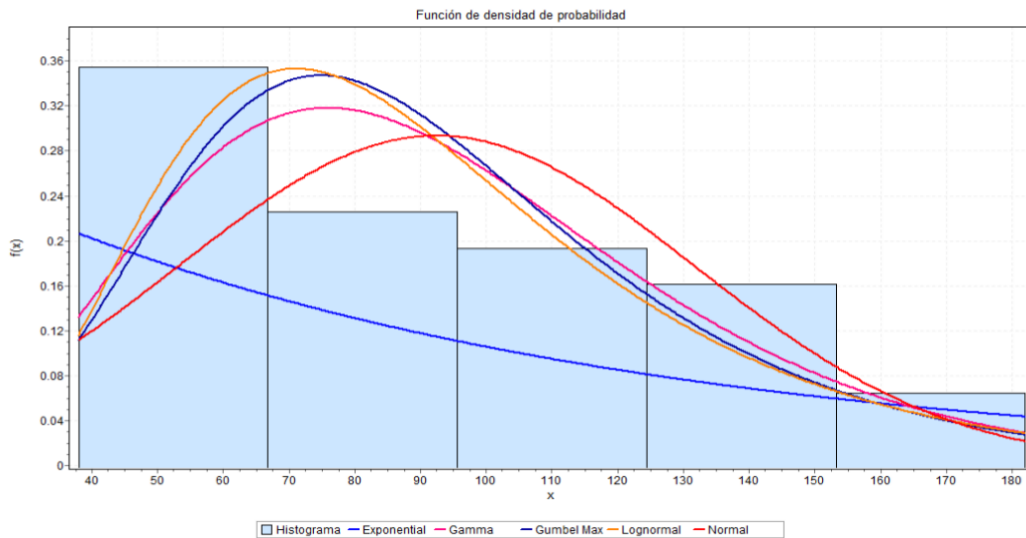
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	38
Rango	144	5%	39.2
Media	92.42	10%	50
Varianza	1533.27	25% (Q1)	60
Desviación estándar	39.16	50% (Mediana)	86
Coef. de variación	0.42	75% (Q3)	120
Error estándar	7.03	90%	146.9
Asimetría	0.67	95%	177.2
Curtosis	-0.41	Max	182

Resultados de ajuste			
#	Distribución	Parámetros	
1	Exponential	$\lambda=$	0.01
2	Gamma	$\alpha=$	5.57 $\beta=$ 16.59
3	Gumbel Max	$\sigma=$	39.16 $\mu=$ 74.80
4	Lognormal	$\sigma=$	0.42 $\mu=$ 4.44
5	Normal	$\sigma=$	39.16 $\mu=$ 92.42

Gamma [#2]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	1.034				
Valor P	0.793				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.109				
Valor P	0.821				
Rango	3				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
2	Gamma	1.03	1	0.11	3
5	Normal	2.16	2	0.15	4
4	Lognormal	3.00	3	0.09	1
3	Gumbel Max	3.25	4	0.11	2
1	Exponential	18.11	5	0.35	5



T (años)	Precipitaciones Máximas Anuales						
	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	64	87	86	85	92
5	0.200	0.80	149	123	121	121	125
10	0.100	0.90	213	145	144	145	143
20	0.050	0.95	277	165	165	169	157
25	0.040	0.96	297	171	172	177	161
50	0.020	0.98	362	189	194	200	173
100	0.010	0.99	426	207	215	225	184

Figura 44: Resumen estadístico de la estación Litueche.



MILLAHUE

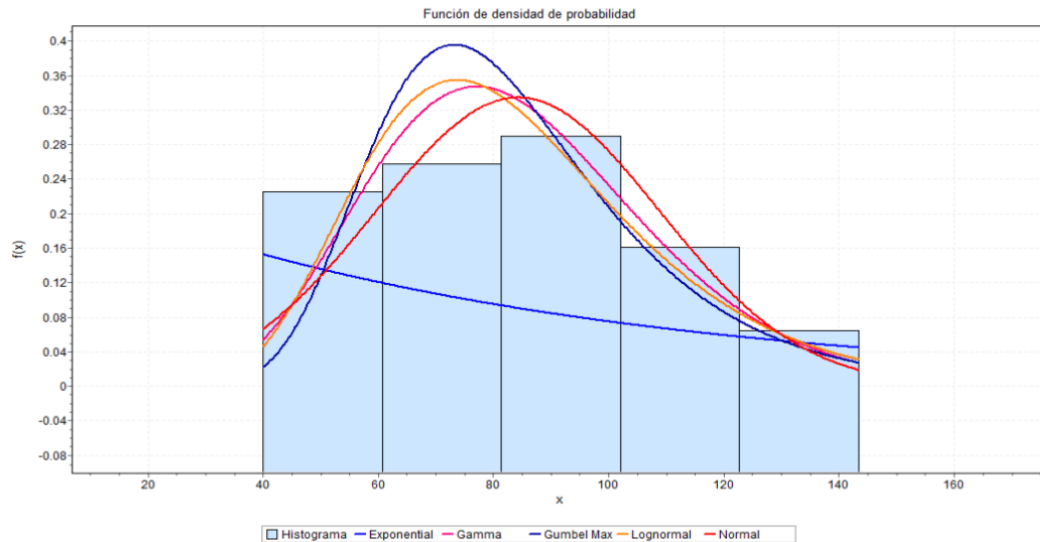
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	40
Rango	103.4	5%	45.4
Media	84.23	10%	50.6
Varianza	608.30	25% (Q1)	67
Desviación estándar	24.66	50% (Mediana)	85
Coef. de variación	0.29	75% (Q3)	100
Error estándar	4.43	90%	118.4
Asimetría	0.29	95%	132.96
Curtosis	-0.22	Max	143.4

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	11.66	$\beta=$ 7.22
3	Gumbel Max	$\sigma=$	24.66	$\mu=$ 73.13
4	Lognormal	$\sigma=$	0.30	$\mu=$ 4.39
5	Normal	$\sigma=$	24.66	$\mu=$ 84.23

Gamma [#2]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	0.153				
Valor P	0.985				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.083				
Valor P	0.971				
Rango	2				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
2	Gamma	0.15	1	0.08	2
5	Normal	1.02	2	0.08	1
3	Gumbel Max	1.26	3	0.11	4
4	Lognormal	1.50	4	0.10	3
1	Exponential	16.47	5	0.41	5



T (años)	P exc	Precipitaciones Maximales Anuales					
		Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	58	82	80	81	84
5	0.200	0.80	136	104	102	104	105
10	0.100	0.90	194	117	116	119	116
20	0.050	0.95	252	128	130	132	125
25	0.040	0.96	271	132	135	137	127
50	0.020	0.98	330	142	148	150	135
100	0.010	0.99	388	152	162	163	142

Figura 45: Resumen estadístico de la estación Millahue.



RENGO

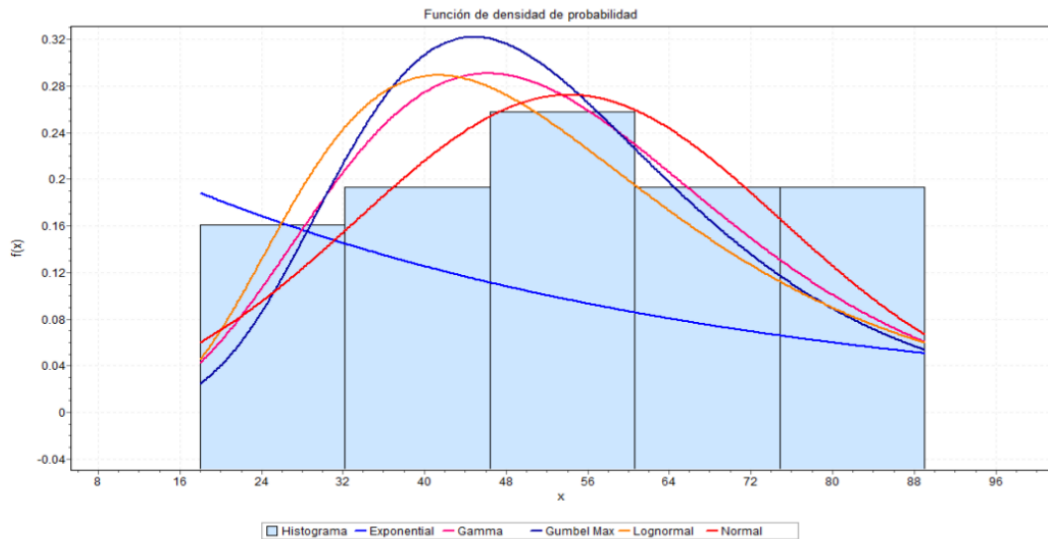
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	18
Rango	71	5%	19.5
Media	54.15	10%	23.2
Varianza	432.60	25% (Q1)	37.4
Desviación estándar	20.80	50% (Mediana)	50.5
Coeff. de variación	0.38	75% (Q3)	71.8
Error estándar	3.74	90%	85.06
Asimetría	0.03	95%	87.5
Curtosis	-1.01	Max	89

Lognormal [#4]						
Chi-cuadrado						
Grados de libertad	2					
Estadística	0.006					
Valor P	0.997					
Rango	1					
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	
Valor crítico	3.22	4.61	5.99	7.82	9.21	
Rechazar?	No	No	No	No	No	

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.02	
2	Gamma	$\alpha=$	6.78	$\beta=$ 7.99
3	Gumbel Max	$\sigma=$	20.80	$\mu=$ 44.79
4	Lognormal	$\sigma=$	0.43	$\mu=$ 3.91
5	Normal	$\sigma=$	20.80	$\mu=$ 54.15

Kolmogorov-Smirnov						
Tamaño de la muestra	31					
Estadística	0.142					
Valor P	0.516					
Rango	4					
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29	
Rechazar?	No	No	No	No	No	

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
4	Lognormal	0.01	1	0.14	4
3	Gumbel Max	0.41	2	0.12	3
2	Gamma	0.65	3	0.11	2
5	Normal	1.22	4	0.09	1
1	Exponential	15.61	5	0.33	5



Precipitaciones Máximas Anuales								
T (años)	P exc	Proexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal	
2	0.500	0.50	38	52	51	50	54	
5	0.200	0.80	87	70	69	72	72	
10	0.100	0.90	125	82	81	87	81	
20	0.050	0.95	162	92	93	101	88	
25	0.040	0.96	174	95	97	106	91	
50	0.020	0.98	212	105	108	121	97	
100	0.010	0.99	249	114	119	136	103	

Figura 46: Resumen estadístico de la estación Rengo.



POPETA

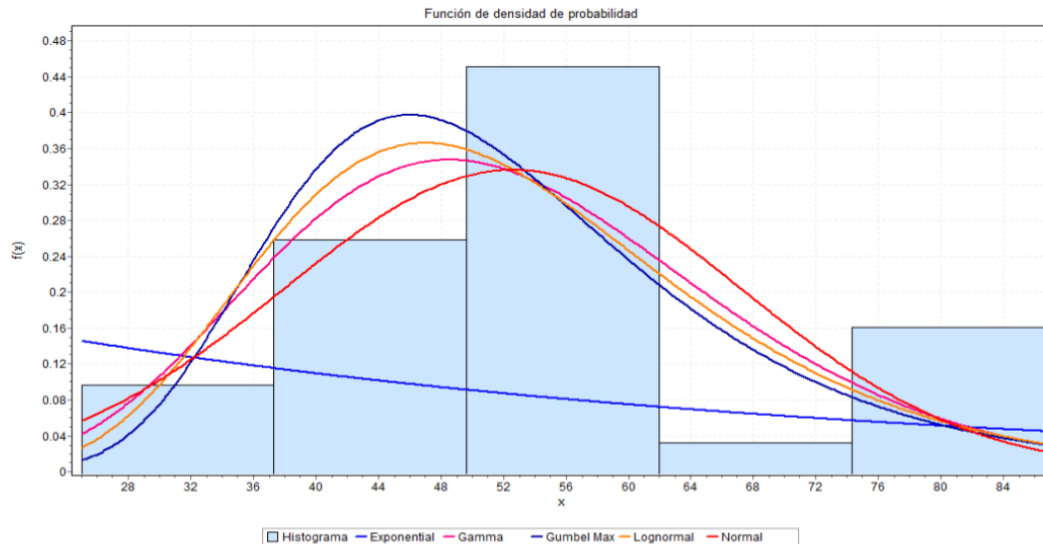
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	31	Min	25
Rango	61.6	5%	25.3
Media	52.58	10%	37.5
Varianza	213.98	25% (Q1)	45.5
Desviación estándar	14.63	50% (Mediana)	50
Coef. de variación	0.28	75% (Q3)	52
Error estándar	2.63	90%	79.22
Asimetría	0.79	95%	85.16
Curiosis	0.87	Max	86.6

Gumbel Max [#3]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	2				
Estadística	20.656				
Valor P	0.00				
Rango	3				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	3.22	4.61	5.99	7.82	9.21
Rechazar?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.02	
2	Gamma	$\alpha=$	12.92	$\beta=$ 4.07
3	Gumbel Max	$\sigma=$	14.63	$\mu=$ 46.00
4	Lognormal	$\sigma=$	0.28	$\mu=$ 3.93
5	Normal	$\sigma=$	14.63	$\mu=$ 52.58

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	31				
Estadística	0.220				
Valor P	0.084				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.21	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	Sí	Sí	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
3	Gumbel Max	20.66	3	0.22	1
4	Lognormal	20.68	4	0.24	2
2	Gamma	20.70	5	0.25	3
5	Normal	14.30	2	0.29	4
1	Exponential	2.57	1	0.47	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	36	51	50	51	53
5	0.200	0.80	85	64	63	64	65
10	0.100	0.90	121	72	72	72	71
20	0.050	0.95	158	79	80	80	77
25	0.040	0.96	169	81	82	82	78
50	0.020	0.98	206	87	91	89	83
100	0.010	0.99	242	92	98	96	87

Figura 47: Resumen estadístico de la estación Popeta.



CENTRAL LAS NIEVES

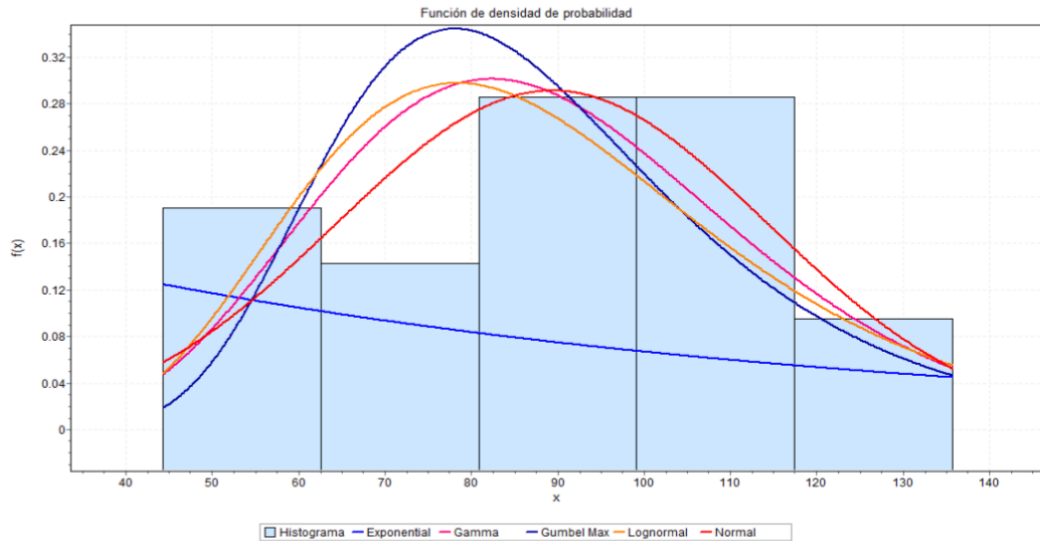
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	21	Min	44.3
Rango	91.4	5%	44.67
Media	89.33	10%	49.46
Varianza	627.42	25% (Q1)	71.35
Desviación estándar	25.05	50% (Mediana)	94.5
Coef. de variación	0.28	75% (Q3)	104.25
Error estándar	5.47	90%	130.42
Asimetría	-0.05	95%	135.63
Curstosis	-0.30	Max	135.7

Normal [#5]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	1				
Estadística	0.068				
Valor P	0.795				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	1.64	2.71	3.84	5.41	6.63
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	12.72	$\beta=$ 7.02
3	Gumbel Max	$\sigma=$	25.05	$\mu=$ 78.06
4	Lognormal	$\sigma=$	0.30	$\mu=$ 4.45
5	Normal	$\sigma=$	25.05	$\mu=$ 89.33

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	21				
Estadística	0.106				
Valor P	0.954				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.23	0.26	0.29	0.32	0.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Normal	0.07	1	0.11	1
3	Gumbel Max	0.27	2	0.17	4
2	Gamma	0.30	3	0.14	2
4	Lognormal	0.34	4	0.15	3
1	Exponential	3.46	5	0.39	5



T (años)	Precipitaciones Máximas Anuales						
	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	62	87	85	86	89
5	0.200	0.80	144	109	107	110	110
10	0.100	0.90	206	123	122	126	121
20	0.050	0.95	268	134	136	140	131
25	0.040	0.96	288	138	141	145	133
50	0.020	0.98	349	148	154	158	141
100	0.010	0.99	411	158	168	172	148

Figura 48: Resumen estadístico de la estación Central las Nieves.



RAPEL

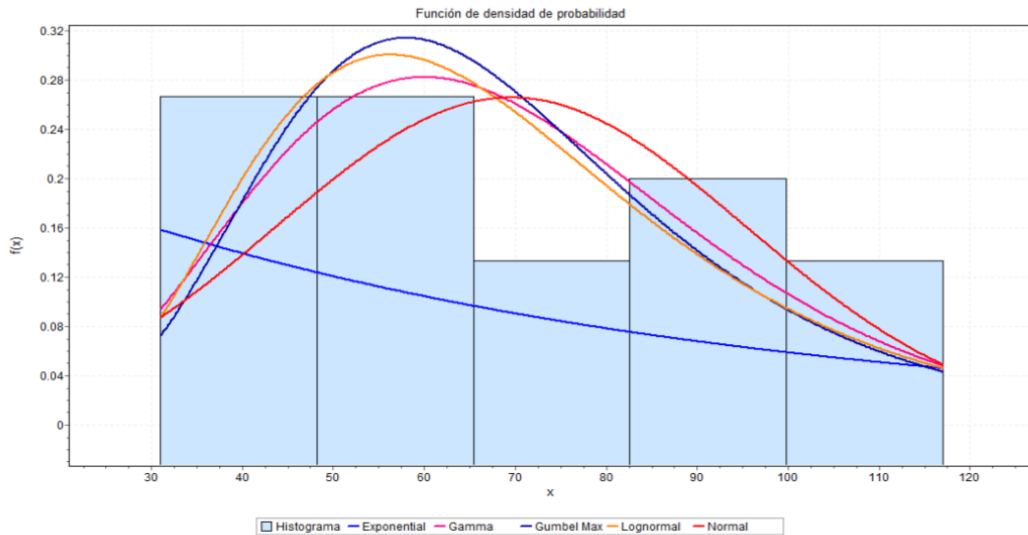
Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	30	Mín	31
Rango	86	5%	31.55
Media	69.53	10%	40.3
Varianza	667.27	25% (Q1)	47.75
Desviación estándar	25.83	50% (Mediana)	62.5
Cof. de variación	0.37	75% (Q3)	93
Error estándar	4.72	90%	112
Asimetría	0.35	95%	115.9
Curiosis	-1.11	Max	117

Gamma [#2]					
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	3				
Estadística	2.952				
Valor P	0.399				
Rango	3				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34
Rechazar?	No	No	No	No	No

Resultados de ajuste				
#	Distribución	Parámetros		
1	Exponential	$\lambda=$	0.01	
2	Gamma	$\alpha=$	7.25	$\beta=$ 9.60
3	Gumbel Max	$\sigma=$	25.83	$\mu=$ 57.90
4	Lognormal	$\sigma=$	0.38	$\mu=$ 4.17
5	Normal	$\sigma=$	25.83	$\mu=$ 69.53

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	30				
Estadística	0.134				
Valor P	0.607				
Rango	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19	0.22	0.24	0.27	0.29
Rechazar?	No	No	No	No	No

Bondad de ajuste - Resumen					
#	Distribución	Chi-cuadrado		Kolmogorov Smirnov	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
2	Gamma	2.95	3	0.13	1
4	Lognormal	2.36	2	0.14	2
3	Gumbel Max	3.32	4	0.15	3
5	Normal	3.34	5	0.16	4
1	Exponential	1.90	1	0.37	5



Precipitaciones Máximas Anuales							
T (años)	P exc	Pnoexc	Exponencial	Gamma	Gumbel	Log Normal	Normal
2	0.500	0.50	48	66	65	65	70
5	0.200	0.80	112	90	88	89	91
10	0.100	0.90	160	104	103	105	103
20	0.050	0.95	208	117	118	121	112
25	0.040	0.96	224	121	122	126	115
50	0.020	0.98	272	132	136	141	123
100	0.010	0.99	320	143	151	156	130

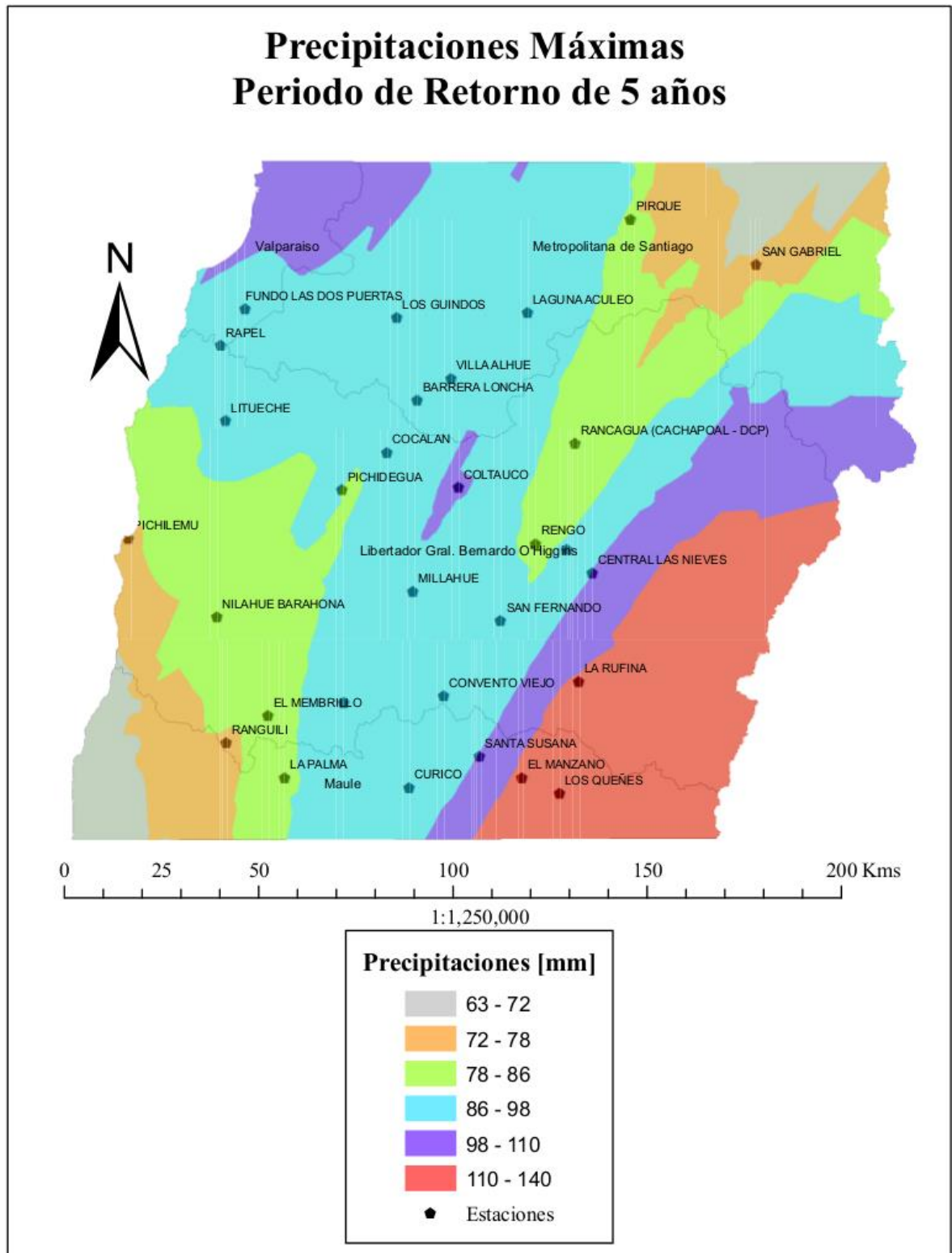
Figura 49: Resumen estadístico de la estación Rapel.



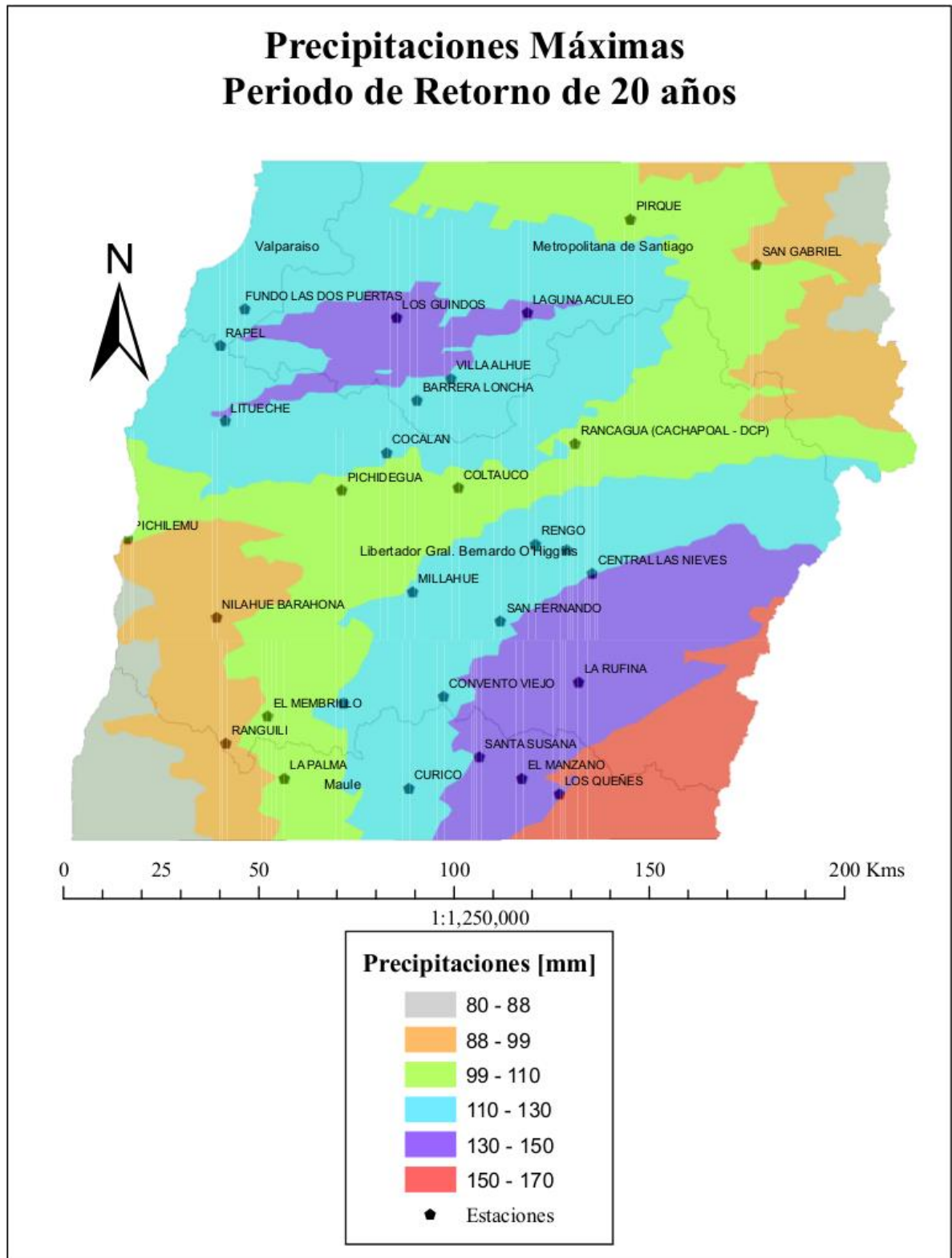
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN  
Facultad de Ingeniería - Ingeniería Civil

## ANEXO C

MAPAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES PARA  
DISTINTOS PERÍODOS DE RETORNOS.

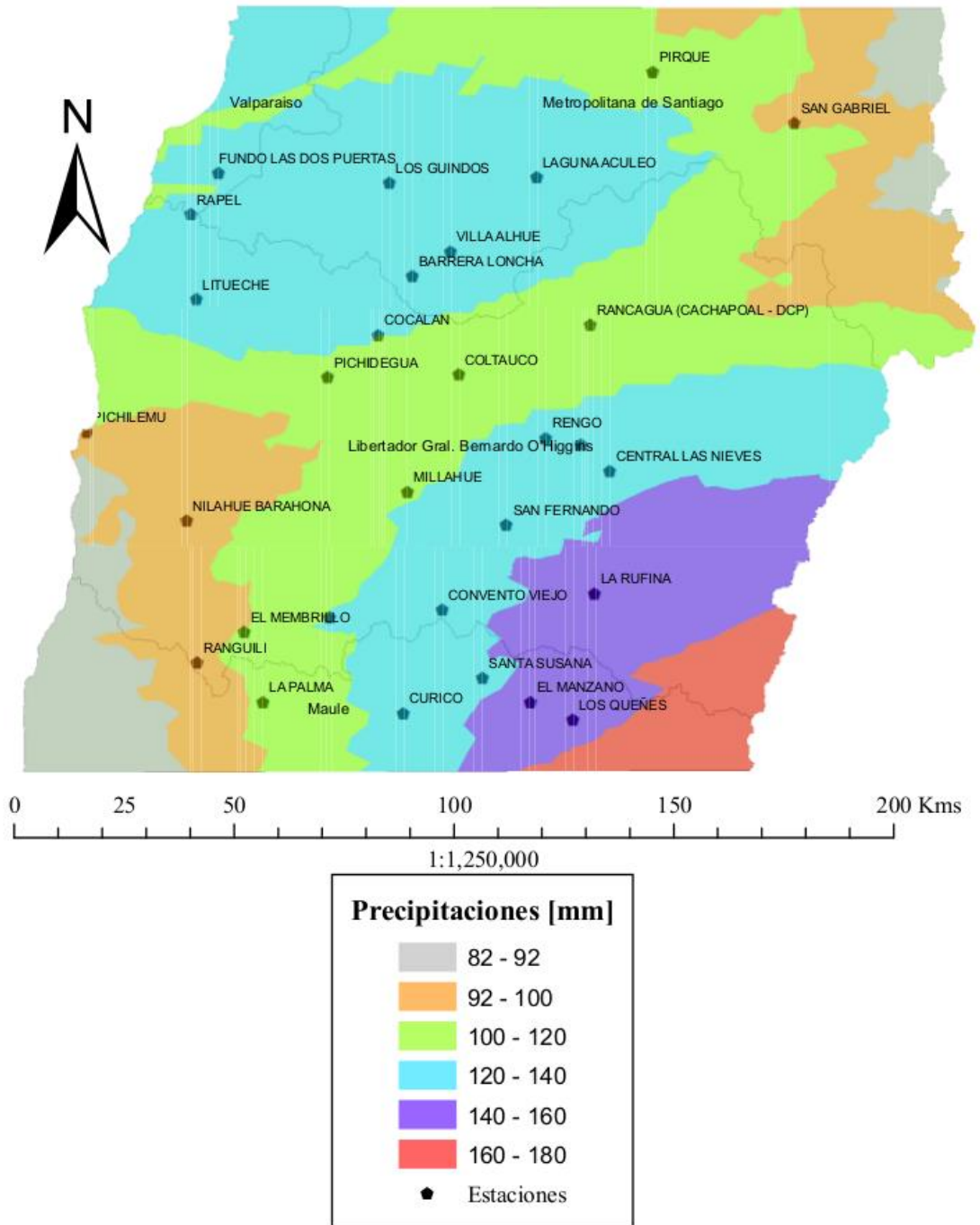


*Figura 50: Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para T=5 años.*

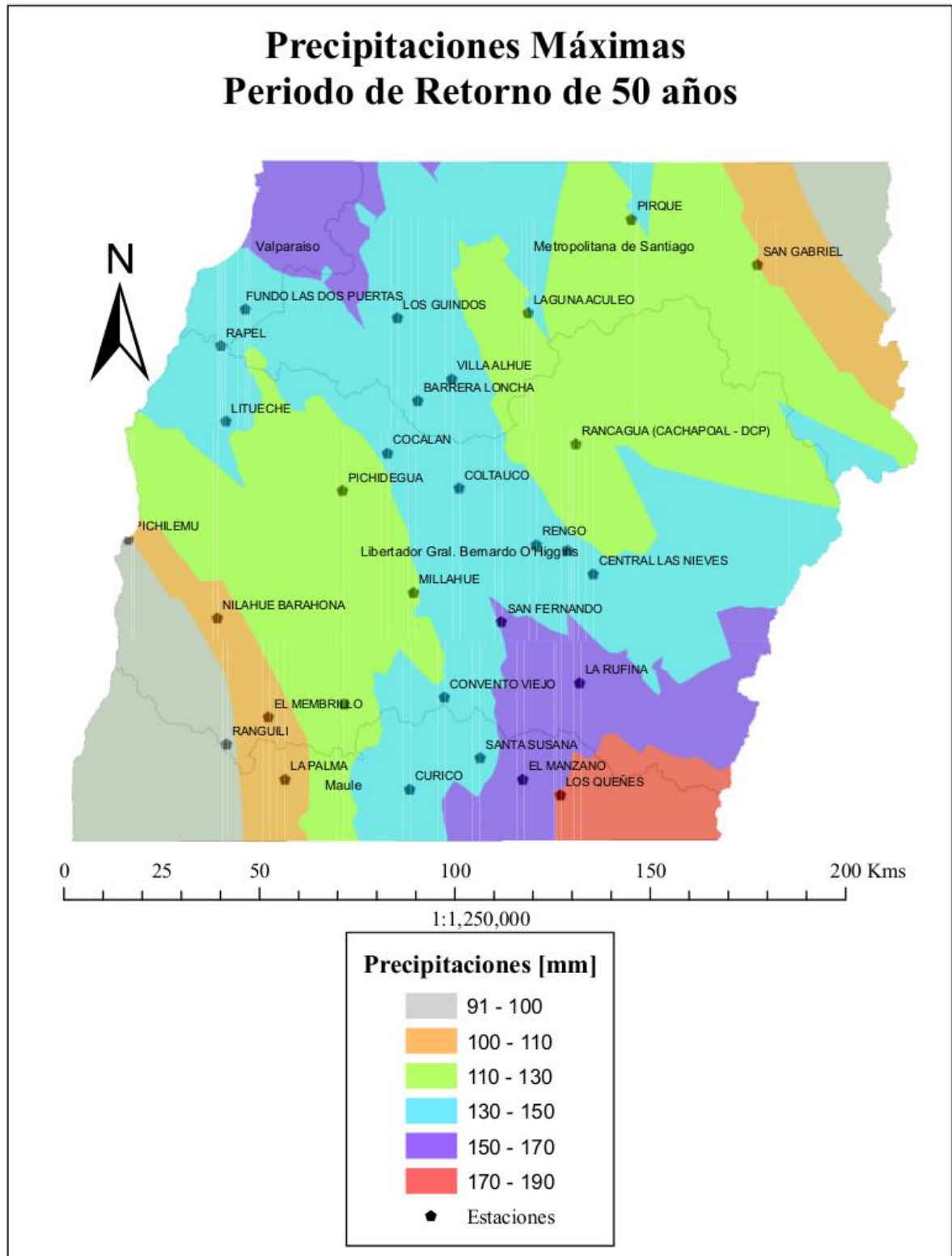


**Figura 51:** Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para  $T=20$  años.

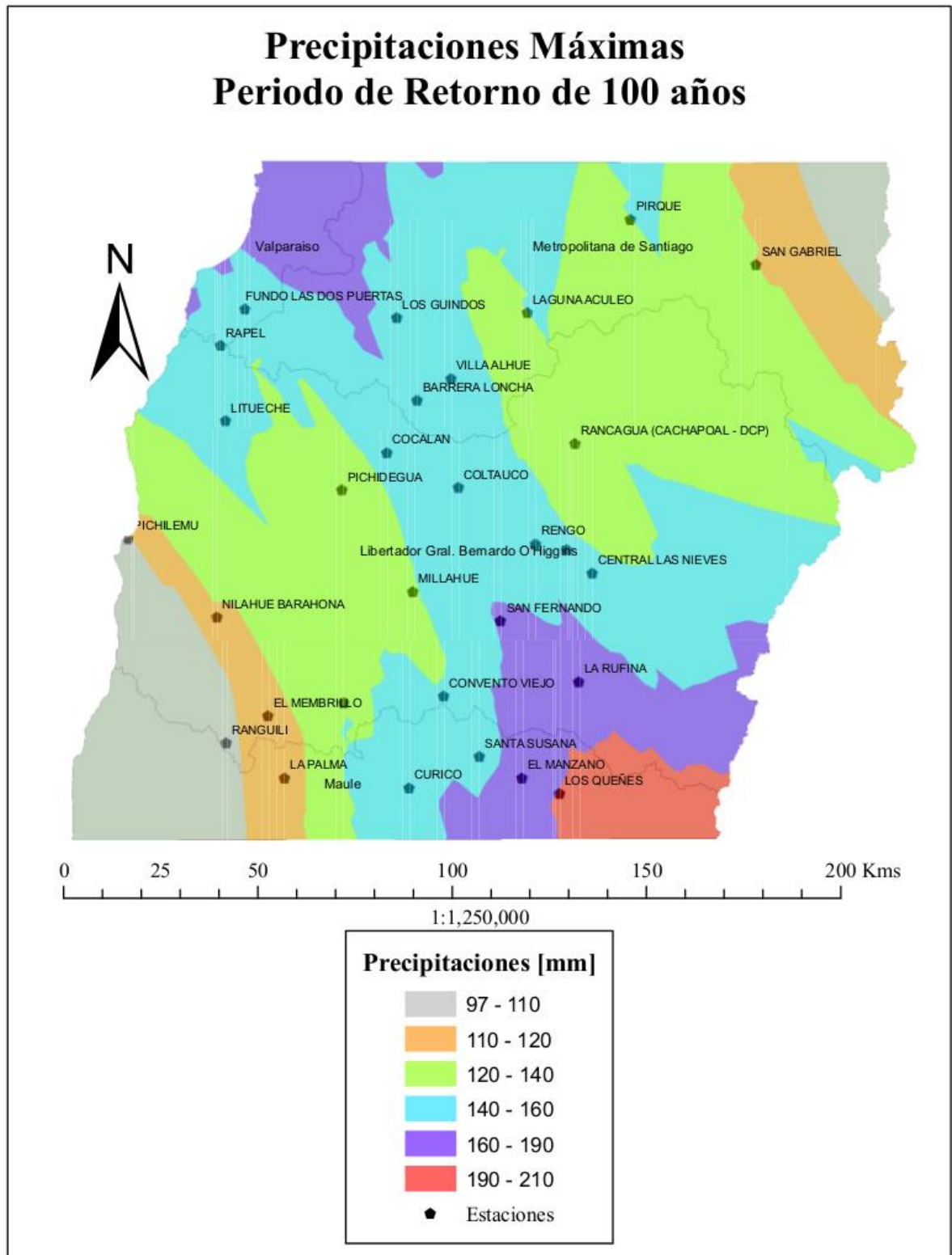
## Precipitaciones Máximas Periodo de Retorno de 25 años



**Figura 52:** Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para  $T=25$  años.



**Figura 53:** Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para  $T=50$  años.



*Figura 54: Mapa de Precipitaciones utilizando Kriging Ordinario para T=100 años.*



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN  
Facultad de Ingeniería - Ingeniería Civil

## ANEXO D

MAPA DE PRECIPITACIONES MAXIMAS DE 24 HORAS PARA UN PERÍODO DE  
RETORNO DE 10 AÑOS ENTREGADO POR LA DIRECCION GENERAL DE AGUAS  
(DGA).

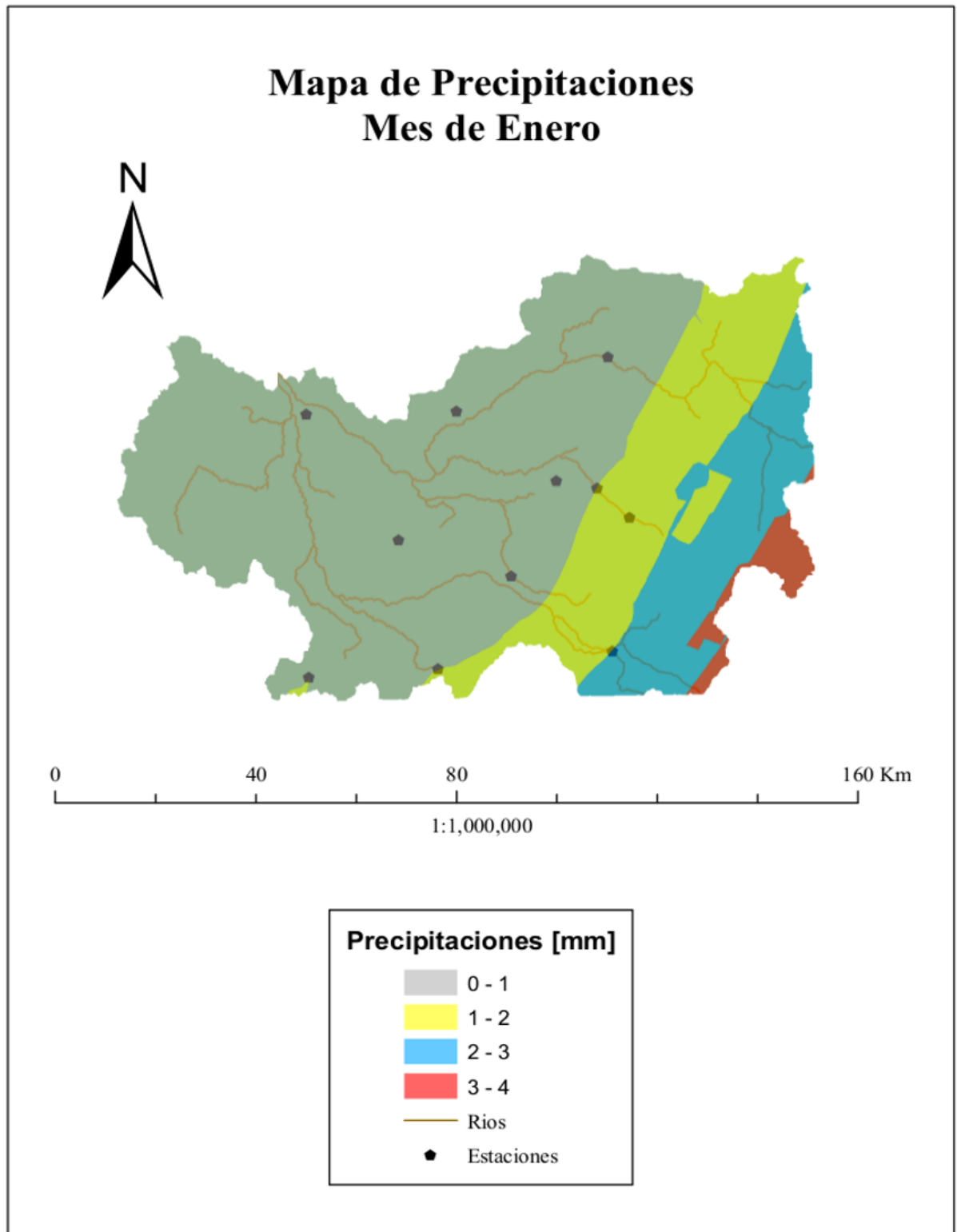




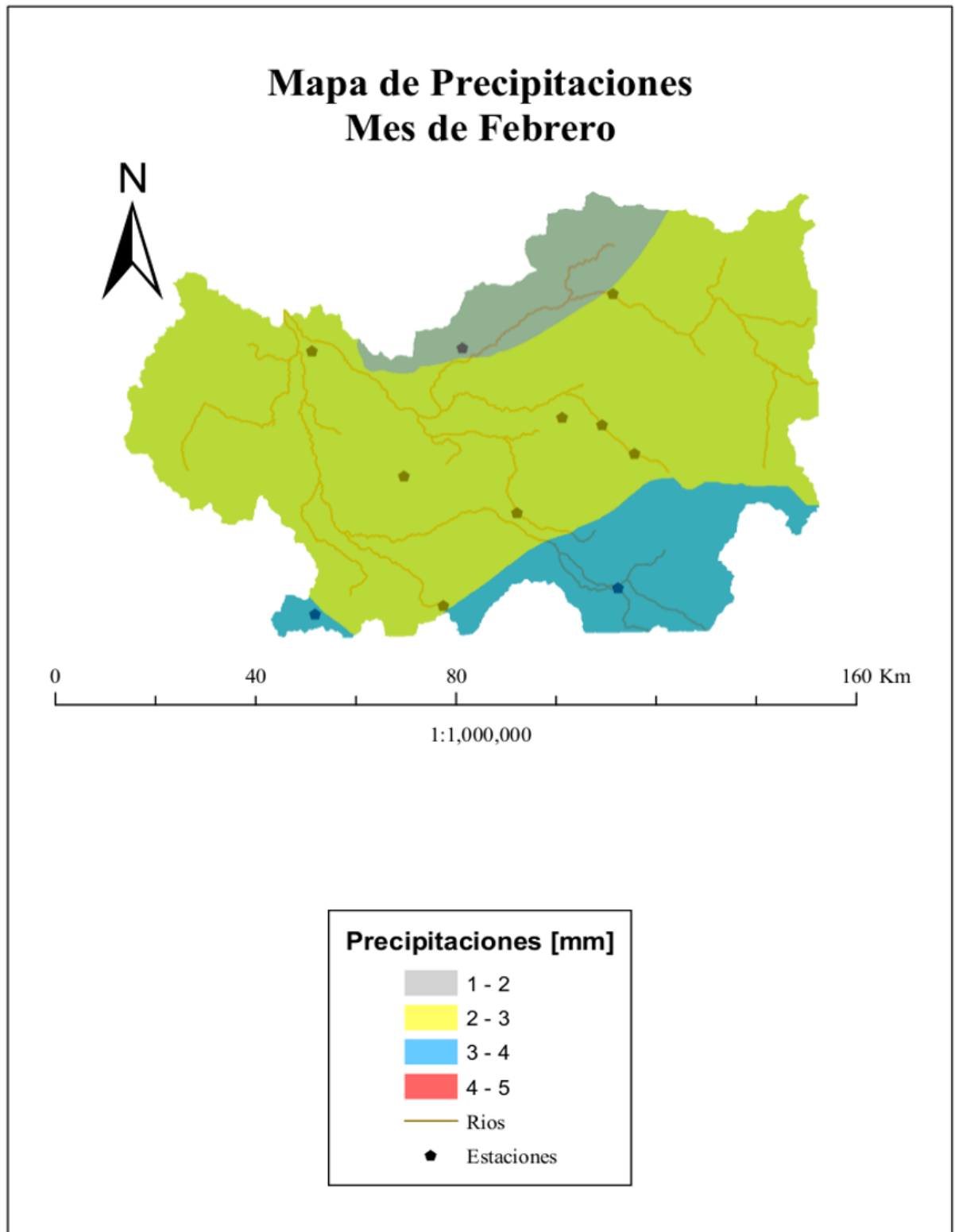
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN  
Facultad de Ingeniería - Ingeniería Civil

## ANEXO E

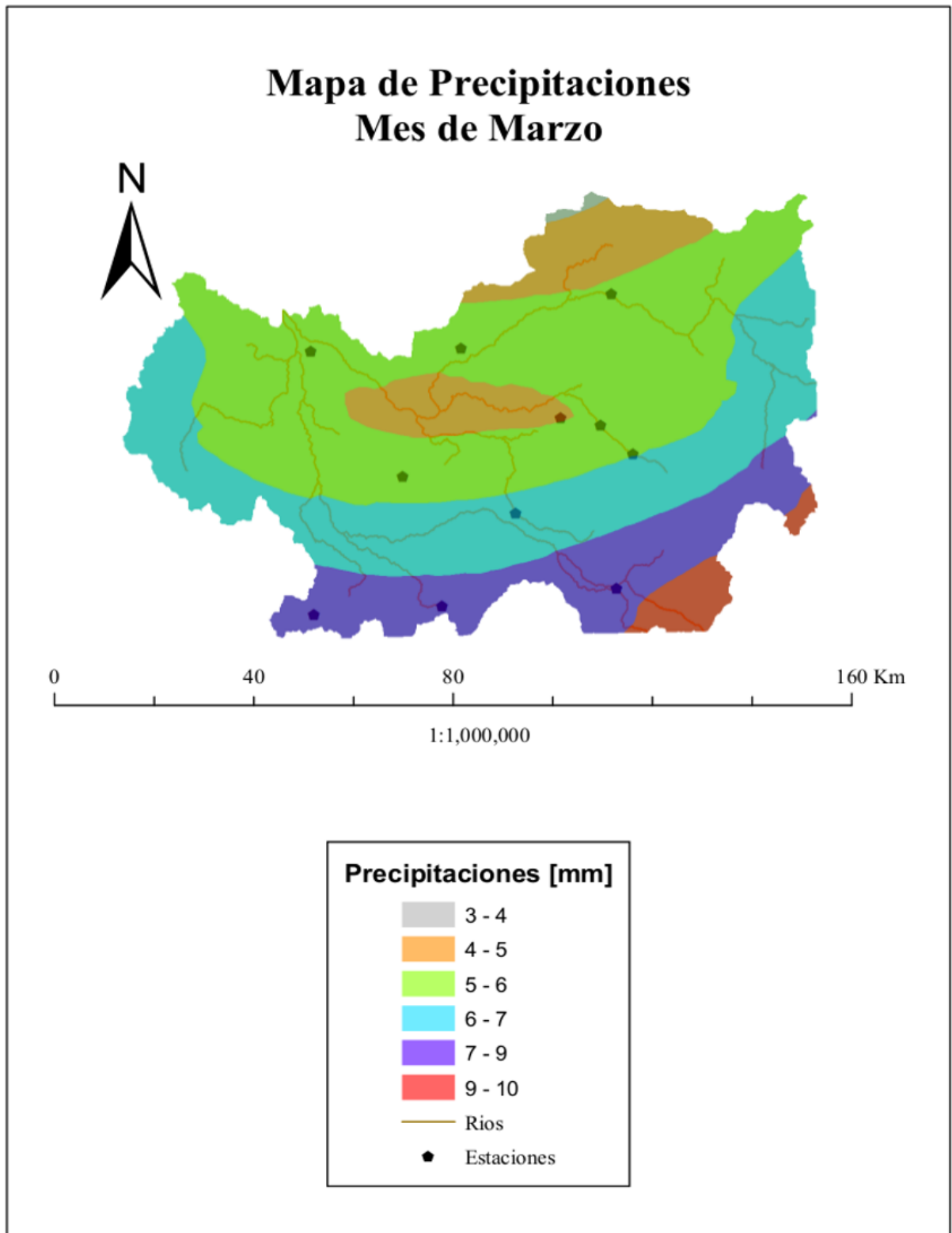
### MAPAS DE PRECIPITACIONES PARA LA CUENCA DEL RÍO RAPEL UTILIZADOS EN INGENIERÍA



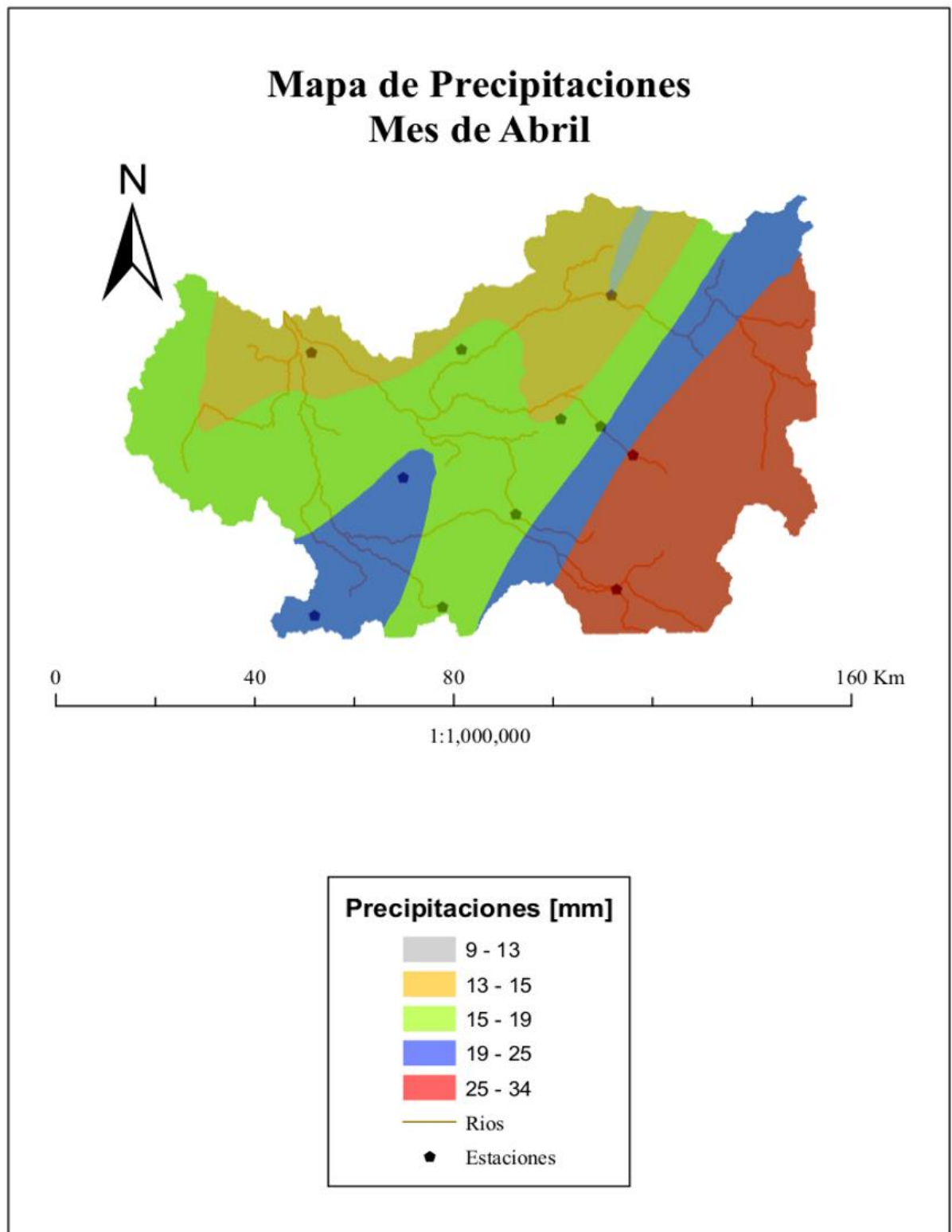
*Figura 56: Mapa de Precipitaciones, Enero.*



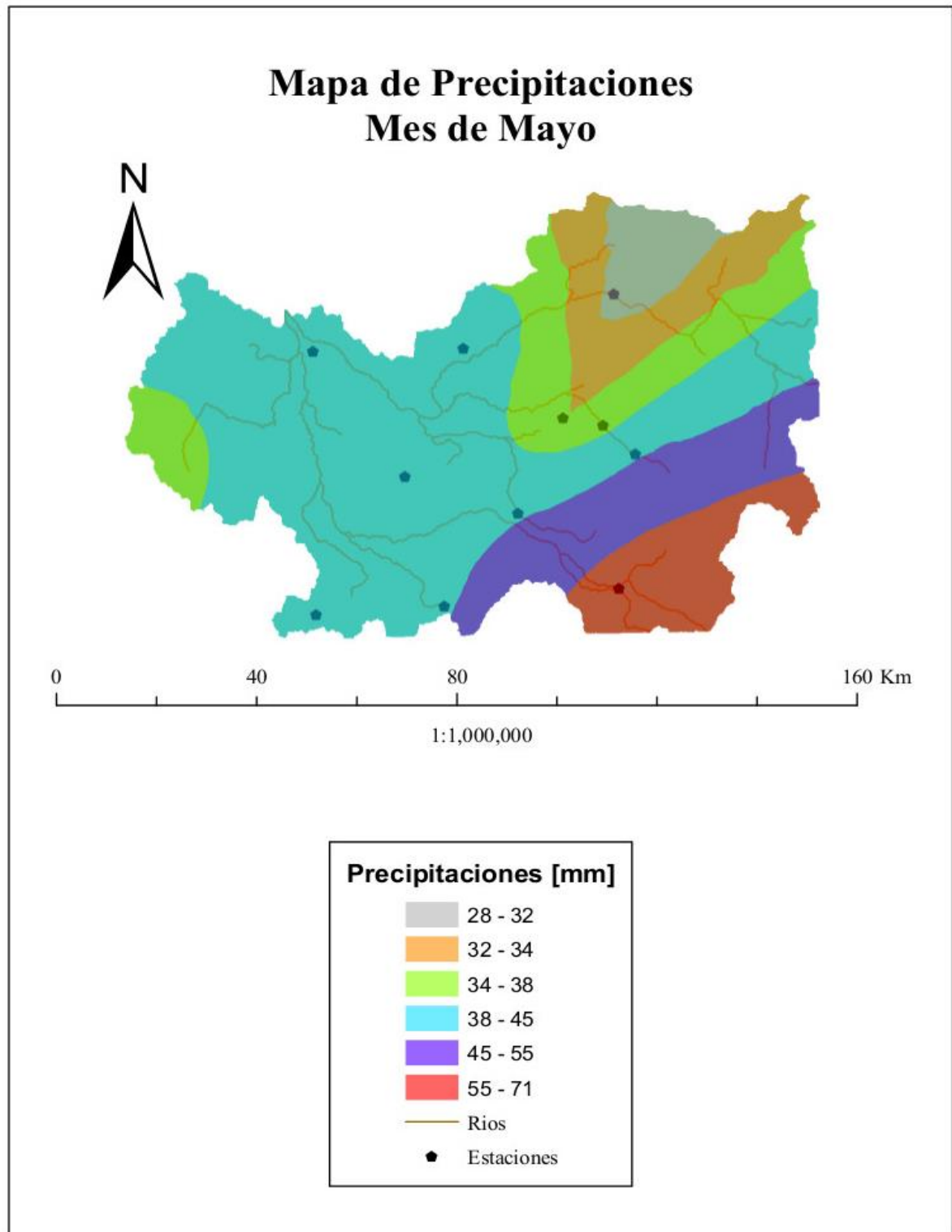
*Figura 57: Mapa de Precipitaciones, Febrero.*



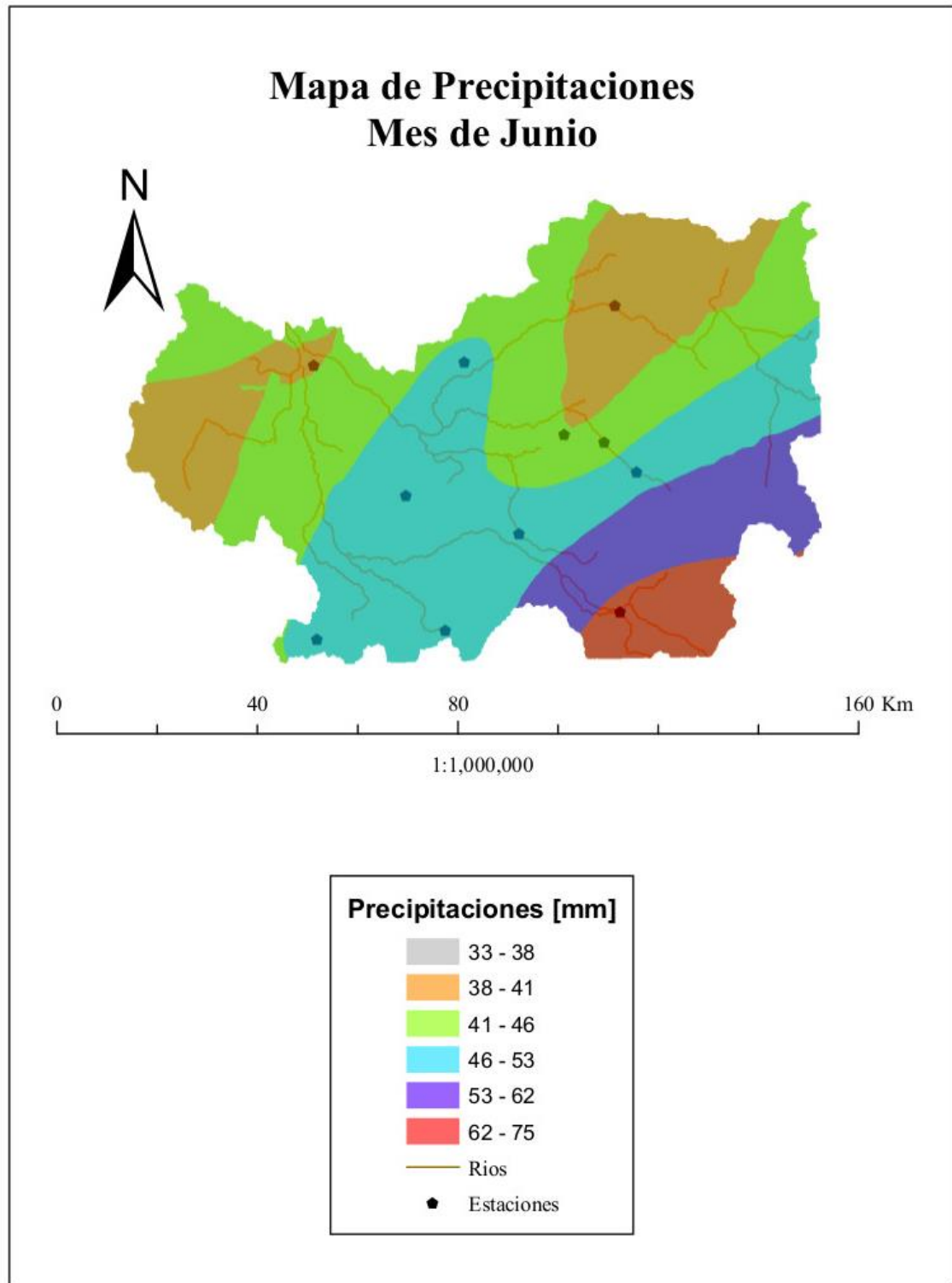
*Figura 58: Mapa de Precipitaciones, Marzo.*



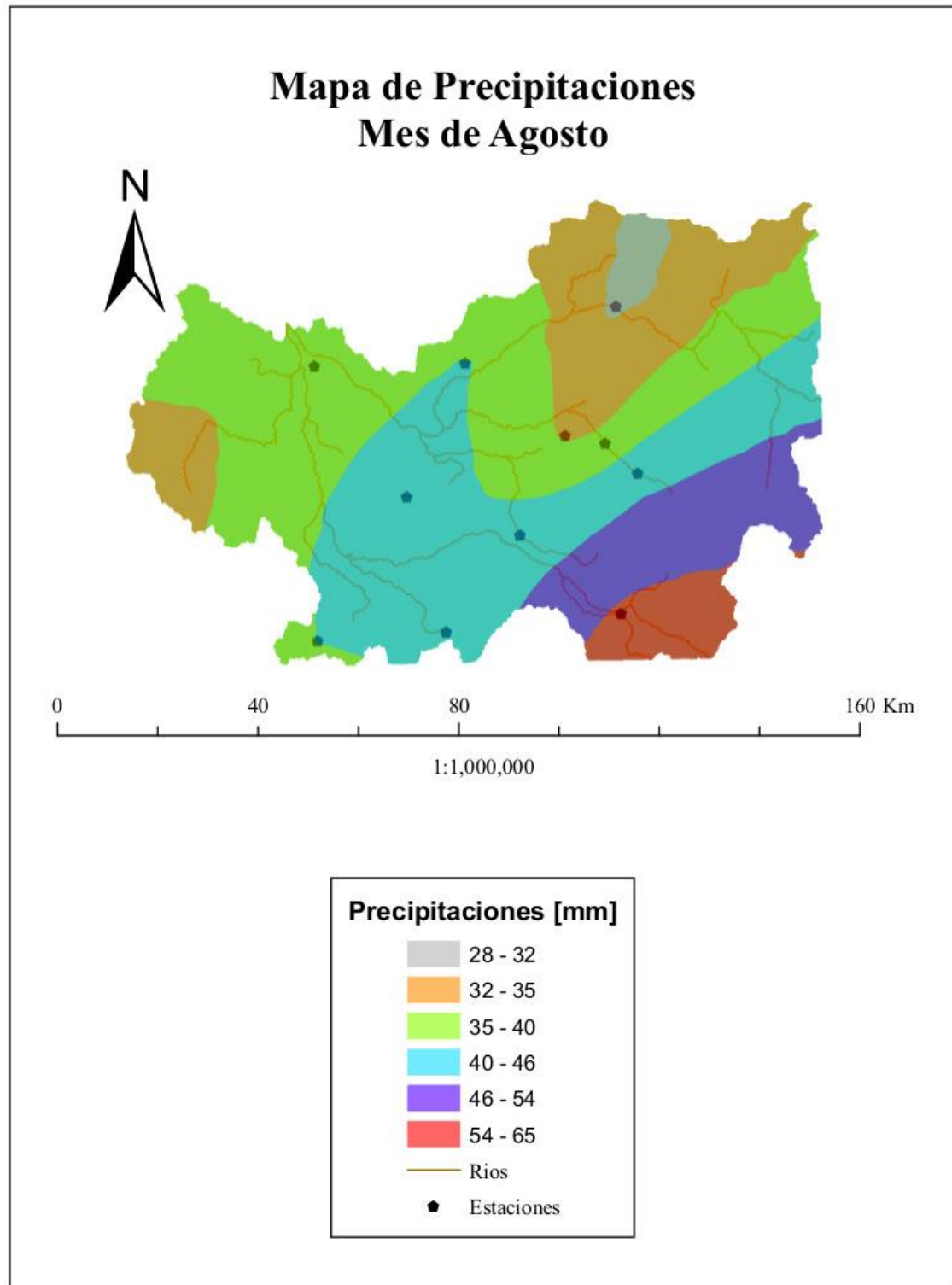
*Figura 59: Mapa de Precipitaciones, Abril.*



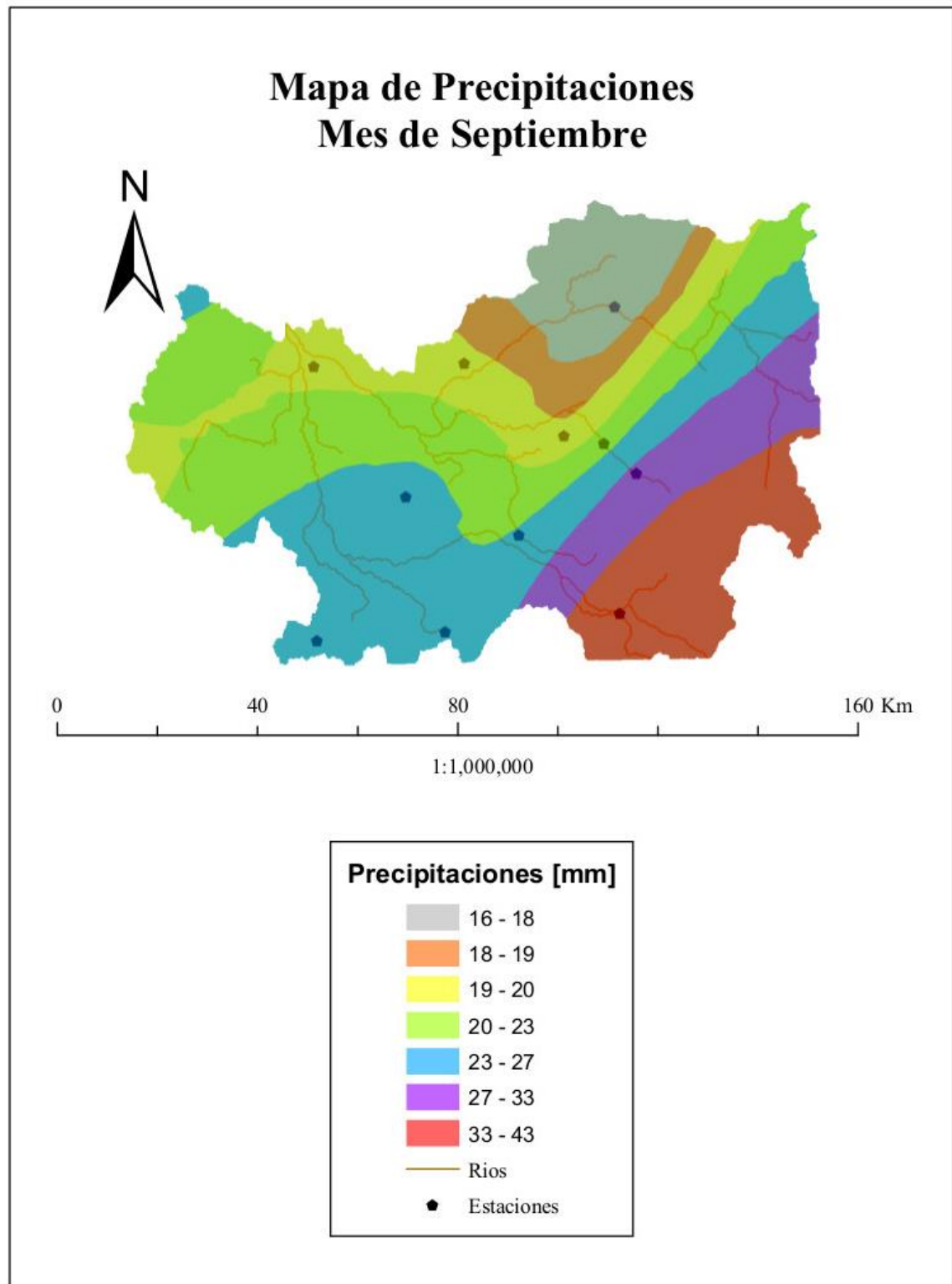
*Figura 60: Mapa de Precipitaciones, Mayo.*



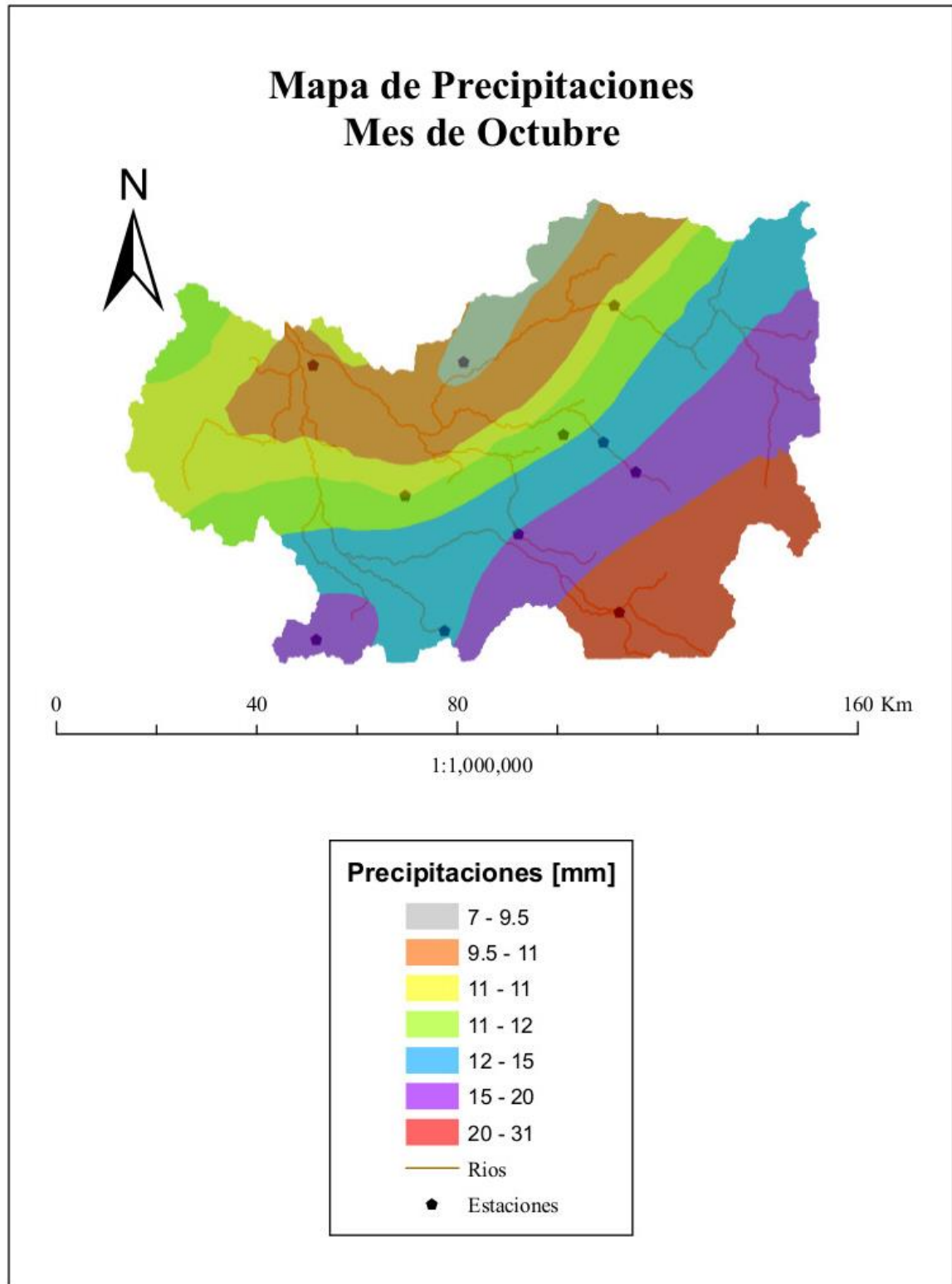
*Figura 61: Mapa de Precipitaciones, Junio.*



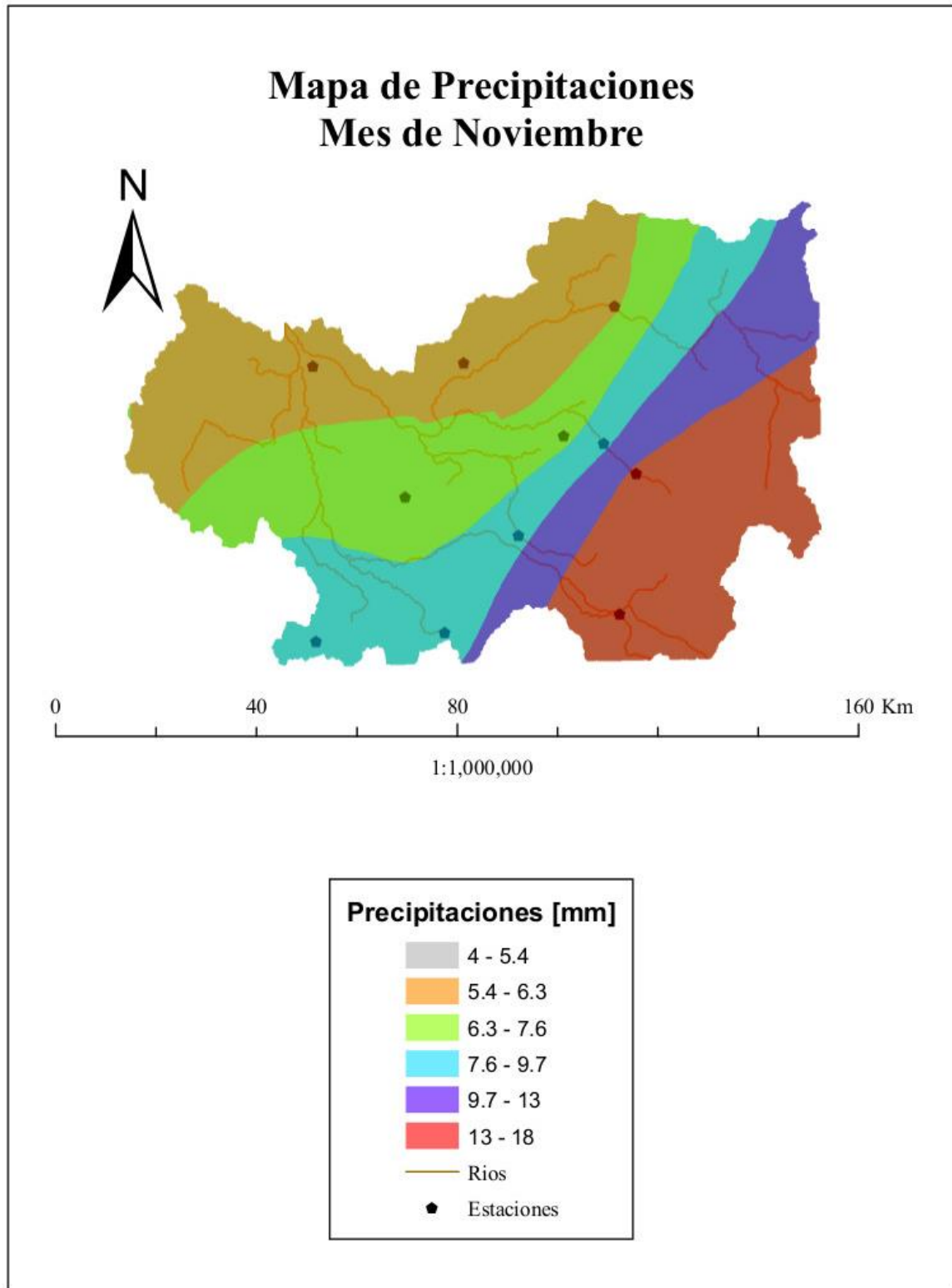
*Figura 62: Mapa de Precipitaciones, Agosto.*



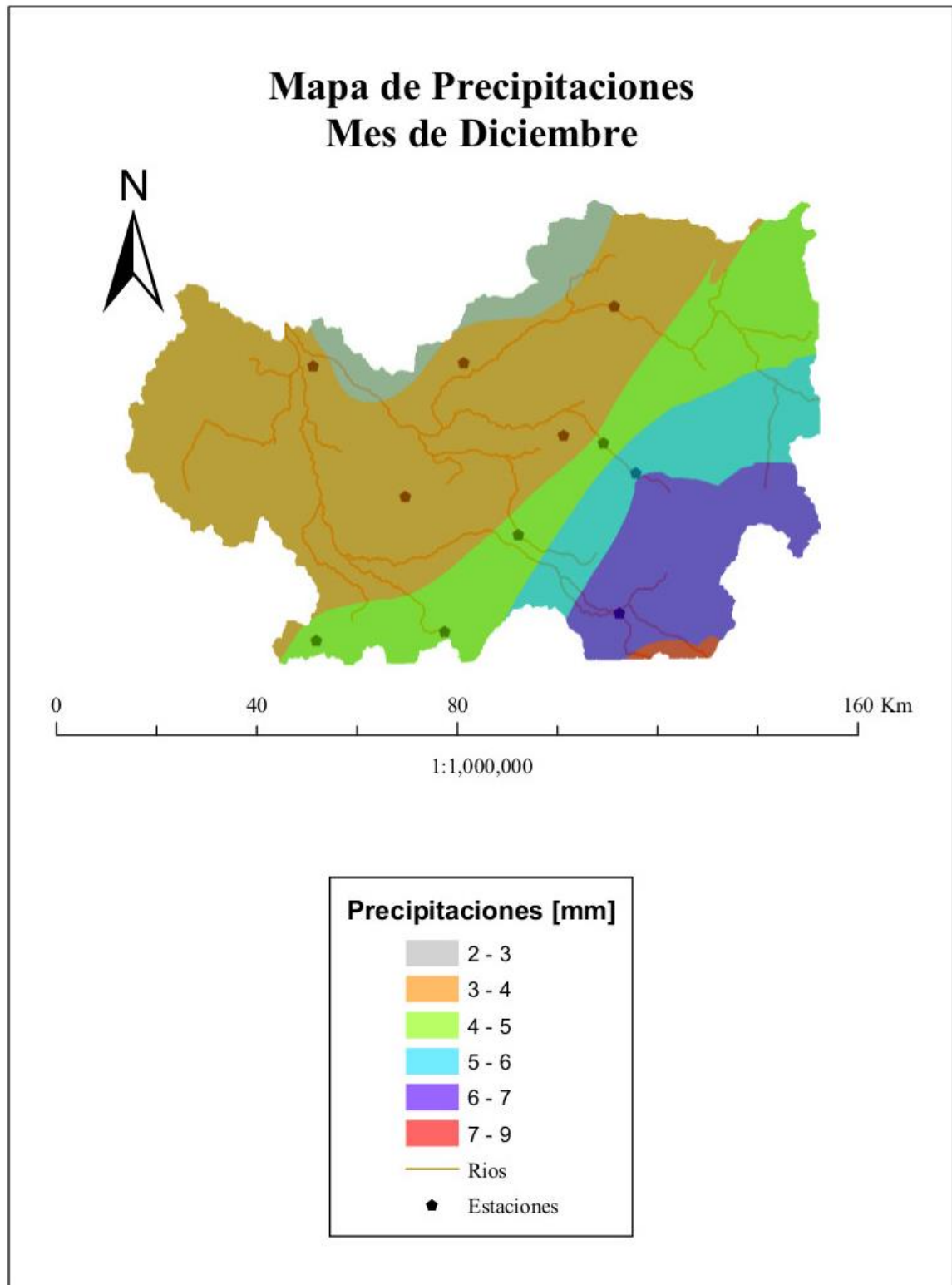
*Figura 63: Mapa de Precipitaciones, Septiembre.*



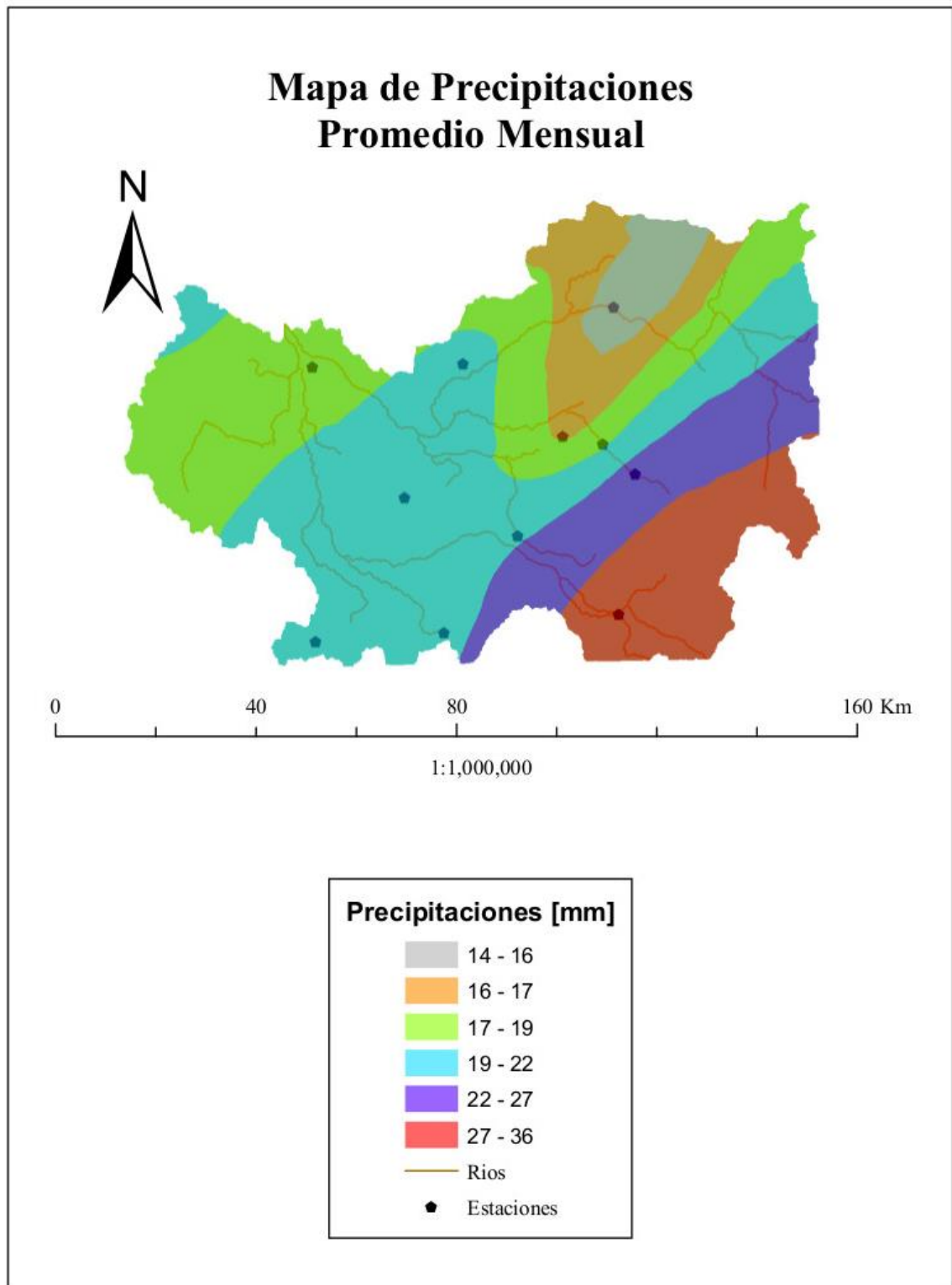
*Figura 64: Mapa de Precipitaciones, Octubre.*



*Figura 65: Mapa de Precipitaciones, Noviembre.*



*Figura 66: Mapa de Precipitaciones, Diciembre.*



**Figura 67: Mapa de Precipitaciones Promedio Mensuales.**