

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

**“REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS  
DIARIAS ANUALES EN LA ZONA SUR-OCCIDENTAL DEL  
PERÚ USANDO MOMENTOS – L”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**WILMER DENNYS ROCA CALDERÓN**

**ASESOR**

**Dr. JULIO MARTÍN KUROIWA ZEVALLOS**

**LIMA- PERÚ**

**2021**

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>6</b>
<b>PRÓLOGO</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>20</b>
1.1 GENERALIDADES	20
1.2 PROBLEMÁTICA	25
1.3 OBJETIVOS	25
1.3.1 Objetivo General	25
1.3.2 Objetivos Específicos	26
1.4 HIPÓTESIS	26
1.4.1 Hipótesis General	26
1.4.2 Hipótesis Específicas	26
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	<b>28</b>
2.1 TEORÍA DE MOMENTOS L	28
2.1.1 Definición de Momentos	29
2.1.2 Definición de Momentos L	32
2.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	36
2.2.1 Análisis de Tendencia	37
2.2.2 Análisis de Homogeneidad	40

	Pág.
2.2.3 Análisis de Discordancia	41
2.3 IDENTIFICACIÓN DE REGIONES HOMOGÉNEAS	43
2.3.1 Selección de los atributos de las estaciones	44
2.3.2 Análisis de Agrupamiento según Ward	47
2.3.3 Análisis de Agrupamiento según el método K-Means	49
2.4 MEDIDA DE HETEROGENEIDAD	52
2.5 ÍNDICE DE TORMENTA	54
2.6 SELECCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA	55
<b>CAPÍTULO III: ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS</b>	<b>59</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	59
3.2 DATOS	60
3.3 ANÁLISIS DE TENDENCIA	63
3.4 ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD	64
3.5 SELECCIÓN DE ESTACIONES	65
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS REGIONAL DE FRECUENCIA</b>	<b>69</b>
4.1 AGRUPACIÓN PRELIMINAR DE ESTACIONES	71
4.2 ANÁLISIS DE DISCORDANCIA Y HOMOGENEIDAD	76
4.3 SELECCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA	85
4.4 CUANTILES LOCALES	91
4.5 ELABORACIÓN DE MAPAS	91
4.5.1 Delineación de las Regiones Hidrológicas	91
4.5.2 Mapas de Índices de Tormenta	94
4.6 CUANTILES REGIONALES VS. CUANTILES LOCALES	110
<b>CAPÍTULO V: REGIÓN DE INFLUENCIA</b>	<b>114</b>

	Pág.
5.1 DETERMINACIÓN DE ESTACIONES AGRUPADAS	116
5.2 ESTIMACIÓN DE CUANTILES REGIONALES	117
5.3 RESULTADOS	117
5.3.1 Túnel Cero	118
5.3.2 Copará	122
5.3.3 Acobambilla	126
5.3.4 Pecoce	130
5.3.5 Visuyo	134
5.3.6 Omate	138
5.3.7 Orcopampa	142
5.3.8 Camaná	146
<b>CAPÍTULO VI: ANÁLISIS COMPARATIVO</b>	<b>150</b>
6.1 TÚNEL CERO	152
6.2 COPARÁ	154
6.3 ACOBAMBILLA	155
6.4 PECOPE	156
6.5 VISUYO	157
6.6 OMATE	158
6.7 ORCOPAMPA	159
6.8 CAMANÁ	160
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>162</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>167</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>168</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>172</b>

## RESUMEN

El objetivo de la tesis es evaluar la capacidad de predicción de dos técnicas de regionalización hidrológica: el Análisis Regional de Frecuencia (ARF) y la Región de Influencia (RI) para precipitaciones máximas diarias basadas en el uso de Momentos L en la zona Sur – Occidental del Perú correspondiente a seis (06) departamentos: Huancavelica, Ica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa y Moquegua.

Previo al análisis propio de regionalización se realizó un análisis exploratorio de datos para retirar las estaciones cuyos datos presentan tendencias y/o cambios en la media, ya que las funciones de distribución de frecuencias exigen que los datos tengan carácter estacionario. Inicialmente, se contó con 368 estaciones pluviométricas de los cuales, luego de la depuración, permanecieron 173, es decir, solo un 47% del total inicial, resultando una densidad de estaciones pluviométricas de 1 estación cada 1340 km<sup>2</sup>.

Con el Análisis Regional de Frecuencia (ARF) se buscó determinar grupos de estaciones hidrológicamente similares, los cuales conformarían las regiones, siempre y cuando los datos de las estaciones de la región presenten la misma distribución de frecuencias. Previamente, se realizó un agrupamiento (clustering) a través de los métodos Ward y K-Means. Este agrupamiento se realizó según la similitud entre estaciones basada en características geográficas como la altitud, longitud y latitud. Luego, se evaluaron los grupos así formados según la prueba de homogeneidad de Hosking y Wallis (1997) para afinar estos grupos resultando ocho (08) regiones hidrológicas. Lo único que diferencia a las estaciones de una misma región es un factor de escala llamado índice de tormenta, el cual se usó para hallar los cuantiles respectivos en cada estación. Finalmente, se realizó una interpolación espacial de los índices de tormenta para estimar los cuantiles precipitaciones máximas en cualquier zona de interés.

Por otra parte, con el método de Región de Influencia (RI) se buscó formar regiones para una sola zona de interés. Es decir, el método no se encarga de delimitar regiones basadas en una sola distribución de frecuencias, sino se enfoca únicamente en una zona de interés para la cual se evalúan datos de estaciones similares. Al igual que el método ARF, en esta tesis la similitud se

basó en características geográficas. El requisito principal de este grupo de estaciones es que deben satisfacer la regla 5T y el criterio de homogeneidad. La regla 5T establece que las estaciones, en conjunto, deben tener como mínimo un número de datos tal como cinco veces el periodo de retorno en estudio. Es decir, si estamos evaluando para un periodo de 50 años, el número de datos agrupados, como mínimo, debe ser 250 datos. Se podrían tomar más datos (o lo mismo, más estaciones), sin embargo, esto podría traer disimilitudes con la zona de interés. Para hacer la verificación del método se realizó la comparación de los cuantiles de 8 estaciones (ubicadas en las 8 regiones) a través del índice de tormenta con respecto a los cuantiles calculados a partir de un análisis local y el método de regionalización del IILA – SENAMHI - UNI.

En general, los métodos de regionalización ARF y RI presentan resultados satisfactorios en 5 de las 8 estaciones usadas en la verificación del método (teniendo en cuenta que dos de las estaciones, cuyos resultados no se ajustan a los valores esperados de acuerdo a los datos y los otros métodos, se encuentran en o cerca de la franja costera), siendo una de las ventajas principales, el aprovechamiento de un mayor número de registros al incluir en el análisis de frecuencias los datos estaciones vecinas teniendo en cuenta el limitado registro pluviométrico que, generalmente, se encuentra disponible.

## ABSTRACT

The objective of the thesis is to evaluate predictability of two hydrological regionalization techniques: Regional Frequency Analysis (RFA) and Region of Influence (ROI) for maximum daily rainfall based on L – Moments, for South - Western Peru in six (06) departments: Huancavelica, Ica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa and Moquegua.

Prior to the regionalization analysis itself, an exploratory data analysis was carried out in order to remove those stations which data showed trends and / or changes in the mean since the functions of frequency distribution require stationary data. Initially, there were 368 rainfall stations, of which, after removal, 173 remained, that is, only 47% of the initial total, resulting in a rainfall stations density of 1 station every 1340 km<sup>2</sup>.

The Regional Frequency Analysis (RFA) was made to find hydrologically similar stations groups, which would compose the regions, as long as the rainfall stations data, in the region, have the same frequency distribution. Previously, clustering was performed through the Ward and K-Means methods. This grouping was carried out according to the similarity between stations based on geographical characteristics such as altitude, longitude and latitude. Then, these groups were evaluated according to the Hosking and Wallis' test homogeneity criterion (1997) in order to refine these groups and define eight (08) regions. Frequency distributions are identical apart from a site – specific scale factor called the storm index, which is used to find the respective quantiles in each station. Finally, a spatial interpolation of storm indices was carried out to estimate the maximum precipitation quantiles in any area of interest.

On the other hand, the Region of Influence (RI) method was used to form regions for a single area of interest. That is, it is not performed to delineate regions based on a single frequency distribution, but focuses only on a single area of interest for which data from similar stations is evaluated. This similarity was based on those geographical characteristics used for the ARF method. The main requirement of this pooling group is that they must satisfy the 5T rule and the homogeneity

criterion. The 5T rule establishes that the stations' record, as a whole, must have at least a data length such as five times the return period, subject of study. For instance, if a 50 return period analysis is being carried out, the number of grouped data, as a minimum, must be 250 data. More data could be taken (or more stations), however, this would bring dissimilarities with the area of interest. In order to perform the method validation, quantiles of eight 8 stations (located in 8 regions) evaluated with the storm index were compared to quantiles calculated from a local analysis and the IILA - SENAMHI - UNI regionalization method.

In general, regionalization methods as ARF and ROI have showed satisfactory results in 5 of the 8 stations used in the verification of the method (considering that two of the stations, which results do not adjust the expected values according to the data and the other methods, are at or near the coastal strip), being one of the main advantages the use of a greater number of records when including the neighboring stations data in the analysis of frequencies, considering the limited rainfall records which are usually found available.

## PRÓLOGO

El Perú, con un área de aproximadamente 1.29 millones de km<sup>2</sup> tiene una gran variedad de climas. Se estima que en nuestro territorio se presenta el 80 % de los climas identificados en el mundo. Existen una serie de factores que explican, en forma general, la gran variabilidad climática: la posición geográfica del Perú, que en teoría harían que el Perú fuese un país de clima tropical, el Anticiclón del Pacífico Sur, la cordillera de los Andes, la corriente peruano-chilena (conocida localmente como Corriente de Humboldt), etc. Esta gran variabilidad climática, conjuntamente con la baja densidad de estaciones climatológicas, y sobre todo pluviométricas, presenta un gran reto para los especialistas en modelación hidrológica.

Aunque existen parámetros para determinar la densidad de estaciones hidrológicas y climatológicas en una cuenca, estas parecen ser insuficientes para poder estimar, de manera adecuada, las precipitaciones en los puntos o cuencas de interés.

Los motivos señalados en los párrafos anteriores motivaron al Sr. Bachiller Wilmer Denis Roca Calderón a evaluar dos técnicas de regionalización hidrológica para calcular precipitaciones máximas diarias, datos que podrían ser empleados en estudios de modelación hidrológica. Estas técnicas fueron el Análisis Regional de Frecuencias (ARF) y la Región de Influencia (RI) mediante el uso de momentos L. Se empleó datos de precipitación de la Macroregión Sur, en particular de las regiones Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Huancavelica, Ica y Moquegua, para desarrollar modelos regionales que permitan estimar las precipitaciones máximas diarias en el ámbito indicado. Se tuvo acceso a información de 368 estaciones pluviométricas, de las cuales solo fueron validadas 173, es decir el 47 %.

Los criterios de agrupamiento de estaciones en base a características geográficas similares, descarte de datos, etc., han sido explicados en detalle en el presente trabajo. El lector tendrá acceso a un resumen del fundamento teórico, las premisas y las consideraciones prácticas de esta investigación de

manera. La información proporcionada permitirá que se repliquen estudios similares en otras zonas del país. Esperamos, por lo tanto, que este trabajo de investigación contribuya al conocimiento y al desarrollo de mejores estudios de ingeniería en nuestro país.

**Dr. Julio Martín Kuroiwa Zevallos**  
**Profesor Principal**  
**Asesor de tesis**

	Pág.
Tabla N° 2-1 Valores críticos para la discordancia $D_i$	43
Tabla N° 3-1. Características del Sistema Climático	60
Tabla N° 3-2. Caracterización climática de la Zona de Estudio	60
Tabla N° 3-3 Estaciones con tendencia según el método de Yue et. al.	63
Tabla N° 3-4 Estaciones que presentan saltos en la media según el método de Pettitt	65
Tabla N° 3-5 Estaciones que presentan tendencia y cambios en la media	66
Tabla N° 3-6 Estaciones excluidas con tendencia y cambios en la media	66
Tabla N° 3-7 Estaciones con periodos dudosos	67
Tabla N° 3-8 Número de estaciones para regionalización por departamento	68
Tabla N° 4-1 Valores de discordancia (ordenadas en forma descendiente) de las primeras 15 estaciones	71
Tabla N° 4-2 Valores de heterogeneidad	72
Tabla N° 4-3 Atributos y sus pesos para agrupación preliminar de estaciones	72
Tabla N° 4-4 Diez regiones en la zona de estudio	75
Tabla N° 4-5 Máximos valores de discordancia en las regiones formadas	75
Tabla N° 4-6 Valores de heterogeneidad en las regiones formadas	75
Tabla N° 4-7 Estaciones y sus momentos L	76
Tabla N° 4-8 Regiones (8) y estaciones que las conforman	80
Tabla N° 4-9 Rango de altitudes de Regiones Hidrológicas	82
Tabla N° 4-10 Máximos valores de discordancia en las regiones formadas	82
Tabla N° 4-11 Valores de heterogeneidad en las regiones formadas	82

	Pág.
Tabla N° 4-12 Valores de Z para cada región de acuerdo a las distribuciones estudiadas	85
Tabla N° 4-13 Coeficiente de correlación cruzada en las regiones de estudio	86
Tabla N° 4-14 Medidas de precisión para las distribuciones estimadas en las ocho regiones	87
Tabla N° 4-15 Mejor distribución de frecuencia para cada región hidrológica	89
Tabla N° 4-16 Clasificación climática de las regiones hidrológicas	92
Tabla N° 4-17 Resumen de validación (RMSE) de los modelos empleados (en mm)	99
Tabla N° 4-18 Estaciones seleccionadas con fines comparativos	110
Tabla N° 4-19 Comparación de cuantiles para diferentes periodos de retorno, en mm, según un análisis local y el ARF	111
Tabla N° 4-20 Densidad de estaciones por Región	113
Tabla N° 5-1 Estaciones agrupadas de la estación Túnel Cero para diferentes periodos de retorno	119
Tabla N° 5-2 Precipitaciones máximas diarias anuales locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno (PR) en la ubicación de la estación Túnel Cero	121
Tabla N° 5-3 Estaciones agrupadas de la estación Copará para diferentes periodos de retorno	123
Tabla N° 5-4 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Copará	125
Tabla N° 5-5 Estaciones agrupadas de la estación Acobambilla para diferentes periodos de retorno	127
Tabla N° 5-6 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Acobambilla	129

	Pág.
Tabla N° 5-7 Estaciones agrupadas de la estación Pecope para diferentes periodos de retorno	131
Tabla N° 5-8 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Pecope	133
Tabla N° 5-9 Estaciones agrupadas de la estación Visuyo para diferentes periodos de retorno	135
Tabla N° 5-10 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Visuyo	137
Tabla N° 5-11 Estaciones agrupadas de la estación Omate para diferentes periodos de retorno	139
Tabla N° 5-12 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Omate	141
Tabla N° 5-13 Estaciones agrupadas de la estación Orcopampa para diferentes periodos de retorno	143
Tabla N° 5-14 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Orcopampa	145
Tabla N° 5-15 Estaciones agrupadas de la estación Camaná para diferentes periodos de retorno	147
Tabla N° 5-16 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Camaná	149
Tabla N° 6-1 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Túnel Cero	152
Tabla N° 6-2 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Copará	154
Tabla N° 6-3 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Acobambilla	155

	Pág.
Tabla N° 6-4 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Pecope	156
Tabla N° 6-5 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Visuyo	157
Tabla N° 6-6 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Omate	158
Tabla N° 6-7 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Orcopampa	159
Tabla N° 6-8 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Camaná	160

	Pág.
Figura N° 1-1 Zonas y sub-zonas pluviométricas	23
Figura N° 2-1 Coeficientes de asimetría y curtosis (momentos convencionales) para muestras sintéticas obtenidas de una distribución Gumbel para $n = 10$	31
Figura N° 2-2 Coeficientes de asimetría y curtosis (momentos L) para muestras sintéticas obtenidas de una distribución Gumbel para $n = 10$	32
Figura N° 2-3 Esquema de nube de puntos de ratios de Momentos L	42
Figura N° 2-4 Interpolación de precipitación anual 1970 – 1999	45
Figura N° 2-5 Sección transversal – Zona de Estudio	46
Figura N° 2-6 Dendograma	49
Figura N° 2-7 Ejemplo de Procedimiento de Agrupamiento usando el método k-means	51
Figura N° 2-8 Ratios de Momento – L para datos observados y simulados	53
Figura N° 2-9 Ejemplo de relaciones entre L - Cs – L – Ck para algunas distribuciones de frecuencia	56
Figura N° 3-1 Mapa climático según el método de Werren Thornthwaite	59
Figura N° 3-2 Interfaz gráfica del software PostgreSQL	61
Figura N° 3-3 Delimitación del área de estudio y estaciones pluviométricas disponibles	62
Figura N° 4-1 Procedimiento empleado en el método ARF	70
Figura N° 4-2 Dendograma (agrupación jerárquica) de los 10 grupos formados tentativamente	73
Figura N° 4-3 Agrupación preliminar con los métodos Ward y K-means	74
Figura N° 4-4 Regiones hidrológicas (8) en la zona de estudio	81

	Pág.
Figura N° 4-5 Nube de puntos de ratios de Momentos L (coeficiente de variación VS. coeficiente de asimetría)	83
Figura N° 4-6 Nube de puntos de ratios de Momentos L (coeficiente de curtosis VS. coeficiente de asimetría)	84
Figura N° 4-7 Curvas de distribución de frecuencias de cuantiles regionales	90
Figura N° 4-8 Modelo digital de elevación y cuencas principales en la zona de estudio	92
Figura N° 4-9 Regiones hidrológicas (8) definidas por el método ARF	93
Figura N° 4-10 Regiones hidrológicas (8) y mapa climático según Werren Thornthwaite	94
Figura N° 4-11 Ubicación de estaciones (muestra y sub-muestra)	96
Figura N° 4-12 Predicciones (mm) y Errores de la interpolación Kriging con submuestra de Índices de Tormenta – Modelo Esférico	98
Figura N° 4-13 Predicciones y Errores de la interpolación Kriging con submuestra de índices de tormenta – Modelo Exponencial	99
Figura N° 4-14 Validación y validación cruzada (I1 transformado logarítmicamente) en el modelo exponencial	100
Figura N° 4-15 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 2 años	101
Figura N° 4-16 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 5 años	102
Figura N° 4-17 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 10 años	103
Figura N° 4-18 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 20 años	104

	Pág.
Figura N° 4-19 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 50 años	105
Figura N° 4-20 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 100 años	106
Figura N° 4-21 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 200 años	107
Figura N° 4-22 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 500 años	108
Figura N° 4-23 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 1000 años	109
Figura N° 4-24 Imagen satelital con la ubicación de las ocho estaciones de análisis	110
Figura N° 4-25 Ubicación de las ocho estaciones de análisis y las regiones a las que pertenecen	111
Figura N° 5-1 Procedimiento empleado en el método RI	115
Figura N° 5-2 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Túnel Cero	118
Figura N° 5-3 Región de Influencia (RI) de la estación Túnel Cero para un periodo de retorno de 100 años	120
Figura N° 5-4 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Copará	122
Figura N° 5-5 Región de Influencia (RI) de la estación Copará para un periodo de retorno de 100 años	124
Figura N° 5-6 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Acobambilla	126

	Pág.
Figura N° 5-7 Región de Influencia (RI) de la estación Acobambilla para un periodo de retorno de 100 años	128
Figura N° 5-8 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Pecope	130
Figura N° 5-9 Región de Influencia (RI) de la estación Pecope para un periodo de retorno de 100 años	132
Figura N° 5-10 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Visuyo	134
Figura N° 5-11 Región de Influencia (RI) de la estación Visuyo para un periodo de retorno de 100 años	136
Figura N° 5-12 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 50 años y distribuciones de frecuencias para la estación Omate	138
Figura N° 5-13 Región de Influencia (RI) de la estación Omate para un periodo de retorno de 100 años	140
Figura N° 5-14 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Orcopampa	142
Figura N° 5-15 Región de Influencia (RI) de la estación Orcopampa para un periodo de retorno de 100 años	144
Figura N° 5-16 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Camaná	146
Figura N° 5-17 Región de Influencia (RI) de la estación Camaná para un periodo de retorno de 100 años	148
Figura N° 6-1 Zonas y sub-zonas pluviométricas según el método IILA – SENAMHI – UNI para la zona de estudio	151
Figura N° 6-2 Comparación gráfica de tendencias – Estación Túnel Cero	153
Figura N° 6-3 Comparación gráfica de tendencias – Estación Copará	154

	Pág.
Figura N° 6-4 Comparación gráfica de tendencias – Estación Acobambilla	155
Figura N° 6-5 Comparación gráfica de tendencias – Estación Pecope	157
Figura N° 6-6 Comparación gráfica de tendencias – Estación Visuyo	158
Figura N° 6-7 Comparación gráfica de tendencias – Estación Omate	159
Figura N° 6-8 Comparación gráfica de tendencias – Estación Orcopampa	160
Figura N° 6-9 Comparación gráfica de tendencias – Estación Camaná	161

### LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AED	Análisis Exploratorio de Datos
ARF	Análisis Regional de Frecuencia
CK	Co-Kriging
CV	Coeficiente de Variación
$D_i$	Medida de Discordancia
GEV	Distribución de Valor Extremo Generalizada
GLO	Distribución Logística Generalizada
GNO	Distribución Normal Generalizada
GPA	Distribución Pareto Generalizada
$H_i$	Medida de Heterogeneidad
HydroSHEDS	Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at multiple Scales
IILA	Instituto Ítalo Latino Americano
KO	Kriging Ordinario
MPP	Momentos Ponderados Probabilísticamente
PE3	Pearson Tipo 3
PR	Periodo de Retorno
RI	Región de Influencia
RMSE	Root Mean Square Error
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TFPW	Trend Free Pre Whitening
URL	Uniform Resource Locator
USGS	United States Geological Survey
$E(X)$	Esperanza matemática
$g$	Coeficiente de Asimetría
$\kappa$	Curtosis
$\sigma$	Desviación estándar
$b_r$	Estimador de MPP
$\mu$	Media
$\mu_r$	Momentos centrales de orden $r$
$m_r$	Momento de orden $r$
$s$	Momento insesgado
$l_r$	Momentos L (o Momento lineal)
$l_1$	Momento lineal de primer orden, parámetro de localización o media
$l_2$	Momento lineal de segundo orden, parámetro de escala o variación
$l_3$	Momento lineal de tercer orden, parámetro de asimetría
$l_4$	Momento lineal de cuarto orden, parámetro de curtosis o pico
$t$	Ratio de Momento L o coeficiente de variación
$t_3$	Ratio de Momento L de tercer orden o coeficiente de asimetría
$t_4$	Ratio de Momento L de cuarto orden o coeficiente de curtosis
$\gamma$	Sesgo

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Generalidades

En la práctica ingenieril, relacionada al diseño de obras hidráulicas, es necesaria la estimación de un caudal o volumen de agua, sin embargo, estos datos son muy escasos. Por lo tanto, se suele recurrir a modelos de precipitación – escorrentía para la determinación de caudales de diseño, debido a que existe mayor cantidad de registros de precipitaciones en comparación con datos hidrométricos. Sin embargo, los datos de precipitación aún suelen ser escasos en nuestro medio, por lo que el uso de métodos de regionalización de precipitaciones es una alternativa importante para la estimación de precipitaciones de diseño según el periodo de retorno de interés.

Si bien las mediciones se recogen de pluviómetros y se dan a las 19 horas del día y a las 7 horas del día siguiente, siendo la suma de ambas lecturas la precipitación acumulada y correspondiente estrictamente a una medición multidiaria, se asumió la denominación precipitación máxima diaria anual, como la variable de estudio de la presente tesis. A su vez, no se le llamó precipitación máxima de 24 horas dado que el registro se da en un tiempo fijo, por lo tanto, cabe la posibilidad que el dato obtenido no refleje este valor, el cual se obtendría a partir de un registro continuo en el tiempo (horario o de mayor resolución obtenido a partir de una estación automática o pluviógrafo).

Los estudios de regionalización hidrológica inician su auge a partir de la recopilación y análisis de datos de inundaciones durante la década de 1920. Castellarin et al. (2007) hacen referencia a un método tradicional de regionalización llamada “curva envolvente regional”, la cual fue introducida por primera vez por Jarvis en 1925, quien buscaba determinar las curvas envolventes regionales de máximas inundaciones para los Estados Unidos a partir de la observación de 888 estaciones hidrométricas. Asimismo, menciona otros estudios similares, los cuales fueron desarrollados en Italia (Marchetti, 1955), Grecia (Mimikou, 1984), China (Costa, 1987) y Japón (Kadoya, 1992).

Una de las mayores desventajas de métodos como el de la curva envolvente regional es su falta de rigurosidad estadística, ya que este solo toma en cuenta los valores recopilados hasta cierto año sin tener en consideración la recurrencia que supone la probabilidad de que un evento sea excedido en el tiempo (análisis de frecuencia). Al respecto, la USGS desarrolló un método llamado “índice de avenida” (Dalrymple, 1960), el cual considera curvas de frecuencia adimensionales que representan la razón de máximas avenidas con diversas frecuencias con respecto a las avenidas promedio anuales en cada cuenca. Luego, consideraba la relación entre las características de la cuenca y las avenidas promedio anuales. Al combinar estas relaciones se podía obtener el valor de la avenida en cualquier punto de la región considerada. Este método ha sido optimizado desde entonces (Kite, 1988).

Además, Solomon y otros (1968) desarrollaron el método de la “red cuadrada”, el cual consiste en dividir la región en celdas y propone el uso y aprovechamiento del potencial de las computadoras para el procesamiento de grandes volúmenes de datos meteorológicos, topográficos e hidrométricos, los cuales se encuentran almacenados en celdas y que servirían para la estimación de la distribución de la precipitación, temperatura o escorrentía en algún punto de interés de la región de estudio (Solomon et al., 1968).

En 1990, Hosking introduce el concepto de momentos L (L proviene de linealidad) como una alternativa a métodos más tradicionales como los momentos o máxima verosimilitud para el cálculo de los parámetros que caracterizaban a las curvas de distribución acumulativas. Stedinger y otros (1993), recomiendan su uso para el análisis de frecuencia de avenidas en el Manual de Hidrología (Stedinger et al., 1993). En 1997, Hosking y Wallis establecen las bases para el análisis de frecuencia regional con el uso de Momentos L. Al usar los Momentos L se tiene la ventaja de poder caracterizar una amplia gama de distribuciones y ser un método más robusto a la presencia de valores atípicos (Hosking y Wallis, 1997). El método tiene amplia acogida y ha sido materia de estudio en diversos países como Italia (Di Baldassare et al., 2006), República Checa (Gaál et al., 2008), Turquía (Yurekli, 2009), Canadá (Irwin, 2015), etc.

Con respecto al plano regional y local, el convenio IILA – SENAMHI – UNI realizó el estudio denominado “Estudio de la Hidrología del Perú” (1983), en el cual se caracterizaban sub – zonas (o sub - regiones) a nivel nacional para la determinación de precipitaciones e intensidades para diferentes duraciones y periodos de retorno de acuerdo a las sub-zonas del mapa mostrado en la Figura N° 1-1, a la altitud, distancia al mar o distancia a la cordillera de la zona de estudio. En la presente tesis se evaluará este método como parte del análisis comparativo.



Figura N° 1-1 Zonas y sub-zonas pluviométricas  
(Fuente: IILA-SENAMHI-UNI, 1983)

Por otra parte, Luna et al. (2013) realizaron un análisis regional de frecuencia de las precipitaciones máximas en los Andes Bolivianos utilizando distribuciones de

dos parámetros. En el año 2015, Lujano y Felipe realizaron un análisis de frecuencia regional en la cuenca hidrográfica del lago Titicaca y establecieron nueve modelos regionales según el periodo de retorno y basados en el índice de avenida. Sin embargo, Fernández (2014) concluyó que la Vertiente del Lago Titicaca conforma una sola región homogénea la cual corresponde a la distribución Normal Generalizada. Asimismo, en 2016 se realizó un método de regionalización de lluvias sobre la costa peruana, el cual estuvo basado en el agrupamiento “k – means” seguido de la aplicación del método del vector regional aplicado a 145 estaciones pluviométricas para un registro que comprendía el periodo 1964 – 2011. Como producto del estudio, se identificaron nueve regiones homogéneas, los cuales representan las características más resaltantes de la variabilidad de la lluvia en el área de estudio (Rau et al., 2016).

Con el desarrollo de la presente tesis se pretende realizar un estudio de regionalización hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales haciendo uso del método de los Momentos L, propuesto por Hosking (1990) para el cálculo de los parámetros que definen la curva de crecimiento de una distribución de probabilidades. Luego, haciendo uso de esta teoría, se siguen los métodos propuestos por Hosking y Wallis (1997) para evaluar la discordancia y heterogeneidad de un grupo definido de sitios o estaciones para la delineación de regiones en la zona sur – occidental del Perú.

- i) Para la obtención de los datos, su procesamiento y visualización de resultados se ha utilizado fuentes o programas de libre acceso. Los datos fueron descargados desde la dirección URL del SENAMHI. Se recopilaron todos los datos de precipitaciones diarias disponibles de las regiones Huancavelica, Ica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa y Moquegua y fueron puestos en una base de datos con PostgreSQL. El PostgreSQL es un potente programa de base de datos distribuido libremente, el cual permite almacenar gran cantidad de datos en tablas los que pueden relacionarse entre sí. Asimismo, funciona como una base de datos espacial a través del PostGIS, el cual permite procesar los datos a través de Sistemas de Información Geográfica (Obe R., et al., 2012).

La data fue procesada con el software libre R, pasando por la obtención de las precipitaciones máximas anuales, análisis exploratorio de datos, análisis de agrupamiento, cálculo de los momentos L, obtención de las regiones por los métodos Análisis Regional de Frecuencia (ARF) y Región de Influencia (RI), interpolación espacial y la evaluación de confiabilidad del modelo regional respectivo. R es un lenguaje de programación de alto nivel para el procesamiento de datos y gráficos (Crawley, 2007). El software QGIS se usó para la elaboración de mapas de precipitaciones, modelo digital del terreno y delineación de áreas producto del análisis regional.

## 1.2 Problemática

El diseño óptimo de estructuras hidráulicas requiere de la estimación confiable de máximas de variables hidrometeorológicas y su frecuencia. Según los diversos manuales y normas técnicas existentes y de aplicación en el Perú, en la mayoría de casos se requiere la estimación de eventos extremos de precipitaciones o caudales correspondientes a periodos de retorno mayores de 50 años, dada su naturaleza destructiva. Por lo tanto, es importante contar con registros extensos de observaciones sobre la cuenca de estudio para la estimación fiable de dichos eventos. Sin embargo, en el Perú esta información suele ser escasa e incluso de dudosa calidad. Ante este problema, es necesario recurrir a métodos de regionalización con los cuales se agrupen estaciones con comportamiento similar (a través de atributos o características climatológicas o geográficas similares). La finalidad es atenuar la carencia de los datos locales en el tiempo con su cantidad en el espacio (Hosking y Wallis, 1997). En esta tesis la variable de análisis es la precipitación máxima diaria, dada su mayor persistencia en el espacio con respecto a los datos de caudales máximos instantáneos.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Identificar regiones hidrológicas a partir de la caracterización de precipitaciones máximas diarias con la aplicación de momentos L en la zona sur – occidental del

Perú (regiones Huancavelica, Ica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa y Moquegua) con el fin de predecir eventos con una cierta probabilidad de ocurrencia.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Recopilar datos de precipitaciones máximas diarias de estaciones administradas por el SENAMHI y disponibles desde su dirección web;
- Realizar el análisis exploratorio y de supuestos de los datos, el cual comprende el análisis de cambio en la media (saltos) y análisis de tendencia;
- Aplicar el método de los momentos L propuesto por Hosking y Wallis, para la regionalización hidrológica, a partir de dos criterios: el Análisis Regional de Frecuencia y la Región de Influencia, los cuales serán comparados;
- Elaborar mapas regionales de precipitaciones máximas diarias anuales en la zona sur – occidental del Perú.

## 1.4 Hipótesis

### 1.4.1 Hipótesis General

Los métodos de regionalización basados en los momentos L, tales como el análisis regional de frecuencia o la región de influencia, resuelven satisfactoriamente el problema de la estimación de cuantiles de precipitaciones máximas diarias anuales en lugares donde no existen datos pluviométricos a partir de estaciones con registros en la zona sur – occidental del Perú.

### 1.4.2 Hipótesis Específicas

- La exploración de datos, a través del análisis local de datos (tendencia y homogeneidad) y regional (discordancia), permite depurar y refinar la

información pluviométrica para poder usarla en el análisis estadístico regional;

- Los métodos de agrupamiento, aplicados al conjunto de estaciones, delimitan, aproximadamente, regiones que son hidrológicamente homogéneas;
- Características geográficas de las estaciones tales como la latitud, longitud y altitud son atributos que definen satisfactoriamente regiones hidrológicamente homogéneas en la zona sur – occidental del Perú, siendo la altitud su principal influyente.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 Teoría de Momentos L

A principio de la década de 1970 se hicieron los primeros esfuerzos de regionalización. Los estudios estuvieron orientados al análisis de la distribución de los caudales máximos instantáneos la cual solía ser modelada, hasta ese entonces, usando la distribución de Gumbel; siendo el método de los momentos el comúnmente usado para ajustar la curva de distribución de frecuencias a los datos, los cuales provenían, sobretodo, de pequeñas muestras. Sin embargo, estudios realizados por Wallis, Matalas y Slack (1974) revelaron algunas propiedades inconvenientes de este método tal como un gran sesgo, lo cual podía derivar en un aumento de la incertidumbre en la estimación de los cuantiles (Hosking y Wallis, 1997).

Desde el punto de vista del análisis regional, Wallis y otros establecieron el fenómeno de “separación de asimetrías” para datos de caudales máximos anuales, ya que no se logró ajustar estos datos a alguna distribución conocida, por lo cual concluyeron que esta separación obedecía a una combinación de distribuciones (Wallis, Matalas y Slack, 1977), lo que se conoce en estos días como heterogeneidad regional (Hosking y Wallis, 1997). Sin embargo, en 1978, Landwehr, Matalas y Wallis determinaron que la distribución Wakeby no presentaba el fenómeno de separación. No obstante, el cálculo de los parámetros de esta distribución, bajo métodos convencionales tales como el método de momentos o máxima verosimilitud, es muy complicado (Hosking y Wallis, 1997). Ante esto, Greenwood et al. (1979) desarrollaron el método denominado Momentos Ponderados Probabilísticamente (MPP) del cual haría uso posteriormente Hosking (1990), quien encontró que ciertas combinaciones lineales de los MPP, a los que llamó Momentos L, podían ser interpretados como medidas de ubicación, escala y forma de las distribuciones de probabilidad.

### 2.1.1 Definición de Momentos

El objetivo del análisis de frecuencia es intentar ajustar los datos a una distribución cuya forma es determinada por un número finito de parámetros. La forma de una distribución de probabilidad ha sido tradicionalmente definida por los momentos de una distribución. Los momentos son la media

$$\mu = E(X) \quad X: \text{Variable aleatoria}$$

y los momentos (centrales) de mayor orden

$$\mu_r = E(X - \mu)^r \quad r = 2, 3, \dots$$

La media está ubicada en el centro de la distribución. La dispersión de la distribución alrededor de su centro es medida como la desviación estándar,

$$\sigma = \mu_2^{1/2} = \{E(X - \mu)^2\}^{1/2}$$

El coeficiente de variación (CV),  $C_v = \sigma/\mu$  expresa la dispersión de una distribución como una proporción de la media. Mayores momentos adimensionales  $\mu_r / \mu_2^{r/2}$  también son usados, particularmente el sesgo (medida de asimetría)

$$\gamma = \mu_3 / \mu_2^{3/2}$$

y la curtosis (medida de apuntamiento)

$$\kappa = \mu_4 / \mu_2^2$$

Valores análogos pueden ser calculados a partir de la muestra  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

$$\bar{x} = n^{-1} \sum_{i=1}^n x_i$$

Los momentos mayores de la muestra

$$m_r = n^{-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^r$$

son estimadores razonables de  $\mu_r$ , pero están sesgados. Usualmente, se utilizan estimadores sin sesgo. En particular,  $\sigma^2$ ,  $\mu_3$  y el cuarto cumulante  $\kappa_4 = \mu_4 - 3\mu_2^2$  son estimados insesgadamente según:

$$s^2 = (n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\tilde{m}_3 = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)} m_3$$

$$\tilde{\kappa}_4 = \frac{n^2}{(n-2)(n-3)} \left\{ \left( \frac{n+1}{n-1} \right) m_4 - 3m_2^2 \right\}$$

respectivamente. Los estimadores de la muestra del CV, coeficiente de asimetría y coeficiente de curtosis son, respectivamente (Hosking y Wallis, 1997),

$$\hat{c}_v = s/x \qquad g = \tilde{m}_3/s^3 \qquad k = \tilde{\kappa}_4/s^4 + 3$$

Valores estimados como la asimetría o la curtosis presentan inconvenientes. Por ejemplo, en el caso de la asimetría, esta se puede expresar como:

$$g = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \cdot \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{s^3}$$

Como se puede observar, esta contiene una suma de cubos de las desviaciones desde la media  $y$ , por lo tanto, es susceptible a error (Bedient et al., 2008), entendiéndose este como su diferencia respecto a la asimetría teórica.

Los estimadores  $g$  y  $k$  suelen tener una fuerte tendencia, dependiendo del tamaño de la muestra. Por lo tanto, si la distribución tiene suficiente sesgo, sería imposible que este sesgo sea reflejado en una muestra de tamaño establecido, que suele ser pequeño para los tiempos de retorno usualmente considerados en los proyectos. Por ejemplo, una muestra con 20 datos y extraídos de una distribución lognormal de dos parámetros no pueden tener un sesgo mayor a

4.47 o 65% del valor de la población. Por lo tanto, las inferencias basadas en el método de los momentos de la muestra de distribuciones con sesgo no son confiables (Hosking y Wallis, 1997).

Un ejemplo ilustrativo de esto es el que se plantea a continuación: generamos 10 datos a partir de una distribución Gumbel (dados sus parámetros correspondientes). Esta tendrá una asimetría y curtosis cuyo valor teórico se representa con el punto verde (ver Figura N° 2-1). Luego, supongamos que se tienen otras 50 muestras sintéticas de las cuales obtenemos los coeficientes de asimetría y curtosis de cada una (puntos rosados) a partir de los momentos convencionales. Calculando el promedio de cada coeficiente de esta serie se obtiene el ubicado según el punto rojo. Como se observa, los estimados de la serie no convergen, en promedio, al valor teórico (punto verde). Esta diferencia, por definición es el sesgo, el cual se encuentra aún más afectado cuando se consideran distribuciones de 3 o 4 parámetros (Castellarin, 2013). Un conjunto más satisfactorio de formas de distribución es obtenido a partir de los Momentos L (Hosking y Wallis, 1997).

Al respecto, Castellarin (2013) realizó un procedimiento similar concerniente a la generación de muestras sintéticas y obtuvo los coeficientes de asimetría y curtosis a partir de los Momentos L. Como se observa en la Figura N° 2-2 el valor teórico (punto verde) se aproxima satisfactoriamente al promedio de cada coeficiente (punto rojo) al reducir el sesgo significativamente.

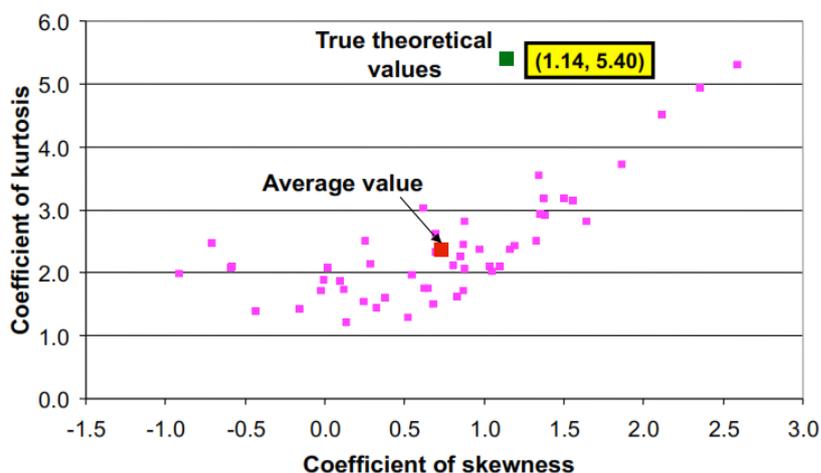


Figura N° 2-1 Coeficientes de asimetría y curtosis (momentos convencionales) para muestras sintéticas obtenidas de una distribución Gumbel para  $n = 10$   
Fuente: Castellarin, 2013

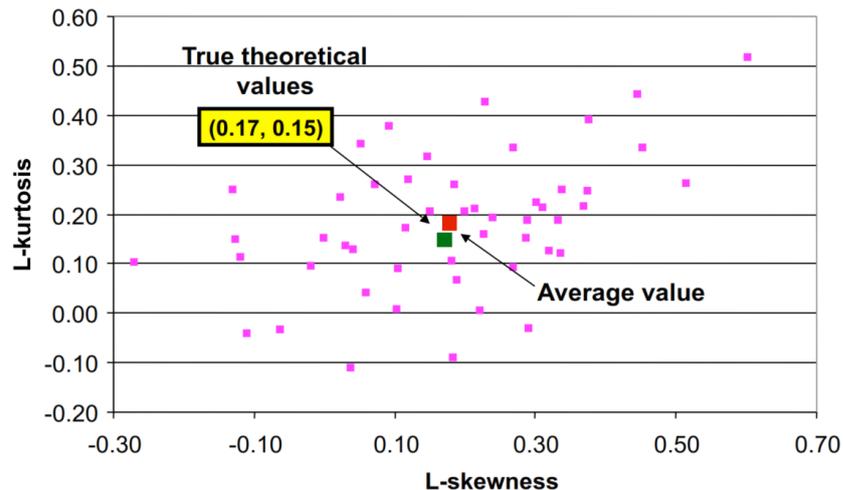


Figura N° 2-2 Coeficientes de asimetría y curtosis (momentos L) para muestras sintéticas obtenidas de una distribución Gumbel para  $n = 10$   
Fuente: Castellarin, 2013

### 2.1.2 Definición de Momentos L

#### Momentos Ponderados Probabilísticamente (MPP)

Los momentos L (Hosking, 1990) se planteó como un sistema alternativo de descripción de las formas de las distribuciones de probabilidad basado en el método llamado “Momentos Ponderados Probabilísticamente” (MPP) introducido por Greenwood et. al. (1979), ya que favorecía a aquellas distribuciones en las que la forma inversa estaba definida explícitamente, es decir, una variable aleatoria  $x$  puede ser escrita en función de la función de distribución acumulativa,  $F$ , sea  $x$ :  $x = x(F)$ .

Greenwood observó que a pesar de que los momentos de esta función podían ser expresados en función de sus parámetros, la relación inversa no podía ser derivada directamente, es decir, no era factible la estimación de los parámetros a partir de los momentos. Asimismo, resaltó lo complicada que era realizar la estimación de estos parámetros a partir del método de máxima verosimilitud. Al respecto, algoritmos basados en técnicas de iteración han sido propuestos para estos parámetros (Greenwood et. al., 1979).

Sea  $X$  una variable aleatoria con una función de distribución acumulativa (FDA)  $F_X(x)$ , luego los MPP son (Greenwood et. al., 1979):

$$M_{p,r,s} = E[X^p \{F_x(x)\}^r \{1 - F_x(x)\}^s] = \int_0^1 [x(F_x(x))]^p F_x(x)^r (1 - F_x(x))^s dF_x(x) \quad (1)$$

Donde  $p$ ,  $r$  y  $s$  son números reales. Si la inversa de la FDA es tal que  $F_x(x) = u$ ,  $x = F_x^{-1}(u) = x(u)$  con  $0 \leq u \leq 1$ , luego una definición alternativa para los momentos ponderados probabilísticamente es (Rao et al., 2007):

$$M_{p,r,s} = \int_0^1 [x(u)]^p u^r (1 - u)^s du \quad (2)$$

Cuando  $s = r = 0$  y  $p$  es un entero no negativo, entonces  $M_{p,0,0}$  representa el momento convencional de orden  $p$  alrededor del origen; por lo tanto,

$$M_{1,0,0} = \int_0^1 x(u) du = E[X] \quad (3)$$

Expresiones alternativas de los MPP son, generalmente, obtenidas a partir de hacer  $r$  o  $s$  igual a cero tal que:

$$\alpha_s = M_{1,0,s} = \int_0^1 x(u) (1 - u)^s du \quad (4a)$$

$$\beta_r = M_{1,r,0} = \int_0^1 x(u) u^r du \quad (4b)$$

Cuando  $r = 0$ , el peso es mayor sobre el lado izquierdo de la distribución (valores pequeños) debido a que la distribución de frecuencia observada,  $x(u)$ , es ponderada por el complemento de la función de distribución acumulada,  $1-u$ . Por otro lado, cuando  $s = 0$ ,  $x(u)$  es ponderada por la función de distribución acumulada,  $u$ , en cuyo caso se da un mayor énfasis al lado derecho de la distribución (valores grandes) (Myers, 1990).

Al comparar los MPP con la definición convencional de momentos,

$$E[X^n] = \int_{-\infty}^{\infty} x^n f_x(x) dx \quad (5)$$

se puede observar en la ecuación (5), los momentos convencionales de orden superior implican potencias sucesivas incrementales de  $x$ , mientras que los MPP

$\alpha_s$  y  $\beta_r$  solo lo eleva a la primera potencia, elevando u o (1-u) a potencias superiores. Por lo tanto, los momentos convencionales suelen tener una fuerte tendencia, dependiendo del tamaño de la muestra. Por lo tanto, si la distribución tiene suficiente sesgo, sería imposible que este sesgo sea reflejado en una muestra de tamaño establecido, que suele ser pequeño para los tiempos de retorno usualmente considerados en los proyectos de ingeniería.

Hosking y Wallis (1997) señalan que si bien los MPP han sido usados como base para estimar los parámetros de distribuciones de probabilidad, estos son difíciles de interpretar directamente como medidas de escala y forma de una distribución de probabilidad, siendo esta información proporcionada bajo ciertas combinaciones de los MPP.

De la ecuación (4b),  $\beta_r$  puede ser expresado como una combinación lineal de  $\alpha_s$  y viceversa. El estimador de MPP a partir de una muestra (finita) con variable aleatoria X de tamaño n, con elementos en orden ascendente:  $X_{1:n} < X_{2:n} < \dots < X_{n:n}$  es (Landwehr et. al., 1979):

$$b_r = n^{-1} \binom{n-1}{r}^{-1} \sum_{j=r+1}^n \binom{j-1}{r} x_{j:n}$$

Donde  $x_{j:n}$  es el j-ésimo elemento de orden ascendente.

Desarrollando los primeros MPP se tiene:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{j:n}$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_{j:n}$$

$$b_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_{j:n}$$

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2) \dots (j-r)}{(n-1)(n-2) \dots (n-r)} x_{j:n}$$

Momentos L

Las estimaciones de los Momentos L dependen linealmente de los valores MPP, por lo tanto, son una función lineal de la muestra original. Así, es posible, en la práctica, estimar los Momentos L de una muestra finita. A partir de los MPP, los primeros cuatro Momentos L ( $l_i$ ), están dados por:

$$l_1 = b_0$$

$$l_2 = 2b_1 - b_0$$

$$l_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0$$

$$l_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0$$

El momento lineal de primer orden  $l_1$  es el parámetro de localización o media de la muestra (más adelante, llamado índice de tormenta), el de segundo orden  $l_2$  mide la escala o la variación, indicando el grado de dispersión de los datos, el momento de tercer orden  $l_3$  hace referencia a su simetría, y el de cuarto orden  $l_4$  indica la curtosis de la muestra o pico de la distribución.

Para obtener los Momentos L independientes de las unidades de medición son los llamados cocientes o ratios de Momentos L (Hosking, 1990). Estos se obtienen dividiendo aquellos de mayor orden por la medida de escala  $l_2$ :

$$t = l_2/l_1 = L - C_v, \quad \text{donde } 0 \leq t \leq 1$$

$$t_3 = l_3/l_2 = L - C_s, \quad \text{donde } -1 \leq t_3 \leq 1$$

$$t_4 = l_4/l_2 = L - C_k, \quad \text{donde } -1 \leq t_4 \leq 1$$

Donde  $t$  es el coeficiente de variación  $-L(L - C_v)$ ,  $t_3$  es el coeficiente de asimetría  $-L(L - C_s)$  y  $t_4$  es coeficiente de curtosis  $-L(L - C_k)$ . Los momentos lineales de la muestra ( $t$ ,  $t_3$  y  $t_4$ ) son ponderados proporcionalmente en función

de la longitud para determinar los ratios medio regionales de los Momentos L ( $t^R$ ,  $t_3^R$  y  $t_4^R$ ):

$$t_r^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t_r^i}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

Donde  $n_i$  indica la longitud del registro para el sitio  $i$ .

Estos se relacionan con los momentos lineales de la función de distribución de probabilidad para determinar los parámetros de las distribuciones. Hosking y Wallis (1997) constatan que son varias las ventajas del uso de los Momentos L como son:

- Capacidad de caracterizar un amplio rango de funciones de distribución;
- Mayor robustez en presencia de valores atípicos;
- Menor sensibilidad a la asimetría, entre otras.

## 2.2 Análisis Exploratorio de Datos

Cuando se tiene una muestra regional, intuitivamente deseamos evaluar si estos datos son confiables o no, es decir, si hay series o datos anómalos en nuestro registro. Para dicho fin se procedió a realizar el llamado Análisis Exploratorio de Datos (AED) el cual se basa en el análisis de consistencia (tendencia y homogeneidad en registros de estaciones individuales) y discordancia (en registros de estaciones agrupadas).

Para el análisis de tendencia se utilizó la prueba estadística no – paramétrica de Yue et. al. (2002). La ventaja de las pruebas estadísticas no – paramétricas es que son más apropiadas para el análisis de datos no distribuidos normalmente (como es el caso de valores extremos), y con registros incompletos, los cuales son encontrados muy frecuentemente en series de tiempo hidrológicos (Hirsch y Slack, 1984).

Para el análisis de homogeneidad o cambios en la media se utilizó la prueba estadística no – paramétrica de Pettitt (1979). Se considera realizar la prueba de hipótesis nula (sin cambio), contra la alternativa del cambio usando un estadístico no paramétrico. Esta es una versión del estadístico de Mann – Whitney, del cual se puede derivar probabilidades de significancia aproximadas para evaluar el posible cambio en la serie (Pettitt, 1979).

Con el análisis de discordancia se identificaron series de datos no confiables debido a regímenes de frecuencia marcadamente diferentes en una con respecto al grupo en evaluación. Los grupos fueron preliminarmente delineados usando técnicas de agrupamiento (lo que en inglés se conoce como clustering). Las anomalías fueron evaluadas en función de los Momentos L de la muestra.

### 2.2.1 Análisis de Tendencia

Para el análisis de tendencia se utilizó la prueba estadística no – paramétrica de Yue et. al. (2002). La ventaja de las pruebas estadísticas no – paramétricas es que son más apropiadas para el análisis de datos no distribuidos normalmente, y con registros incompletos, los cuales son encontrados muy frecuentemente en series de tiempo hidrológicos. Este método se basa en el siguiente procedimiento (Yue et. al., 2012):

Paso 1: La pendiente  $b$  de la tendencia de la serie de tiempo es estimada según el método de Theil – Sen (TSA):

$$b = \text{Mediana}\left(\frac{X_j - X_l}{j - l}\right), \forall l < j$$

Donde  $X_l$  es la observación  $l$ -ésima. Si la pendiente es casi igual a cero, entonces no es necesario continuar con el análisis de tendencias. Si es distinto de cero, entonces se asume que hay una tendencia lineal, siendo anulada la tendencia de la muestra según:

$$X'_t = X_t - T_t = X_t - bt$$

Donde  $t$  es el tiempo transcurrido entre las observaciones  $j$  y  $l$ .

Paso 2. El coeficiente de correlación serial de lag-1,  $r_1$ , de la serie sin tendencia  $X'_t$  es calculado usando la siguiente ecuación:

$$r_1 = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} [X'_t - E(X'_t)][X'_{t+1} - E(X'_{t+1})]}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [X'_t - E(X'_t)]^2}$$

Donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Luego el modelo de autoregresión AR(1) es anulado de  $X'_t$  según:

$$Y'_t = X'_t - r_1 X'_{t-1}$$

A este proceso se le conoce como el procedimiento TFPW (pre – blanqueo sin tendencia, por sus siglas en ingles). La serie residual, luego de haber aplicado el procedimiento TFPW, debería ser una serie independiente.

Paso 3. Se combinan la tendencia  $T_t$  y el residual  $Y'_t$ :

$$Y_t = Y'_t + T_t$$

De este modo la serie  $Y_t$  conserva la tendencia original sin estar influenciada por los efectos de la autocorrelación.

Paso 4. Finalmente, la prueba de Mann – Kendall se aplica a la nueva serie para evaluar la significancia de la tendencia.

La prueba estadística no – paramétrica Mann – Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) es comúnmente usada para evaluar la significancia de tendencias en series de tiempo de variables hidrometeorológicas. El hecho de ser una prueba no – paramétrica la hace más adecuada para su aplicación en valores no – normalmente distribuidos, tal como es el caso de las precipitaciones extremas. Se debe tener en cuenta que se requiere la independencia serial de la serie de tiempo para la aplicación de pruebas no paramétricas (Yue et. al., 2002).

Se pretende estimar la significancia de la tendencia de precipitaciones extremas a un determinado nivel de confianza. La prueba es aplicada a una serie de tiempo de precipitaciones máximas diarias anuales  $x_i$  en el rango de  $i = 1, \dots, n - 1$ , y  $x_j$  en el rango de  $j = i+1, \dots, n$ . Cada punto  $x_i$  es usado como un punto de referencia y es comparado con todos los demás puntos  $x_j$  de tal modo que:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & x_j > x_i \\ 0 & x_j = x_i \\ -1 & x_j < x_i \end{cases}$$

El estadístico S de Kendall es calculado como:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i)$$

Si los datos son IID (independientes e idénticamente distribuidas) entonces la media es cero y la varianza para el estadístico S se puede definir como:

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18}$$

En el que  $t_i$  indica el número de valores iguales para el punto  $i$ . El estadístico  $Z_s$  puede ser calculado como:

$$Z_s = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\sigma} & \text{para } S > 0 \\ \frac{S+1}{\sigma} & \text{para } S < 0 \\ 0 & \text{para } S = 0 \end{cases}$$

$Z_s$  sigue la distribución normal estándar. El nivel de significancia  $p$  puede ser obtenido usando la prueba estadística en la función de distribución acumulativa (F.D.A.) para una variable estándar normal  $F_N$ :

$$p = 2[1 - F_N(Z_s)]$$

Si  $|Z_s|$  es mayor que  $Z_{\alpha/2}$ , donde  $\alpha$  indica el nivel de significancia o el complemento del nivel de confianza, entonces la tendencia es significativa. El valor  $p$  es una medida de la probabilidad que la hipótesis nula (no hay tendencia) esté siendo rechazada. Cuan menor sea el valor  $p$  es mayor la probabilidad que

haya tendencia. Se asume un nivel de confianza del 95%, lo que implica que el error estimado de la pendiente es mayor que el 5% en el caso que no haya tendencia.

### 2.2.2 Análisis de Homogeneidad

Para el análisis de homogeneidad o cambios en la media se utilizó la prueba estadística no – paramétrica de Pettitt (1979). Sea una secuencia de valores aleatorios  $X_1, X_2, \dots, X_T$  entonces se dice que la serie tiene un salto o no es homogéneo en la ubicación  $\psi$  si  $X_t$  para  $t = 1, \dots, \psi$  tiene una función de distribución común  $F_1(x)$  y  $X_i$  para  $t = \psi+1, \dots, T$  tiene una función de distribución común  $F_2(x)$  tal que  $F_1(x) \neq F_2(x)$ . La aplicación de la prueba de Pettitt no requiere de una identificación preliminar del tiempo en el que el cambio aparentemente ha ocurrido. Se considera realizar la prueba de hipótesis nula (sin cambio),  $H: \psi = T$ , contra la alternativa del cambio,  $A: 1 \leq \psi \leq T$ , usando un estadístico no paramétrico (Pettitt, 1979). Esta es una versión del estadístico de Mann – Whitney, del cual se puede derivar probabilidades significantes aproximadas para evaluar el posible cambio en la serie. Sea:

$$D_{ij} = \text{sign}(X_i - X_j)$$

Donde

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

Luego

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^T D_{ij}$$

El estadístico  $U_{t,T}$  es equivalente al estadístico de Mann – Whitney para la probar que dos muestras  $X_1, \dots, X_t$  y  $X_{t+1}, \dots, X_T$  proceden de la misma población. El estadístico  $U_{t,T}$  es calculado para el rango de valores de  $t: 1 \leq t < T$ . Para la realización de la prueba de  $H$ : sin cambio contra la prueba de  $A$ : con cambio, Pettitt (1979) propone el uso del estadístico:

$$K_T = \max|U_{t,T}| \quad 1 \leq i < T$$

Para los cambios en una dirección se consideran los estadísticos:

$$K_T^+ = \max U_{t,T} \quad 1 \leq i < T$$

$$K_T^- = -\min U_{t,T} \quad 1 \leq i < T$$

Según la teoría del estadístico de Mann – Whitney, se espera encontrar un apreciable  $K_T^+$  si existe un salto hacia arriba en la serie, es decir, cuando  $F_1(x) \leq F_2(x)$ . De manera similar,  $K_T^-$  será mayor si existe un salto hacia abajo o  $F_1(x) \geq F_2(x)$ .

El nivel de confianza asociada con  $K_T^+$  o  $K_T^-$  se determina aproximadamente con:

$$\rho = \exp\left(\frac{-6 K_T^2}{T^3 + T^2}\right)$$

Cuando  $\rho$  es menor que un nivel de confianza asignado (en esta tesis este valor es 95%) se rechaza la hipótesis nula. El valor aproximado de la probabilidad de significancia para el salto se define como  $P = 1 - \rho$ . Obviamente, la serie es dividida en la ubicación del salto en dos sub – series (Salarjazi, 2012).

### 2.2.3 Análisis de Discordancia

El objetivo de realizar el análisis de discordancia es verificar si existen series de datos no confiables en una estación o conjunto de estaciones, es decir, si su comportamiento es, en este caso, hidrológicamente discordante en términos de la distribución de frecuencia. Este método investiga anomalías en función de los Momentos L de la muestra. Valores erróneos, atípicos, tendencias y cambios en la media también pueden ser reflejados en los Momentos L de la muestra teniendo en cuenta un solo estadístico, una medida de discordancia entre los ratios de Momentos L de una estación y el promedio de los ratios de Momentos L de un grupo de estaciones similares (Hosking y Wallis, 1997).

En la Figura N° 2-3 se muestra una nube de puntos correspondientes a las coordenadas representadas por los ratios de Momentos L:  $L - C_V$  y  $L - C_S$  obtenidos de varias estaciones. Se considera que el centro de esta nube

(representada con el signo +) es el promedio de estos valores. Se construyen elipses concéntricas que se ajusten mejor a los datos según la matriz de covarianza muestral correspondiente a los ratios de los Momentos L de la estación. Los puntos discordantes serán aquellos que estén fuera de la elipse periférica (Hosking y Wallis, 1997).

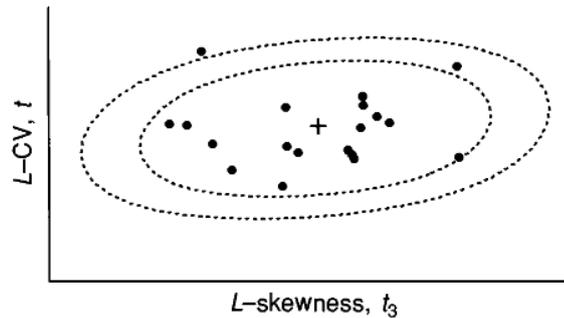


Figura N° 2-3 Esquema de nube de puntos de ratios de Momentos L  
Fuente: Hosking y Wallis, 1997

Teniendo en consideración  $N$  estaciones en el grupo y siendo  $u_i = [t^{(i)}, t_3^{(i)}, t_4^{(i)}]^T$  un vector que contiene los valores  $t$ ,  $t_3$  y  $t_4$  para la estación  $i$  ( $T$  denota transpuesta del vector o matriz), sea

$$\bar{u} = N^{-1} \sum_{i=1}^N u_i$$

el promedio grupal, se define la matriz de suma de cuadrados y productos cruzados,

$$A = \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T$$

Se define la medida de discordancia para la estación  $i$  de la siguiente manera (Hosking y Wallis, 1997):

$$D_i = \frac{1}{3} N (u_i - \bar{u})^T A^{-1} (u_i - \bar{u})$$

Hosking y Wallis (1997) recomiendan que una estación sea considerada discordante dependiendo del número de estaciones del grupo y si  $D_i$  excede un valor crítico según se muestra en la Tabla N° 2-1.

Tabla N° 2-1 Valores críticos para la discordancia  $D_i$ 

Fuente: Hosking y Wallis, 1997

Número de estaciones en la región de análisis	Valor Crítico	Número de estaciones en la región de análisis	Valor Crítico
5	1.333	10	2.491
6	1.648	11	2.632
7	1.917	12	2.757
8	2.140	13	2.869
9	2.329	14	2.971
		$\geq 15$	3

### 2.3 Identificación de Regiones Homogéneas

El objetivo de este procedimiento es la formación de grupos de estaciones que satisfagan la condición de homogeneidad, la cual se cumple en el caso que las distribuciones de frecuencia sean idénticas en todas las estaciones. Los datos a tomar en cuenta para la formación de regiones se obtienen a partir de los estadísticos de las estaciones calculados a partir de las mediciones de estudio (precipitaciones máximas diarias anuales en la presente tesis) y otros descriptores de la zona de estudio al cual denominamos atributos de la zona de estudio. En el caso de la presente tesis, dichos atributos son la ubicación (latitud y longitud) y la altitud de la estaciones (ver ítem 2.3.1). Hosking y Wallis (1997) recomiendan usar solo los atributos de las estaciones para la formación de regiones.

Asimismo, Hosking y Wallis (1997) recomiendan hacer un análisis de agrupamiento a partir de los atributos de las estaciones, ya que consideran que es el modo más práctico de formar regiones para un gran conjunto de datos. En la presenta tesis se realizó el análisis de agrupamiento, de manera preliminar,

haciendo uso de los métodos Ward (1963) y K-Means propuesto por MacQueen (1967). Se dice que es preliminar ya que las regiones obtenidas son posteriormente evaluadas a partir de una prueba de heterogeneidad a través de los Momentos L. En este caso, la medida de heterogeneidad compara las variaciones entre estaciones según los Momentos L de la muestra con respecto a los grupos de estaciones con los cuales se esperaría una región homogénea (Hosking y Wallis, 1997).

### 2.3.1 Selección de los atributos de las estaciones

Según la literatura, los factores que más influyen sobre la meteorología en la zona de estudio son la latitud, la altitud, la Cordillera de los Andes, la Corriente Costera Peruana (de aguas frías), el Anticiclón del Pacífico Sur y la continentalidad (SENAMHI, 2012). Para la presente tesis se han seleccionado dos de estos factores, la latitud y la altitud, además de la longitud ya que son características cuantificables y fáciles de obtener de las estaciones, por lo tanto, se asumen estos tres atributos de las estaciones.

En la Figura N° 2-4 se muestra un mapa de interpolación de precipitaciones anuales para el periodo 1970 – 1999 desarrollado por el SENAMHI en coordinación con el Imperial College London (2011) a nivel nacional con una resolución de 1 km (el cuadro rojo de líneas discontinuas indica la Macro Región Sur) y el área achurada la zona de estudio. Se puede inferir la influencia de las características geográficas (en este caso latitud y longitud) sobre los valores de la precipitación.

En la presente tesis se consideró que cada atributo influye en mayor o menor grado sobre la precipitación máxima anual a través de un valor conocido como peso del atributo. Una descripción de los atributos considerados en el estudio se presenta a continuación:

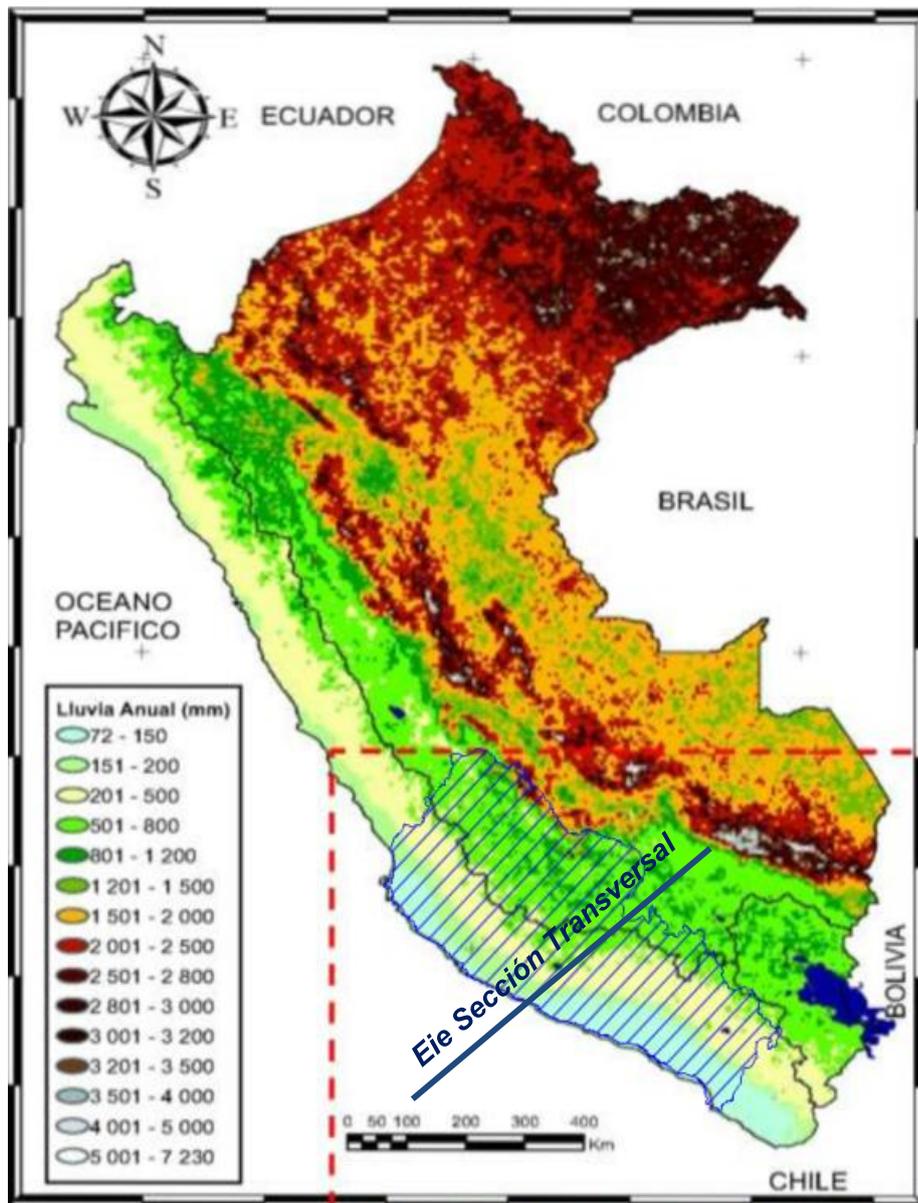


Figura N° 2-4 Interpolación de precipitación anual 1970 – 1999  
 Fuente: SENAMHI y el Imperial College London, 2011

### 2.3.1.1 Altitud

El área de estudio se ubica de forma casi paralela al flanco occidental de la cordillera de los Andes. Esta barrera, con una altura media aproximada de 4000 m.s.n.m., impide el paso de las nubes procedentes de la vertiente oriental y las masas de aire provenientes del anticiclón del Pacífico sur. Ambas masas de aire, al chocar con las altas cumbres andinas, se condensan y precipitan. Por otro lado, la interacción entre los vientos alisios del sureste y las temperaturas frías

de las Corrientes Peruana o de Humboldt enfría el aire lo que impide la evaporación de las aguas del Océano Pacífico y por lo tanto, que se produzcan lluvias en la franja costera, haciendo de la costa sur del Perú una de las zonas más secas del mundo (Salaverry, 2006). Por lo tanto, se deduce la dependencia de las precipitaciones con respecto a la altitud. Debido a que las características costeñas o de puna se acentúan con la altitud y siendo esta el factor más importante en la sierra (Pareja, 1936), se consideró que este atributo sea el más influyente en la formación de regiones. En la Figura N° 2-5 se muestra la variación de la altitud en una sección transversal de la zona de estudio según el eje mostrado en la Figura N° 2-4.



Figura N° 2-5 Sección transversal – Zona de Estudio  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.1.2 Latitud

De acuerdo al patrón general de circulación atmosférica, las precipitaciones también varían en función su latitud. Con respecto al clima, en general, se puede decir que las mayores precipitaciones ocurren cerca del Ecuador y tienden a disminuir cuando aumenta la latitud (García, 2004), es decir, las precipitaciones tenderán a ser mayores de sur a norte en la zona de estudio (ver Figura N° 2-4).

### 2.3.1.3 Longitud

Se considera que la longitud está estrechamente relacionada a la continentalidad, es decir, a la distancia de la zona de estudio al mar. Siendo el

mar un regulador térmico las precipitaciones no presentarían mayores fluctuaciones (o valores extremos) cerca a la costa tal como es el presente caso, siendo las precipitaciones más extremas a medida que se alejan de la costa a una misma latitud (ver Figura N° 2-4).

### 2.3.2 Análisis de Agrupamiento según Ward

Ward (1963) basó su método de agrupamiento a partir de la similitud de los miembros del grupo con respecto a varias variables. Su objetivo fue formar cada posible número de grupos,  $n, n-1, \dots, 1$ , de tal manera que se reduzca la pérdida de información asociado a dicho agrupamiento, así como cuantificar dicha pérdida de una manera que pueda ser interpretada.

Al respecto, Ward presenta un caso ilustrativo: Dado un conjunto de 10 valores,  $\{2, 6, 5, 6, 2, 2, 2, 0, 0, 0\}$ , una manera de representar dichos valores a través de un solo valor, o un solo grupo, es a través de su promedio, 2.5. La pérdida de información, según Ward, está reflejada en la suma de cuadrados del error (ESS, por sus siglas en inglés) dada por

$$ESS = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2$$

Donde  $x_i$  es el valor  $i$ -ésimo y  $n$  el número de valores. En el ejemplo,  $n = 10$  siendo el ESS, para el ejemplo, igual a 50.5. Ahora, si tomamos 4 grupos según  $\{0, 0, 0\}, \{2, 2, 2, 2\}, \{5\}, \{6, 6\}$ , este agrupamiento puede ser evaluado según la suma de las cuatro sumas de cuadrados del error,

$$ESS_{(cuatro\ grupos)} = ESS_{(Grupo\ 1)} + ESS_{(Grupo\ 2)} + ESS_{(Grupo\ 3)} + ESS_{(Grupo\ 4)}.$$

A esta relación Ward (1963) la denominó “función objetivo”. Esta función objetivo puede ser cualquier relación del cual se desee conocer cierta característica del agrupamiento. En general, el nivel más deseado de la función objetivo es su valor mínimo. En el ejemplo, el valor de la función objetivo, reflejada a través de la suma de cuadrados del error, es cero. Los valores de la función objetivo

indican la pérdida de información cuando los 10 valores son tratados como un solo grupo (50.5) y cuando son cuatro grupos (0.0). Teniendo en cuenta este procedimiento no se requiere establecer un número de grupos por anticipado, ya que el número de grupos está disponible desde  $n$  grupos (grupos de un solo miembro) hasta un solo grupo (todos los miembros).

Se cumple que la mayor cantidad de información de los grupos se obtiene cuando existen  $n$  grupos, es decir, cuando los datos no se encuentran agrupados (para fines de la presente tesis y casos prácticos, en general, este “agrupamiento” no nos beneficia). El procedimiento de agrupamiento empieza con los  $n$  grupos (de un solo miembro). El primer paso es seleccionar dos de estos  $n$  grupos los cuales, cuando estén unidos, reducirán en uno el número de grupos que produzca el menor perjuicio al valor óptimo de la función objetivo. Luego, estos  $n-1$  grupos son evaluados para determinar si un tercer miembro deberá ser unido con el primer o segunda grupo de tal forma que asegure el valor óptimo de la función objetivo para  $n-2$  grupos. Este proceso continúa hasta que solo se tenga un solo grupo. A este procedimiento se le conoce como “agrupamiento jerárquico” siendo los grupos mutuamente excluyentes conocidos como “grupos jerárquicos” (Ward, 1963).

En la Figura N° 2-6 se presenta una representación gráfica de este agrupamiento jerárquico a través de un esquema conocido como dendograma en cuyo eje  $x$  se muestran los sitios en estudio (estaciones, en la presente tesis) y en el eje  $y$ , la distancia o el grado de disimilitud entre estos grupos. Cada unión de dos grupos es representado por la división de la línea vertical en dos líneas verticales. La ubicación de la división, representada por la barra horizontal pequeña da la distancia o disimilitud entre dos grupos.

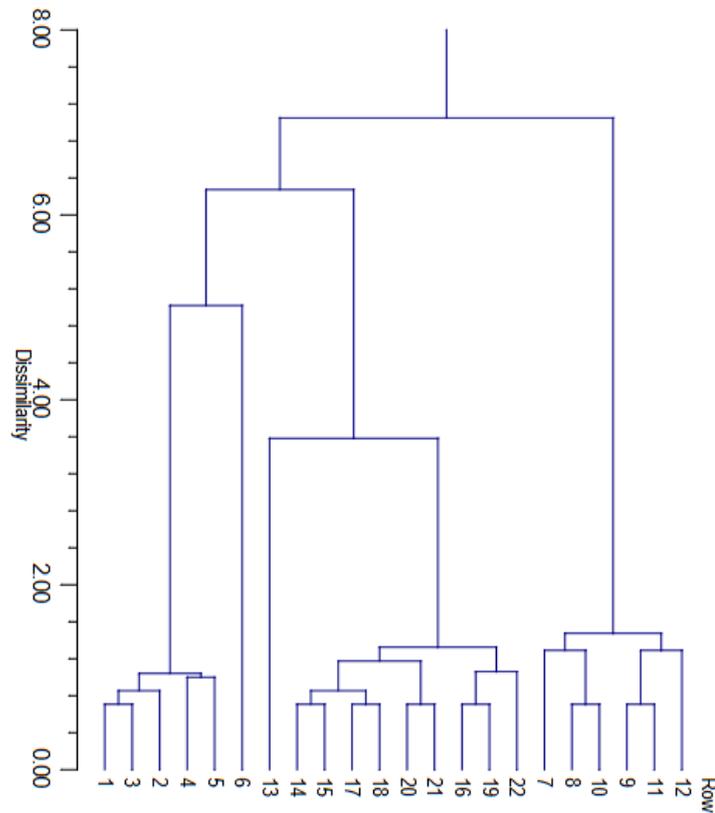


Figura N° 2-6 Dendrograma  
Fuente: NCSS

En la presente tesis, la función objetivo está en función de la distancia Euclidiana (al cuadrado) entre los atributos seleccionados de las estaciones (latitud, longitud y altitud).

### 2.3.3 Análisis de Agrupamiento según el método K-Means

Este método (MacQueen, 1967) se usa para particionar automáticamente un conjunto de datos en  $k$  grupos. Dado un conjunto de puntos  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , el objetivo es encontrar la varianza mínima del agrupamiento de los datos conociendo que existen  $k$  grupos, es decir, la función objetivo

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\min_j d^2(x_i, m_j)]$$

es minimizada, donde  $d(x_i, m_j)$  indica la distancia Euclidiana entre  $x_i$  y  $m_j$ . Los puntos  $\{m_j\}$  ( $j= 1, 2, \dots, k$ ) representan los centroides de los grupos. El método de K-means es un método que actualiza iterativamente los centroides con el fin de minimizar la función objetivo hasta que converge a un mínimo local (Oyelade et al., 2010). El procedimiento se explica a continuación:

1. Asumir un número de grupos;
2. Agrupar los puntos teniendo en cuenta el número de grupos asumido. En la presente tesis el número de grupos se asumió teniendo en cuenta el criterio de agrupamiento jerárquico estudiado en el método de Ward;
3. El método realiza interpolaciones para delinear áreas según Voronoi a partir de los centroides de los grupos (asumidos inicialmente);
4. K-means asigna a cada registro un grupo inicial. Cada registro es asignado al grupo más cercano usando la distancia Euclidiana;
5. K-means reasigna cada registro al grupo más similar y delinea las áreas, según Voronoi, de todos los grupos.
6. Se realiza la iteración hasta que se los centroides ya no se desplazan.

Un ejemplo ilustrativo es el que se presenta en la Figura N° 2-7. Teniendo  $n$  puntos a agrupar se asume, en primer lugar, el número de grupos igual a 4 y la ubicación de los centroides de estos 4 grupos. En la primera iteración el método calcula los centroides y estima que uno de los puntos morados pertenece, en realidad, el grupo de color rojo. Luego, recalcula el centroide y estima que otro de los puntos morados pertenece al grupo de color rojo, y así sucesivamente hasta llegar a la última iteración en la cual los centroides ya no se pueden desplazar ya que todos los puntos convergen finalmente a sus respectivos grupos.

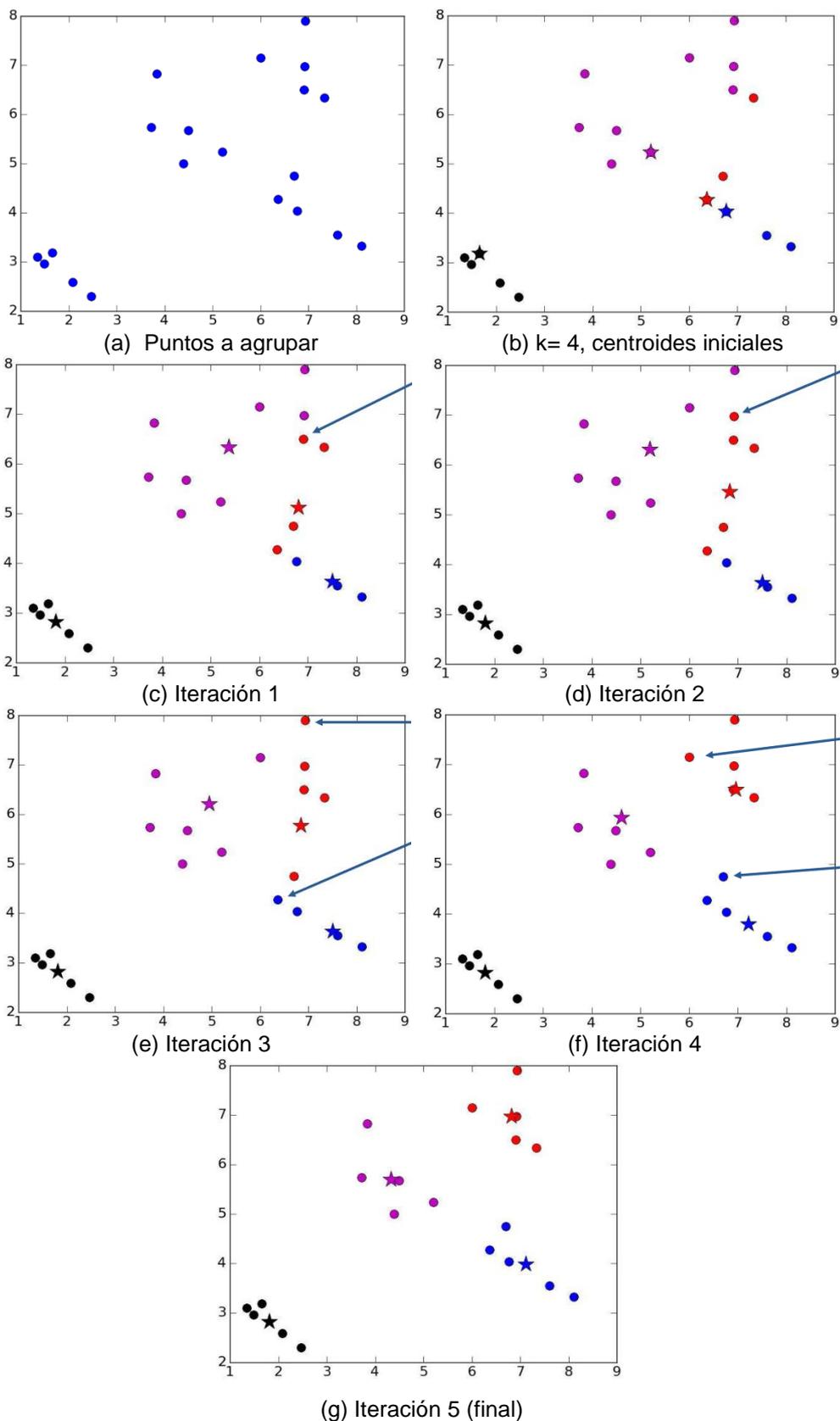


Figura N° 2-7 Ejemplo de Procedimiento de Agrupamiento usando el método k-means  
Fuente: Grimson, 2016

En la presente tesis, la función objetivo está en función de la distancia Euclidiana (al cuadrado) entre los atributos seleccionados de las estaciones (latitud, longitud y altitud). Para seleccionar el número de grupos se tomó como referencia el agrupamiento jerárquico estimado con el método de Ward. Una vez que se cuenta con este número de grupos, el método calcula automáticamente los centroides de los grupos. Se evalúa si este método refina o no los resultados obtenidos según el método Ward para el caso de la presente tesis.

Los resultados de un análisis de agrupamiento no son decisivos. Se pueden realizar algunos ajustes para mejorar la coherencia física de las regiones y reducir la heterogeneidad de las regiones a través de un valor denominado medida de heterogeneidad (H). En general, se podrían realizar algunos de los siguientes ajustes (Hosking y Wallis, 1997):

- Mover una estación o algunas estaciones de una región a otra;
- Eliminar una estación o algunas estaciones del conjunto de datos;
- Subdividir una región;
- Particionar una región reasignando sus estaciones a otras regiones;
- Unir una región con otra u otras regiones;
- Unir dos o más regiones y redefinir los grupos;
- Obtener más datos y redefinir los grupos.

#### 2.4 Medida de Heterogeneidad

El objetivo de esta prueba es estimar el grado de heterogeneidad en un grupo de estaciones y evaluar si estas pueden ser consideradas como integrantes de una región homogénea. En síntesis, esta medida compara las variaciones entre estaciones según los Momentos L de la muestra de datos con respecto a grupos de estaciones de los cuales se esperaría una región homogénea (Hosking y Wallis, 1997).

Con región homogénea se entiende para cada estación de dicha región la distribución de frecuencia es la misma. Se puede tomar como base los resultados del análisis de discordancia (ver ítem 2.2.3), en el cual se evaluaba la

dispersión de la nube y la comparaba con la dispersión que se tendría en una región homogénea por definición. Esta última se genera sintéticamente a través de una simulación Montecarlo. Para evitar tener que decidir si las muestras sintéticas se generarán con una distribución de dos o tres parámetros, Hosking y Wallis (1997) recomiendan usar una distribución kappa de cuatro parámetros, la cual es capaz de representar muchas distribuciones que ocurren en hidrología.

Por ejemplo, supongamos que se tiene una región con estaciones cuyas longitudes de registro son 20, 30, 10, 50, etc. Entonces se genera una región sintética con el mismo número de estaciones y las mismas longitudes de registro. Se puede realizar una evaluación visual de la dispersión de los ratios de Momentos L en las estaciones a través de gráficos como L – C<sub>s</sub> vs. L – C<sub>v</sub> (ver Figura N° 2-8) y L – C<sub>s</sub> vs. L – C<sub>k</sub> (Hosking y Wallis, 1997).

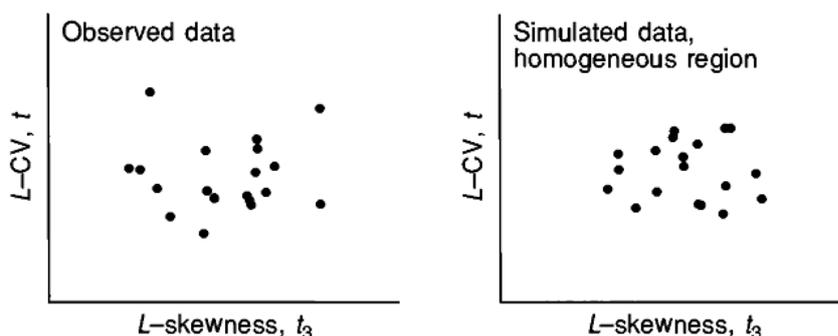


Figura N° 2-8 Ratios de Momento – L para datos observados y simulados  
 Fuente: Hosking y Wallis, 1997

Ahora, supóngase que la región propuesta tenga N estaciones, con la estación i teniendo una longitud de registro n<sub>i</sub> y coeficientes de Momentos L de la muestra igual a t<sup>(i)</sup>, t<sub>3</sub><sup>(i)</sup> y t<sub>4</sub><sup>(i)</sup>. Se denota como t<sup>R</sup>, t<sub>3</sub><sup>R</sup> y t<sub>4</sub><sup>R</sup> a los promedios regionales L – C<sub>v</sub>, L – C<sub>s</sub> y L – C<sub>k</sub>, ponderados proporcionalmente a la longitud de registro de las estaciones tal como (Hosking y Wallis, 1997):

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

La desviación estándar ponderada en la estación de los L – C<sub>v</sub>s de la muestra es:

$$V = \left\{ \sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^R)^2 / \sum_{i=1}^N n_i \right\}^{1/2}$$

El método consiste en simular un gran número  $N_{sim}$  de realizaciones de una región con  $N$  estaciones, cada cual teniendo una distribución de frecuencia kappa. A partir de las simulaciones se determina la media ( $\mu_v$ ) y la desviación estándar ( $\sigma_v$ ) de los  $N_{sim}$  valores de  $V$ . La medida de heterogeneidad se calcula como (Hosking y Wallis, 1997):

$$H = \frac{(V - \mu_v)}{\sigma_v}$$

Hosking y Wallis (1997) sugieren que las región sea considerada “aceptablemente homogénea” si  $H < 1$ , “posiblemente heterogénea” si  $1 \leq H \leq 2$  y “definitivamente heterogénea” si  $H \geq 2$ .

## 2.5 Índice de Tormenta

Los procedimientos concernientes al índice de avenida presentan un modo conveniente de agrupar estadísticos representativos de diferentes muestras de datos (Hosking y Wallis, 1997). Este procedimiento se concibió a partir de los estudios de datos de inundaciones (de allí el nombre de avenida), sin embargo, se puede aplicar para cualquier tipo de dato, siendo en este caso aplicado a precipitaciones máximas. De allí el nombre de índice de tormenta, que es como se llamará a partir de ahora.

Supóngase que se tienen datos disponibles desde  $N$  ubicaciones, en el cual el sitio  $i$  tiene un tamaño de muestra  $n_i$  siendo los datos registrados  $Q_{ij}$ ,  $j = 1, \dots, n_i$ . Sea  $Q_i(F)$ ,  $0 < F < 1$ , la función cuantil de la distribución de frecuencia en el sitio  $i$ . El principal supuesto para la aplicación del método es que las estaciones formen parte de una región homogénea, es decir, que las distribuciones de frecuencia de las  $N$  estaciones sean idénticas, distinguiéndose entre ellas solo por un factor de escala, específico para la zona de estudio, llamado índice de tormenta. Por lo tanto,

$$Q_i(F) = \mu_i q(F), \quad i = 1, \dots, N.$$

Siendo  $\mu_i$  el índice de tormenta, la cual se asume como la media de la distribución de frecuencia en la estación o el momento  $I_1$ . El otro factor,  $q(F)$ , se denomina curva de incremento regional, el cual es una función cuantil adimensional común a todas las zonas de estudio de la región considerada, también conocida como la función cuantil de distribución de frecuencia regional,  $Q_{ij} / \mu_i$  (Hosking y Wallis, 1997).

## 2.6 Selección de la Distribución de Frecuencia

Las regiones son aquellas que podrían ser definidas a partir de una única distribución de frecuencia. Sin embargo, por lo general toda región será ligeramente heterogénea no existiendo una única y verdadera distribución de frecuencia que aplique para cada zona de estudio. Por lo tanto, el objetivo no es encontrar una verdadera distribución sino una que produzca cuantiles adecuados para cada zona de estudio (Hosking y Wallis, 1997).

Los diagramas de cocientes de Momentos L son usados como guía para la selección de la distribución de frecuencia. Para el análisis correspondiente a distribuciones de dos parámetros, se usa el diagrama de cocientes de Momentos L que grafica los cocientes  $L - C_s$  vs.  $L - C_v$ . Sin embargo, teniendo en cuenta que en el análisis regional se suele utilizar varios datos, los cuales son extraídos de varias estaciones, es más recomendable usar un modelo más flexible, como por ejemplo, una distribución con tres parámetros. En este caso se usa el diagrama de cocientes de Momentos L que grafica los cocientes  $L - C_s$  vs.  $L - C_k$  ( $t_3$  vs.  $t_4$ ).

Estas líneas corresponden a relaciones entre  $T_3$  y  $T_4$  para modelos teóricos y solo para distribuciones de tres parámetros (ver Figura N° 2-9). Si la distribución tiene tres parámetros, entonces una vez conocida la asimetría, se obtiene la curtosis, por ejemplo, si el  $L - C_s$  es 0.30 y se considera la distribución GEV se obtiene el  $L - C_k$  igual a 0.21, por lo tanto, esta relación solo dependerá del parámetro de forma (asociado a la curtosis).

También se muestra puntos como el G (Figura N° 2-9), el cual yace exactamente sobre la línea GEV, y representa la distribución Gumbel. Esto se da porque la

distribución Gumbel es un caso especial de la distribución GEV (cuando el parámetro de forma es cero). N es la distribución Normal, siendo este un caso especial de las distribuciones PE3 y LN3 cuando son simétricos (asimetría = 0). L es la distribución logística (dos parámetros), el cual es un caso de la distribución logística de tres parámetros o GLO. Por lo tanto, en general, si se desea seleccionar entre distribuciones de dos parámetros se reduce un orden o una dimensión. Cuando se grafica el  $L - C_s$  vs.  $L - C_k$  la distribución será una línea, sin embargo, cuando se evalúen distribuciones de dos parámetros la distribución es un punto.

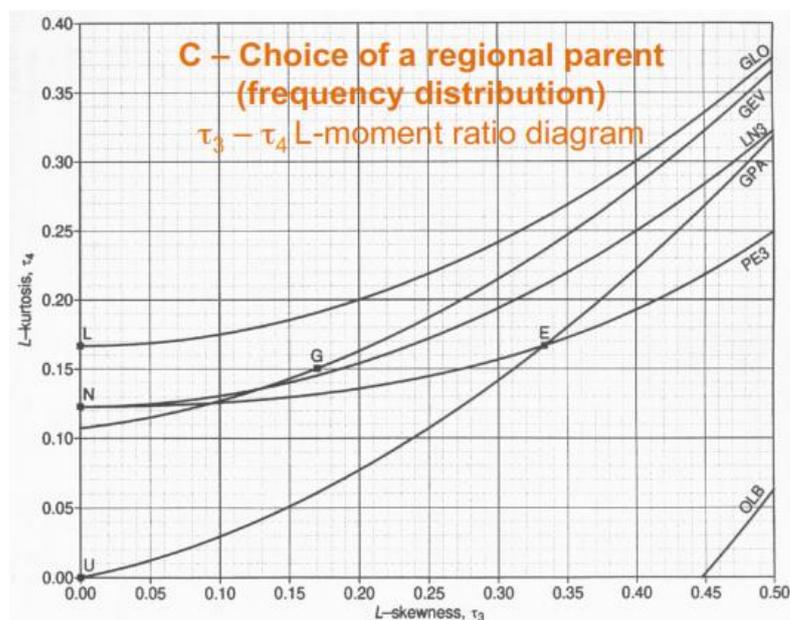


Figura N° 2-9 Ejemplo de relaciones entre  $L - C_s - L - C_k$  para algunas distribuciones de frecuencia  
Fuente: Castellarin, 2013

Hosking y Wallis (1997) recomiendan hacer uso de este gráfico para seleccionar la distribución más adecuada. En la Figura N° 2-9 se tienen los teóricos  $\tau_3$  y  $\tau_4$  y su relación, por ejemplo, para la distribución GEV para un parámetro  $k$  específico de este ejemplo ( $k$  es usado para representar su parámetro de forma). Tal como se vio en los ítems 2.2.3 y 2.4 también es posible graficar las relaciones de los ratios de Momentos  $L$  de las muestras para todas las estaciones en la región de estudio. Se consideró que el centro de esta nube de puntos, generada a partir de la relación de los ratios, es el promedio de estos valores y que el grupo de estaciones se comportará, en promedio, como este centro o punto.

Continuando con el ejemplo para la distribución GEV, se asume que el momento teórico es igual al momento de la muestra al emplear el método de los Momentos L para estimar el parámetro k. Básicamente la distribución de frecuencia será aquel para el cual el  $t_3$  (del momento teórico regional) sea igual a  $t_3^R$  (del momento de la muestra regional), así como el  $L - C_v$  teórico sea igual al  $L - C_v$  regional. Basado en  $t_3^R$  se puede identificar el parámetro k y ubicar este punto en la curva. Este será el modelo tal como se aprecia en el espacio asimetría – curtosis que se usa para representar los datos. Sin embargo, bajo este método solo se puede ajustar hasta el momento de tercer orden (asimetría) y no el de cuarto orden (curtosis).

Para ajustar al momento de cuarto orden, se introduce el concepto de distancia, la cual representa la diferencia entre el régimen de frecuencia regional obtenido a partir de los datos y los regímenes de frecuencia regional que son modelados con GEV. Hosking y Wallis (1997) estudian esta distancia (Z) y a partir de algunas simulaciones hallaron el umbral para variable de prueba. Así, si Z es mayor que este umbral el modelo se debe rechazar y si Z es menor que dicho umbral el modelo GEV puede ser satisfactorio (el promedio regional se acerca más a esta curva).

En general, supóngase que se tiene una región con N estaciones, con la estación i teniendo una longitud de registro  $n_i$  y coeficientes de Momentos L de la muestra igual a  $t^{(i)}$ ,  $t_3^{(i)}$  y  $t_4^{(i)}$ . Se denota como  $t^R$ ,  $t_3^R$  y  $t_4^R$  a los promedios regionales  $L - C_v$ ,  $L - C_s$  y  $L - C_k$ , ponderados proporcionalmente a la longitud de registro. Se debe elaborar un conjunto de distribuciones candidatas (de tres parámetros) tales como la logística generalizada (GLO), valor extremo generalizado (GEV), Pareto generalizado (GPA), lognormal (LN3) y Pearson tipo III (PE3), etc. (Hosking y Wallis, 1997).

Cada distribución se ajusta a los Momentos L regionales promedio 1,  $t_R$ ,  $t_3^R$ . Se denota como  $t_4^{DIST}$  al  $L - C_k$  de la distribución ajustada, donde DIST puede ser GLO, GEV, etc. Luego se ajusta una distribución kappa a los coeficientes de los Momentos L regionales promedio 1,  $t_R$ ,  $t_3^R$  y  $t_4^R$ . Se simula una gran cantidad de realizaciones,  $N_{sim}$ , de una región con N estaciones, cada cual teniendo esta distribución kappa como su distribución de frecuencias. Las regiones simuladas

son homogéneas y tienen las mismas longitudes de registro que tienen sus contrapartes reales. Para la  $m$ -ésima región modelada, se calculan los promedios regionales  $L - C_s t_3^{[m]}$  y  $L - C_k t_4^{[m]}$ . Ahora se calcula el sesgo de  $t_4^R$  (Hosking y Wallis, 1997),

$$B_4 = N_{sim}^{-1} \sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{[m]} - t_4^R)$$

La desviación estándar de  $t_4^R$ ,

$$\sigma_4 = [(N_{sim} - 1)^{-1} \{ \sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{[m]} - t_4^R)^2 - N_{sim} B_4^2 \}]^{1/2}$$

Y, para cada distribución, la prueba de bondad:

$$Z^{DIST} = \frac{\tau_4^{DIST} - t_4^R + B_4}{\sigma_4}$$

Según Hosking y Wallis (1997) se satisface la prueba cuando  $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ .

### CAPÍTULO III: ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

#### 3.1 Descripción del Área de Estudio

El área de estudio abarca seis regiones de la zona sur – occidental del Perú: Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Huancavelica, Ica y Moquegua; el cual comprende un área total de 189,100 km<sup>2</sup> aproximadamente.

El área de estudio (zona roja achurada en la Figura N° 3-1) se extiende en varios pisos altitudinales y diversas zonas de manera longitudinal y latitudinal, por lo tanto existe una gran diversidad y heterogeneidad en la distribución de las zonas climáticas. El SENAMHI (1988) elaboró el mapa climático del Perú basado en información meteorológica de aproximadamente 20 años (1965 – 1984). El trazado de las zonas lo hizo de acuerdo a la clasificación de climas de Werren Thornthwaite (ver Tabla N° 3-1), con el cual se elaboró la Tabla N° 3-2.

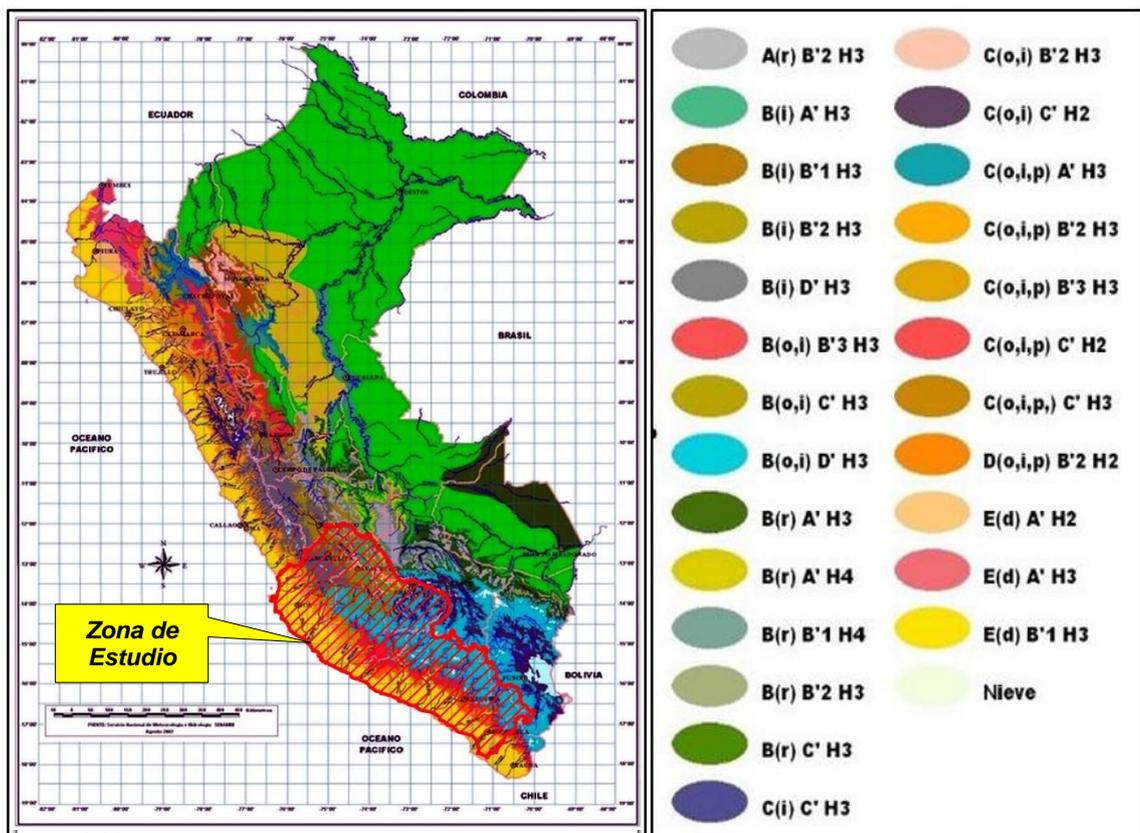


Figura N° 3-1 Mapa climático según el método de Werren Thornthwaite  
Fuente: SENAMHI, 1988

Tabla N° 3-1. Características del Sistema Climático  
Fuente: SENAMHI, 1988

**CLIMAS**

<b>PRECIPITACIÓN EFECTIVA</b>	<b>EFICIENCIA DE TEMPERATURA</b>
A MUY LLUVIOSO	A' CÁLIDO
B LLUVIOSO	B'1 SEMICÁLIDO
C SEMISECO	B'2 TEMPLADO
D SEMIÁRIDO	B'3 SEMIFRÍO
E ÁRIDO	C' FRÍO
<b>DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN EL AÑO</b>	D' SEMIFRÍGIDO
	E' FRÍGIDO
	F' POLAR
r PRECIPITACIÓN ABUNDANTE EN TODAS LAS ESTACIONES	<b>HUMEDAD ATMOSFERICA</b>
i INVIERNO SECO	
p PRIMAVERA SECA	
v VERANO SECO	H1 MUY SECO
o OTOÑO SECO	H2 SECO
d DEFICIENCIA DE LLUVIAS EN TODAS LAS ESTACIONES	H3 HÚMEDO
	H4 MUY HÚMEDO

Tabla N° 3-2. Caracterización climática de la Zona de Estudio  
Fuente: Elaboración Propia

Zona (de Este a Oeste)	Clima	Característica	Altitud (m.s.n.m.)	Precipitación Media Anual (mm)	Temperatura Media Anual (°C)
Alta	Lluviosa	Semifrígido o de Tundra	3,000 - 5,149	700	7
Intermedia	Templado Subhúmedo	de Estepa y Valles Interandinos Bajos	1,000 - 3,000	< 500	> 20
Adyacente al Litoral	Semicálido	Desértico - Árido - Subtropical	0 - 1,000	Nula o Escasa	18 < T < 19

### 3.2 Datos

Para la presente tesis se usaron precipitaciones diarias medidas en 368 estaciones pluviométricas (en adelante, estaciones) operadas por el SENAMHI (ver Figura N° 3-3). Las altitudes de las estaciones varían en el rango de 3.0 m.s.n.m. cerca de la franja costera a 5149.0 m.s.n.m. en la cordillera de los Andes cerca al nevado Mismi (Arequipa). La densidad de estaciones es de 1 por 500 km<sup>2</sup> aproximadamente. En el Anexo A.2 se muestra la distribución de

estaciones por departamento. El área de estudio está geográficamente ubicada entre los 70°0' y 76°40' de longitud Oeste y entre los 12°0' y 17°50' de latitud Sur.

Dado el gran volumen de información a manejar, se optó por utilizar una base de datos en la que almacenar y desde la cual poder acceder a los datos de precipitación diaria para su posterior procesamiento. Se usó el software PostgreSQL, el cual es un potente programa de base de datos distribuido libremente y que permite almacenar gran cantidad de datos en tablas los que pueden relacionarse entre sí. Asimismo, funciona como una base de datos espacial a través del PostGIS y así poder procesar los datos a través de Sistemas de Información Geográfica (Obe R., et al., 2012). En la Figura N° 3-2 se muestra la interfaz gráfica del programa con algunas de las estaciones usadas en la tesis.

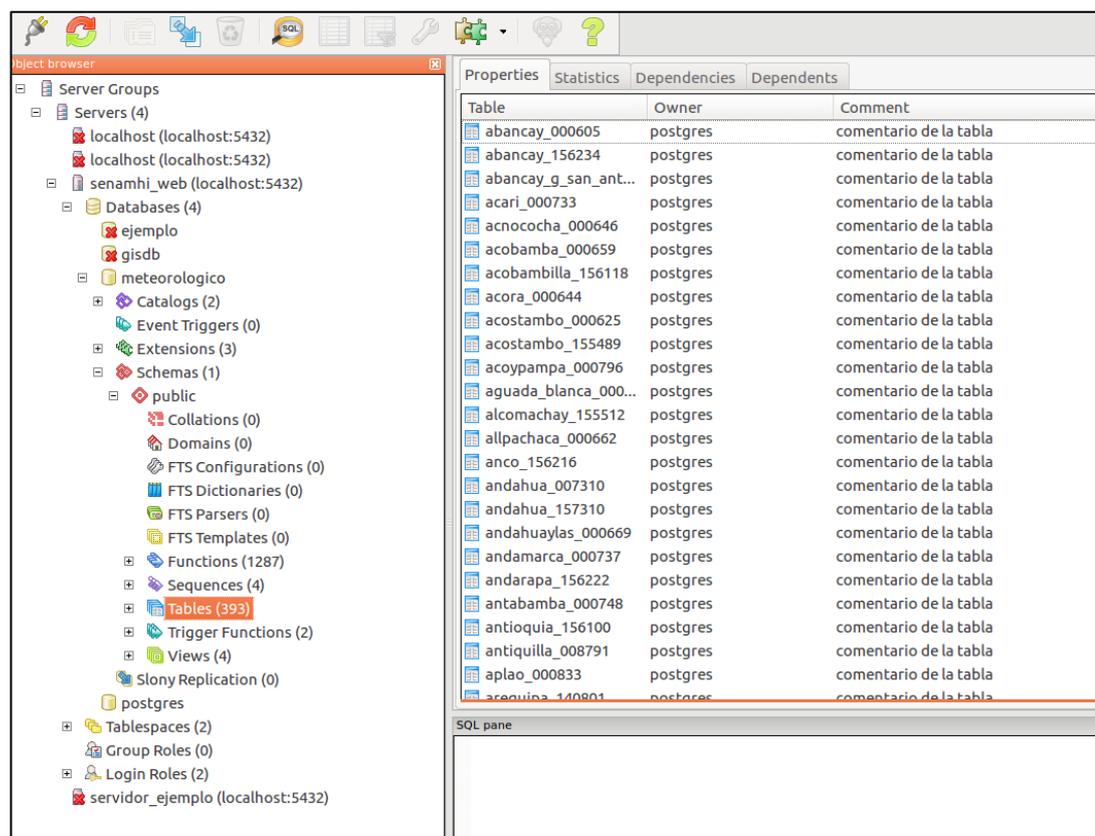


Figura N° 3-2 Interfaz gráfica del software PostgreSQL  
Fuente: Elaboración propia

La longitud de registros para el análisis abarca el periodo de 1960 hasta febrero del 2017, presentando intervalos de tiempo sin datos en todos los casos. Preliminarmente, la selección de estaciones es tal que la estación cuente con al menos 10 años de registro disponible. La elección de 10 años es subjetiva, considerando que al usar un registro mínimo más largo se disminuiría considerablemente el número de estaciones disponibles en el área de estudio, el cual ya tiene una cobertura de datos limitada, además, con un registro de 10 años se tiene una noción de las precipitaciones en años secos y húmedos. Teniendo en cuenta este criterio se tendría un total de 213 estaciones (una reducción del 42% del número de estaciones). En el Anexo A.1 se muestran estas estaciones. La distribución de las estaciones, según la longitud del registro, se puede observar en la Figura N° 3-3.

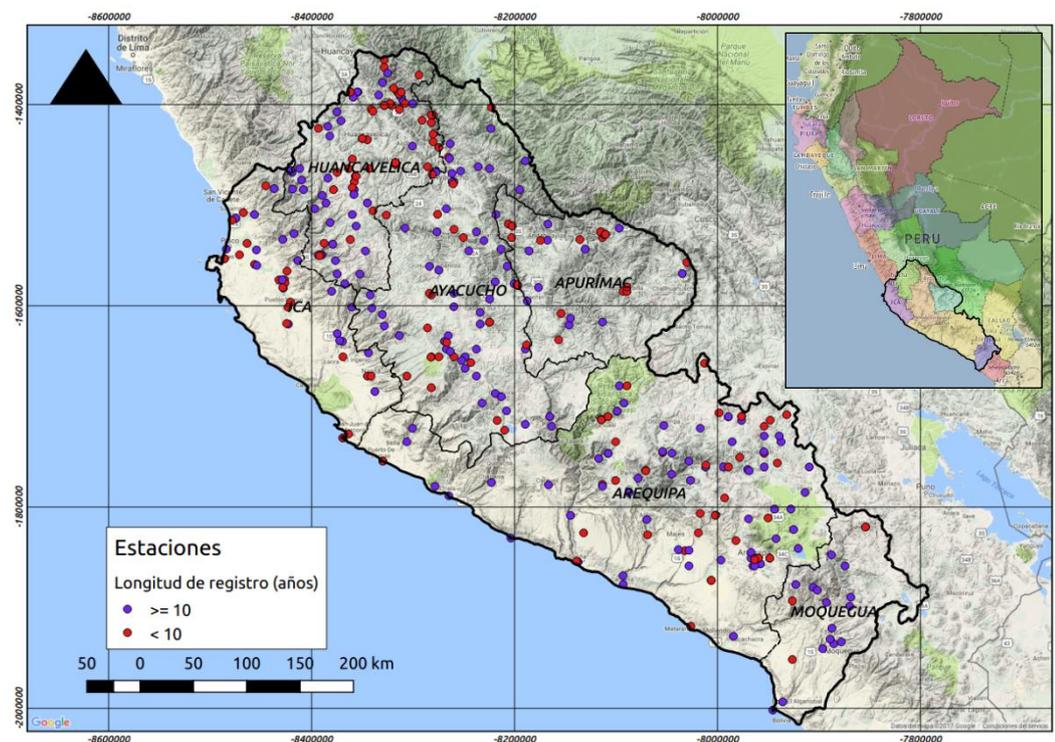


Figura N° 3-3 Delimitación del área de estudio y estaciones pluviométricas disponibles  
 Fuente: Elaboración propia

En el Anexo B.1 se muestran los gráficos de series de tiempo de las precipitaciones diarias máximas anuales de las 213 estaciones para el periodo de tiempo considerado. La inspección visual permite reconocer los periodos con datos faltantes, además, en este investigación, reveló la existencia de cambios

notorios en la serie de tiempo a través de tendencias lineales y saltos abruptos (cambios en la media), tal como en los casos de las estaciones Chipao (157214) y Porpera (157329) respectivamente (ver Anexo B.1). Otro gráfico muy usado en la inspección visual es el diagrama de caja. En el Anexo B.2 se muestra los diagramas de caja de las 213 estaciones. Este tipo de gráfico es muy efectivo para poder visualizar la distribución de los datos, como la dispersión de los datos respecto a la mediana, y posibles valores atípicos, por ejemplo, en la estación San Pedro de Cachi (156205) se observaron algunos valores atípicos, lo cual era indicio de datos erróneos. Con el fin de tener una mayor certeza respecto a la calidad de los datos, estos fueron analizados con procedimientos estadísticos.

### 3.3 Análisis de Tendencia

El procedimiento explicado en el Fundamento Teórico se empleó para detectar la posible existencia de tendencias en la serie de precipitaciones máximas diarias anuales de las 213 estaciones de la zona de estudio. En la Tabla N° 3-3 se muestran las estaciones (35) que presentan tendencia según la prueba.

Tabla N° 3-3 Estaciones con tendencia según el método de Yue et. al.  
Fuente: Elaboración propia

n	Estación	Código	n	Estación	Código
1	Andarapa	156222	18	Huac_Huas	151602
2	Antabamba	000748	19	Lampa	157223
3	Cunyac	156224	20	Pampa_Galeras	000739
4	Atiquipa	000734	21	Querobamba	000667
5	Chinchayllapa	157305	22	San_Pedro_de_Ceccha	157211
6	Chivay	000758	23	Vischongo	156210
7	Hacienda_Morocaqui	157330	24	Cordova	157101
8	Huarato	157203	25	Laramarca	156128
9	Madrigal	157317	26	Manta	156125
10	Pampa_Blanca	000837	27	Pilchaca	000648
11	Sibayo	000755	28	Salcabamba	006200
12	Visuyo	157319	29	Santiago_de_Chocorvos	156123
13	Ayacucho	140654	30	Villa_de_Armas	000641
14	Carhuanillas	157220	31	Hacienda_Bernales	000650
15	Chilcayoc	156212	32	Huallpoca	156225
16	Chipao	157214	33	San_Juan_de_Yanac	156113
17	Huacana	157213	34	San_Pedro_de_Huacarpansa	156115
			35	Ichuna	158310

En el Anexo B.3 se muestra el detalle de los resultados de la prueba, donde:

lbound	límite inferior del intervalo de confianza de la tendencia
trend	la pendiente de Sen (tendencia) por unidad de tiempo
trendp	la pendiente de Sen (tendencia) para todo el periodo
ubound	límite superior del intervalo de confianza de la tendencia
tau	Estadístico de Kendall para la serie de tiempo final
sig	valor p de Kendall para la serie de tiempo final
nruns	número de iteraciones requerido para la convergencia a una tendencia
autocor	autocorrelación de la serie de tiempo final
valid_frac	fracción de datos válidos (sin NA) una vez que la autocorrelación es anulada
linear	ajuste de mínimos cuadrados de la tendencia
intercept	el intercepto de la pendiente de Sen (tendencia)

En el Anexo B.3 se muestra el gráfico de serie de tiempo de estaciones con tendencia según la prueba.

### 3.4 Análisis de Homogeneidad

Este se empleó para detectar la posible existencia de saltos en la serie de precipitaciones máximas diarias anuales de las 213 estaciones de la zona de estudio. En la Tabla N° 3-4 se muestran las estaciones (37) que presentan saltos en la serie según la prueba.

En el Anexo B.4 se muestra el detalle de los resultados de la prueba, donde:

K	máximo $K_T$ de los valores absolutos de los $U$ estadísticos
$\tau$	ubicación probable del salto en la serie de tiempo
p	valor $-p$ de la prueba

En el Anexo B.4 se muestra el gráfico de serie de tiempo de estaciones con saltos según la prueba.

Tabla N° 3-4 Estaciones que presentan saltos en la media según el método de Pettitt  
Fuente: Elaboración propia

n	Estación	Código	n	Estación	Código
1	Abancay	000605	19	Lampa	157223
2	Andarapa	156222	20	Machente	156212
3	Ayo	157313	21	Putaccasa	157204
4	Camana	000832	22	Rayusca	156207
5	Chinchayllapa	157305	23	San_Pedro_de_Cachi	156205
6	Chivay	000758	24	San_Pedro_de_Ceccha	157211
7	Choco	157314	25	Choclococha	156130
8	Huarato	157203	26	Cordova	157101
9	Janacancha_Caylloma	157318	27	Manta	156125
10	La_Salinas	158209	28	Salcabamba	006200
11	Pampa_Blanca	000837	29	Santiago_de_Chocorvos	156123
12	Porpera	157329	30	Villa_de_Armas	000641
13	Carhuanillas	157220	31	Copara	000727
14	Cerro_Condorillo	157209	32	Hacienda_Bernales	000650
15	Chilcayoc	156212	33	Huancano	000639
16	Chipao	157214	34	San_Juan_de_Yanac	156113
17	Huacana	157213	35	San_Pedro_de_Huacarpana	156115
18	Huac_Huas	151602	36	Ichuna	158310
			37	Punta_Coles	000846

### 3.5 Selección de Estaciones

La selección de estaciones con fines de regionalización de precipitaciones se basó en los siguientes criterios:

1. Se identificaron las estaciones que presentan tendencia y cambios en la media simultáneamente para su posible exclusión (ver Tabla N° 3-5).
2. Se excluyeron las estaciones presentadas en la Tabla N° 3-5 cuando se hallaron estaciones cercanas a estas y que no estuvieran incluidas en esta lista (ver Anexo A.2). Además, se tomó en cuenta la similitud en las altitudes y las longitudes de los registros (ver Tabla N° 3-6).
3. Se excluyeron las estaciones que muestran valores atípicos evidentes según lo observado en las gráficas de serie de tiempo (ver Anexo B.1) y diagramas de caja (ver Anexo B.2).

Tabla N° 3-5 Estaciones que presentan tendencia y cambios en la media  
Fuente: Elaboración propia

n	Nombre	Código	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Longitud de registro (años)
1	Andarapa	156222	2819	Apurímac	16
2	Chinchayllapa	157305	4497	Arequipa	45
3	Chivay	000758	3644	Arequipa	49
4	Huarato	157203	353	Arequipa	21
5	Pampa Blanca	000837	106	Arequipa	49
6	Carhuanillas	157220	3479	Ayacucho	19
7	Chilcayoc	156212	3410	Ayacucho	50
8	Chipao	157214	3342	Ayacucho	18
9	Huacana	157213	3120	Ayacucho	18
10	Huac-Huas	151602	3180	Ayacucho	33
11	Lampa	157223	2880	Ayacucho	48
12	San Pedro de Ceccha	157211	3100	Ayacucho	31
13	Córdova	157101	3170	Huancavelica	51
14	Manta	156125	4050	Huancavelica	13
15	Salcabamba	006200	3280	Huancavelica	39
16	Santiago de Chocorvos	156123	2700	Huancavelica	50
17	Villa de Armas	000641	3280	Huancavelica	31
18	Hacienda Bernales	000650	305	Ica	43
19	San Juan de Yanac	156113	2502	Ica	29
20	San Pedro de Huacarpana	000857	3794	Ica	19
21	Ichuña	158310	3800	Moquegua	50

Tabla N° 3-6 Estaciones excluidas con tendencia y cambios en la media  
Fuente: Elaboración propia

n	Nombre	Altitud (m.s.n.m.)	Longitud de registro (años)	Estación cercana	Altitud (m.s.n.m.)	Longitud de registro (años)	Se excluye
1	Andarapa	2819	16	Andahuaylas	2865	41	√
2	Chinchayllapa	4497	45	Puica	3661	28	
3	Chivay	3644	49	Yanque	4104	36	
4	Huarato	353	21	Acari	228	21	
5	Pampa Blanca	106	49	NE	-	-	
6	Carhuanillas	3479	19	Coracora	3200	44	√
7	Chilcayoc	3410	50	Carhuanca	3278	18	
8	Chipao	3342	18	Aucara	3157	22	√
9	Huacana	3120	18	Aucara	3157	22	√
10	Huac-Huas	3180	33	Llauta	2445	46	
11	Lampa	2880	48	Pausa	2484	35	
12	San Pedro de Ceccha	3100	31	Puquio	3052	51	√

n	Nombre	Altitud (m.s.n.m.)	Longitud de registro (años)	Estación cercana	Altitud (m.s.n.m.)	Longitud de registro (años)	Se excluye
13	Cordova	3170	51	San Juan de Huirpachanca	3650	20	
14	Manta	4050	13	Acobambilla	3935	19	√
15	Salcabamba	3280	39	San Lorenzo	2600	26	
16	Santiago de Chocorvos	2700	50	Acora	2114	16	
17	Villa de Armas	3280	31	Huachos	2756	34	
18	Hacienda Bernales	305	43	Pampa de Villacuri	430	26	
19	San Juan de Yanac	2502	29	San Juan de Castrovirreyna	1871	46	
20	San Pedro de Huacarpana	3794	19	San Pedro de Huacarpana	3763	25	
21	Ichuña	3800	50	NE	-	-	

NE: no existe

Además, teniendo en cuenta la inspección visual de los datos a partir de los gráficos de serie de tiempo y diagramas de caja, se eliminaron los datos considerados dudosos en las estaciones mostradas en la Tabla N° 3-7. Se interpretaron como dudosos teniendo como referencia los datos de estaciones cercanas con datos consistentes según las pruebas aplicadas. Se tomaron las estaciones Pausa, Condorama y Huachos como referencias para las estaciones Lampa, Porpera y Villa de Armas respectivamente. En el caso de la estación San Pedro de Cachi, se registraron valores atípicos notorios en el periodo de 1966 y 1974 (ver Anexo B.1).

Tabla N° 3-7 Estaciones con periodos dudosos  
Fuente: Elaboración propia

Estación	Código	Periodo dudoso
Lampa	157223	1992 – 2017
Porpera	157329	1973 – 1993
San Pedro de Cachi	156205	1966 – 1974
Villa de Armas	000641	1985 – 1998

Finalmente, el número de estaciones a usar en el análisis de regionalización es 207 estaciones, los cuales se distribuyen de la siguiente manera en los 6 departamentos (Tabla N° 3-8).

Tabla N° 3-8 Número de estaciones para regionalización por departamento  
Fuente: Elaboración propia

<b>Departamento</b>	<b>Número de Estaciones</b>
Apurímac	13
Arequipa	68
Ayacucho	50
Huancavelica	38
Ica	22
Moquegua	16
<b>Total</b>	<b>207</b>

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS REGIONAL DE FRECUENCIA

El Análisis Regional de Frecuencia regional (ARF) se refiere al conjunto de procedimientos en el que se analiza, de manera conjunta, la distribución de frecuencia de muestras de datos procedentes de diferentes ubicaciones a lo largo de una zona de estudio llamada región (Hosking y Wallis, 1997). La Figura N° 4-1 se elaboró en base a las recomendaciones de Hosking y Wallis (1997), y resume la metodología empleada en la presente tesis.

Los cálculos se hicieron a través del paquete ImomRFA V. 3.1 (Hosking, 2017), el cual incorpora funciones en R para el análisis regional basado en momentos L. Este paquete implementa los métodos expuestos en el libro “Regional frequency analysis: an approach base on L – moments” (Hosking y Wallis, 1997), los cuales se trataron en el Capítulo II. Cabe resaltar que, para la presente tesis, el método se aplica una vez finalizado el análisis exploratorio de datos (AED) concerniente al análisis de tendencia y homogeneidad ya que para el análisis de discordancia se hace uso de los momentos L propiamente dicho.

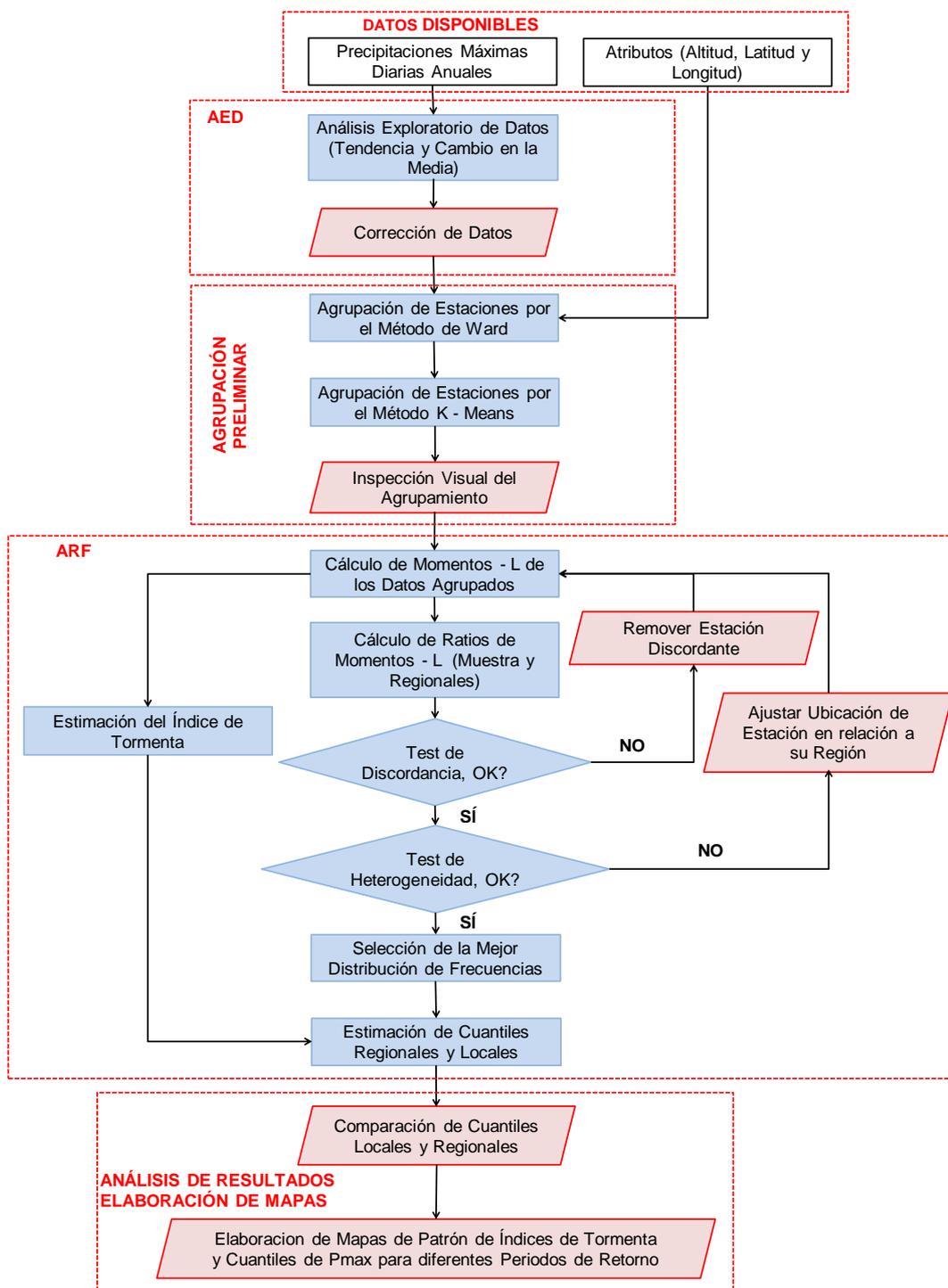


Figura N° 4-1 Procedimiento empleado en el método ARF  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1 Agrupación Preliminar de Estaciones

En primer lugar se formó un solo grupo con las 207 estaciones para realizar una primera depuración tomando en cuenta la discordancia. El valor de la discordancia se tomó solo como referencia y sirvió para realizar una revisión de las precipitaciones máximas anuales de las estaciones con valores altos de discordancia. Por ejemplo, en la Tabla N° 4-1 se muestra las primeras 15 estaciones con los valores de discordancia más altos en donde se tiene a la estación con código 158100 (Urasqui), ubicada en la parte baja de la cuenca del río Ocoña, tiene una discordancia de 5.91 ( $> 3$ ). En la revisión de los datos se advirtió que las lecturas son, en su mayoría, 0 mm, por lo tanto, se descartó esta estación. La exclusión de estaciones de estas características era previsible dada su ubicación en zonas áridas y cercanas a la costa. En la Tabla N° 4-2 se muestra los valores de heterogeneidad de este grupo, siendo para H1 igual a 32.5 ( $> 2$ ). Teniendo en cuenta este criterio se eliminaron 11 estaciones, quedando 196 estaciones.

Tabla N° 4-1 Valores de discordancia (ordenadas en forma descendiente) de las primeras 15 estaciones  
Fuente: Elaboración propia

n	Estación	D
1	158100	5.91
2	140600	5.08
3	000733	4.85
4	000632	4.75
5	000643	4.64
6	000637	4.27
7	000650	3.73
8	000699	3.70
9	156120	3.15
10	151505	2.94
11	158200	2.92
12	000731	2.87
13	158314	2.86
14	156219	2.69
15	000667	2.67

Tabla N° 4-2 Valores de heterogeneidad  
Fuente: Elaboración propia

<b>H</b>	<b>Valor</b>
H1	32.5
H2	20.6
H3	12.5

Una vez realizada esta depuración se formaron, tentativamente, 10 grupos a través de los métodos de Ward y K-means tratados en el ítem 2.3 (ver Figura N° 4-3). Además, se consideró los atributos y respectivos pesos mostrados en la Tabla N° 4-3. En la Figura N° 4-2 se muestra la agrupación jerárquica hecha a través del método de Ward.

Tabla N° 4-3 Atributos y sus pesos para agrupación preliminar de estaciones  
Fuente: Elaboración propia

<b>Atributo</b>	<b>Peso</b>
Latitud	0.3
Longitud	0.2
Altitud	0.5

Según la Figura N° 4-3 los grupos formados por ambos métodos son similares, sin embargo se puede observar un patrón el cual sirvió para delinear las regiones. Si bien la delineación no es definitiva para los grupos 2 y 7 se puede concluir que estas regiones conformarían la zona de estudio, sin embargo, tal como se trató en el ítem 2.3 los resultados de este análisis no son definitivos. En la Tabla N° 4-4 se muestra los 10 grupos preliminares y las estaciones (196) que la conforman. En la Tabla N° 4-5 y Tabla N° 4-6 se presentan sus valores de discordancia y heterogeneidad, respectivamente. Como se puede advertir, estos valores no cumplen con los criterios señalados, por lo que se siguieron realizando ajustes para cumplir los criterios de discordancia ( $D < 3$ ) y heterogeneidad ( $H < 2$ ).

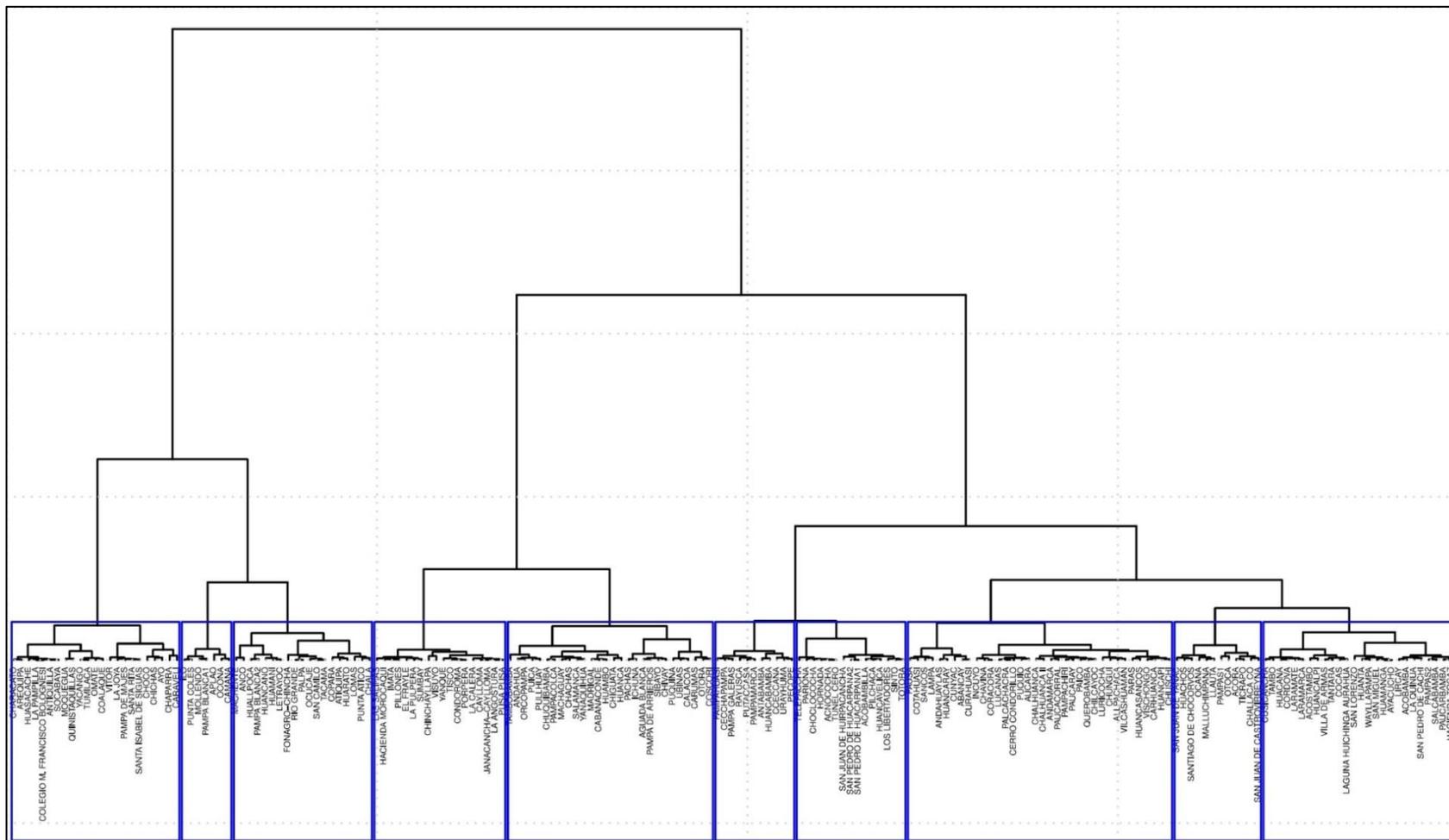


Figura N° 4-2 Dendograma (agrupación jerárquica) de los 10 grupos formados tentativamente  
 Fuente: Elaboración Propia

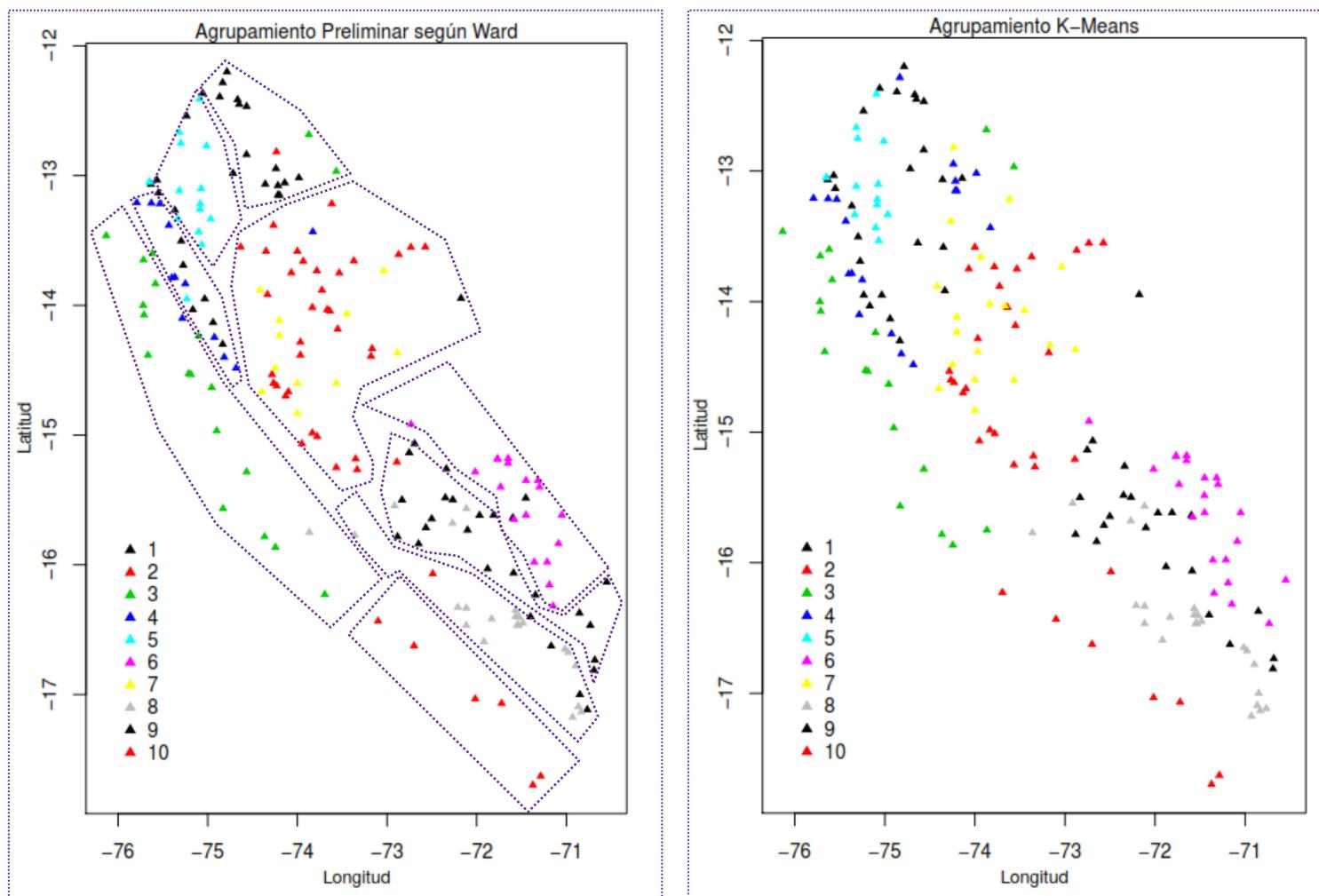


Figura N° 4-3 Agrupación preliminar con los métodos Ward y K-means  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4-4 Diez regiones en la zona de estudio  
Fuente: Elaboración propia

n\Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	000508	000605	000639	000644	000645	000710	000662	000746	000750	000800
2	000625	000665	000640	000655	000646	000753	000667	000799	000751	000830
3	000641	000669	000698	000660	000647	000754	000737	000804	000758	000831
4	000643	000677	000700	000661	000648	000755	000738	000805	000795	000832
5	000656	000728	000727	000664	000649	000765	000739	000806	000801	000833
6	000657	000735	000730	000666	000857	000797	000748	000829	000811	000837
7	000658	000736	000731	006640	151509	000849	007747	000836	000847	000840
8	000659	000740	000734	140654	156115	157305	156207	000839	000848	000846
9	000663	000742	000741	151503	156118	157318	156209	000850	000851	-
10	006200	000743	000791	156113	156119	157319	156211	000852	000864	-
11	006620	000744	000794	156114	156120	157321	156220	008791	000873	-
12	151504	000745	000890	156117	156130	157322	156223	008792	007308	-
13	151506	000747	000891	156123	156131	157323	157204	140801	008203	-
14	151507	000749	156132	156217	156139	157325	157205	140803	157307	-
15	151602	000792	156213	157100	-	157327	157207	157300	157309	-
16	151603	156210	156216	157200	-	157328	157215	157313	157310	-
17	156121	156212	156225	157201	-	157329	157217	157314	157311	-
18	156122	156214	157102	157202	-	157330	157219	158201	157312	-
19	156126	156221	157203	-	-	158208	157221	158205	157315	-
20	156128	156224	-	-	-	158209	-	158211	157317	-
21	156203	157206	-	-	-	158305	-	158301	158204	-
22	156205	157209	-	-	-	158310	-	158302	158308	-
23	156206	157210	-	-	-	-	-	158303	-	-
24	156218	157212	-	-	-	-	-	158314	-	-
25	157101	157223	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla N° 4-5 Máximos valores de discordancia en las regiones formadas  
Fuente: Elaboración propia

R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8	R-9	R-10
3.09	3.78	2.89	3.16	2.53	2.95	3.55	3.13	4.13	2.16

Tabla N° 4-6 Valores de heterogeneidad en las regiones formadas  
Fuente: Elaboración propia

H\Región	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8	R-9	R-10
H1	6.99	5.80	6.03	6.89	3.91	2.99	4.95	6.92	5.38	1.60
H2	0.51	0.30	6.29	3.17	1.64	2.47	0.28	6.30	3.02	2.23
H3	0.31	0.88	2.68	1.63	1.70	2.16	1.04	4.18	1.69	1.69

## 4.2 Análisis de Discordancia y Homogeneidad

Se realizó una corrección adicional descartando datos dudosos y eliminando aquellas estaciones que terminaron con menos de 10 datos a partir de la depuración. En consecuencia, se obtuvieron 173 estaciones, las cuales se agruparon en las regiones que se muestran en la Tabla N° 4-4. A partir del cálculo de los momentos L (ver Tabla N° 4-7), se realizó la prueba de Hosking y Wallis (1997) sobre estas regiones obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla N° 4-5 y Tabla N° 4-6. Se observa que las regiones R-3, R-5, R-6 y R-10 cumplen el criterio de discordancia, es decir,  $D < 3$ , mientras que solo la región R-10 cumple el criterio de heterogeneidad ( $H < 2$ ).

Tabla N° 4-7 Estaciones y sus momentos L  
Fuente: Elaboración propia

i	Estación	n (longitud de registro)	$l_1$	t	$t_3$	$t_4$	$t_5$
1	000508	25	29.15	0.14	0.17	0.20	0.06
2	000605	36	33.08	0.15	0.22	0.22	0.06
3	000625	26	34.36	0.16	0.28	0.12	0.01
4	000639	33	8.77	0.35	0.30	0.21	0.16
5	000640	24	13.14	0.50	0.43	0.23	0.17
6	000641	18	37.76	0.23	0.05	0.22	0.12
7	000643	15	27.14	0.16	0.19	0.21	-0.17
8	000644	16	15.66	0.35	0.27	0.19	0.09
9	000645	18	28.76	0.17	0.00	0.04	-0.11
10	000646	29	29.34	0.09	0.07	0.11	-0.07
11	000647	52	34.77	0.16	0.26	0.21	0.08
12	000648	48	35.51	0.14	0.18	0.21	0.12
13	000649	40	27.95	0.19	0.15	0.20	0.15
14	000655	25	33.07	0.10	0.11	0.11	-0.07
15	000656	13	34.90	0.10	-0.14	0.17	-0.16
16	000657	49	33.78	0.14	0.19	0.10	0.07
17	000658	37	34.55	0.15	-0.04	0.15	0.02
18	000659	43	31.00	0.16	0.01	0.23	0.02
19	000660	25	32.72	0.17	0.30	0.23	0.13
20	000661	33	32.87	0.16	0.16	0.04	-0.01
21	000662	24	36.87	0.13	0.17	0.08	-0.01
22	000663	46	36.15	0.13	0.13	0.16	0.02
23	000664	33	36.68	0.22	0.31	0.28	0.12
24	000665	39	38.92	0.16	0.07	0.14	0.11
25	000666	17	28.42	0.17	-0.06	0.15	-0.04
26	000669	41	29.61	0.15	0.07	0.17	-0.05
27	000677	50	32.93	0.17	0.18	0.35	0.08
28	000698	13	8.35	0.46	0.44	0.36	0.30
29	000700	35	6.75	0.47	0.46	0.19	0.10
30	000710	20	37.19	0.12	0.40	0.19	0.15

i	Estación	n (longitud de registro)	$l_1$	t	$t_3$	$t_4$	$t_5$
31	000727	16	5.06	0.36	0.35	0.22	0.19
32	000728	13	32.03	0.19	0.09	0.00	0.07
33	000731	17	6.01	0.43	0.37	0.12	0.08
34	000734	13	15.31	0.39	0.20	0.19	0.13
35	000735	12	31.84	0.10	0.04	0.18	-0.17
36	000736	51	28.00	0.18	0.15	0.27	0.02
37	000737	18	31.16	0.16	0.10	0.12	-0.02
38	000738	15	37.24	0.10	0.21	0.08	-0.11
39	000739	31	37.72	0.17	0.08	0.11	-0.06
40	000740	16	41.24	0.24	0.07	0.00	0.02
41	000741	22	4.97	0.40	0.33	0.15	0.13
42	000742	17	38.25	0.16	0.20	0.16	0.01
43	000743	43	31.91	0.18	0.03	0.26	0.12
44	000744	17	36.49	0.23	0.23	0.16	0.07
45	000745	41	27.74	0.24	0.06	0.00	-0.01
46	000746	43	12.33	0.41	0.26	0.10	0.05
47	000747	12	41.83	0.15	0.21	0.09	0.11
48	000748	12	37.58	0.16	0.06	0.08	0.03
49	000749	43	25.13	0.21	0.14	0.20	0.14
50	000750	44	28.27	0.31	0.24	0.15	0.11
51	000751	41	26.54	0.21	0.12	0.19	0.05
52	000753	31	39.72	0.10	0.08	0.08	-0.08
53	000754	53	41.32	0.12	0.22	0.14	0.01
54	000755	55	37.17	0.14	0.14	0.13	0.01
55	000758	49	29.30	0.16	0.01	0.20	0.04
56	000765	56	34.38	0.15	0.19	0.21	0.10
57	000792	35	38.77	0.13	0.19	0.17	0.14
58	000794	12	3.97	0.28	0.01	-0.11	0.19
59	000795	54	32.11	0.20	0.24	0.24	0.05
60	000799	21	16.85	0.37	0.45	0.23	0.09
61	000801	52	24.80	0.19	0.14	0.18	0.04
62	000805	27	5.84	0.42	0.43	0.19	0.14
63	000806	35	9.29	0.42	0.36	0.11	-0.03
64	000811	19	43.80	0.15	0.20	0.21	0.09
65	000832	26	5.68	0.41	0.42	0.20	0.07
66	000833	34	4.29	0.39	0.33	0.08	0.04
67	000836	15	35.14	0.48	0.26	0.02	-0.01
68	000837	29	4.17	0.38	0.45	0.25	0.12
69	000839	51	19.72	0.42	0.41	0.29	0.25
70	000846	11	7.81	0.50	0.39	0.11	0.01
71	000847	50	24.33	0.29	0.15	0.12	0.01
72	000848	21	27.09	0.22	0.09	0.16	0.04
73	000849	44	26.80	0.18	0.30	0.24	0.12
74	000850	45	20.10	0.30	0.24	0.19	0.09
75	000851	52	26.20	0.17	0.05	0.13	-0.01
76	000852	30	15.48	0.38	0.32	0.23	0.22
77	000864	49	26.15	0.34	0.30	0.15	0.04
78	000873	35	31.45	0.18	0.19	0.17	0.01

i	Estación	n (longitud de registro)	$I_1$	t	$t_3$	$t_4$	$t_5$
79	006200	39	29.32	0.23	0.14	0.09	0.04
80	006620	12	37.33	0.11	0.12	0.10	-0.14
81	006640	16	18.18	0.26	0.26	0.28	0.26
82	007308	45	26.58	0.22	0.15	0.16	0.03
83	007747	25	32.32	0.12	0.12	0.33	0.13
84	008203	37	26.79	0.34	0.36	0.23	0.11
85	008791	27	17.42	0.33	0.18	0.11	0.09
86	140801	34	19.79	0.44	0.40	0.20	0.13
87	140803	12	7.47	0.46	0.45	0.28	-0.01
88	151503	34	29.79	0.16	0.16	0.14	-0.01
89	151506	20	27.87	0.19	0.20	0.17	-0.13
90	151507	14	28.50	0.25	0.04	0.02	0.15
91	151509	14	28.91	0.21	0.12	-0.05	-0.12
92	151602	33	40.20	0.26	0.06	0.16	-0.05
93	151603	11	27.28	0.27	0.16	0.39	0.20
94	156113	26	14.76	0.30	0.21	0.24	0.13
95	156114	46	20.96	0.23	0.17	0.19	0.01
96	156115	25	24.22	0.20	-0.08	0.09	-0.08
97	156117	23	24.55	0.25	0.16	0.13	0.07
98	156118	19	31.49	0.30	0.26	0.18	0.10
99	156119	25	26.65	0.13	0.03	0.23	0.11
100	156121	47	22.31	0.24	0.10	0.22	0.15
101	156122	47	30.57	0.19	0.10	0.00	-0.06
102	156123	48	19.75	0.35	0.21	0.07	0.03
103	156126	48	34.82	0.21	0.15	0.08	-0.02
104	156128	26	37.25	0.25	0.12	0.23	-0.03
105	156130	37	38.92	0.22	0.04	0.17	0.08
106	156131	16	35.52	0.15	-0.07	0.05	-0.10
107	156132	13	5.72	0.30	0.36	0.29	0.23
108	156139	11	35.00	0.13	0.06	0.08	-0.17
109	156203	16	34.65	0.16	0.33	0.35	0.27
110	156205	28	31.16	0.18	0.12	0.08	0.03
111	156206	17	40.53	0.15	0.28	0.26	-0.04
112	156209	31	29.68	0.17	0.06	0.09	0.08
113	156210	16	41.85	0.16	0.22	0.27	0.15
114	156211	45	35.32	0.15	0.16	0.19	0.05
115	156212	50	30.97	0.18	0.12	0.07	0.03
116	156213	15	49.25	0.11	0.11	0.11	0.12
117	156214	18	36.47	0.21	0.20	0.37	0.14
118	156216	19	31.78	0.12	0.03	0.27	0.04
119	156217	18	28.55	0.15	-0.04	0.21	0.01
120	156218	18	33.82	0.14	0.39	0.38	0.34
121	156220	15	54.54	0.19	0.13	0.03	-0.09
122	156221	18	33.55	0.15	0.02	0.04	0.04
123	156223	18	30.25	0.14	0.38	0.39	0.07
124	156224	12	21.30	0.20	0.16	0.02	0.02
125	156225	15	12.96	0.47	0.40	0.30	0.34
126	157100	32	15.23	0.31	0.14	0.04	0.01

i	Estación	n (longitud de registro)	$I_1$	t	$t_3$	$t_4$	$t_5$
127	157101	50	32.38	0.31	0.24	0.19	0.10
128	157102	48	11.24	0.35	0.29	0.19	0.09
129	157200	46	22.34	0.24	0.08	0.13	0.01
130	157201	32	16.79	0.27	0.25	0.18	0.12
131	157202	24	20.84	0.22	0.04	0.04	0.07
132	157203	15	8.51	0.38	0.08	0.08	0.33
133	157205	17	40.73	0.18	0.12	0.03	0.04
134	157206	50	34.42	0.23	0.04	0.16	0.05
135	157207	33	31.50	0.17	0.25	0.24	0.20
136	157209	28	30.45	0.20	0.25	0.14	0.07
137	157210	31	27.25	0.19	-0.07	0.07	0.08
138	157212	22	31.53	0.17	0.18	0.03	-0.03
139	157215	15	39.13	0.22	0.11	0.07	-0.06
140	157217	33	36.48	0.21	0.26	0.32	0.16
141	157221	13	27.95	0.22	0.20	0.19	0.17
142	157300	50	19.31	0.25	0.02	0.03	0.03
143	157305	45	28.09	0.18	0.11	0.17	0.05
144	157307	28	26.76	0.23	0.18	0.18	-0.02
145	157309	44	29.75	0.19	0.10	0.14	0.07
146	157310	46	28.15	0.19	0.24	0.30	0.11
147	157311	52	30.15	0.20	0.28	0.26	0.19
148	157312	50	25.44	0.19	0.09	0.13	-0.06
149	157313	53	15.84	0.32	0.40	0.39	0.25
150	157314	46	19.75	0.22	0.13	0.12	0.14
151	157315	49	27.35	0.20	0.16	0.14	0.06
152	157317	46	28.78	0.17	0.11	0.11	-0.04
153	157318	39	40.62	0.16	0.06	0.03	-0.03
154	157319	13	39.26	0.15	0.25	0.22	-0.10
155	157321	36	28.61	0.21	0.30	0.33	0.22
156	157323	14	31.77	0.10	0.02	0.06	0.20
157	157325	50	42.65	0.16	0.37	0.29	0.21
158	157327	32	29.29	0.21	0.28	0.34	0.28
159	157328	41	31.48	0.23	0.25	0.22	0.10
160	157329	28	43.38	0.13	0.25	0.33	0.21
161	157330	33	31.10	0.16	-0.01	0.06	-0.03
162	158204	45	24.55	0.31	0.32	0.27	0.10
163	158205	30	18.23	0.39	0.33	0.15	0.05
164	158208	52	29.55	0.17	0.16	0.23	0.10
165	158209	50	21.96	0.25	0.28	0.15	0.07
166	158211	33	15.88	0.32	0.17	0.09	0.01
167	158301	50	17.15	0.39	0.33	0.17	0.10
168	158302	19	13.56	0.34	0.11	0.01	0.02
169	158303	14	22.03	0.46	0.46	0.28	0.12
170	158305	19	21.64	0.19	0.04	0.25	-0.08
171	158308	49	30.25	0.25	0.19	0.17	0.03
172	158310	49	35.90	0.12	0.11	0.26	0.05
173	158314	11	11.89	0.43	0.19	-0.08	-0.02

El objetivo es cumplir con los criterios de discordancia y homogeneidad a partir de la formación de regiones hidrológicas en la zona de estudio tomando como base los diez grupos formados preliminarmente. Para cumplir el objetivo se realizaron los siguientes ajustes:

- Mover una estación o algunas estaciones de una región a otra;
- Eliminar una estación o algunas estaciones del conjunto de datos;
- Subdividir una región;
- Particionar una región reasignando sus estaciones a otras regiones;
- Unir una región con otra u otras regiones;
- Unir dos o más regiones y redefinir los grupos.

A partir de esta rutina se obtuvieron las regiones que se muestran en la Tabla N° 4-8. En la Figura N° 4-4 se muestra la distribución espacial de las regiones y sus estaciones. Además en la Tabla N° 4-9 se muestra el rango de altitudes de las regiones hidrológicas conformadas ordenadas según su altitud mínima.

Tabla N° 4-8 Regiones (8) y estaciones que las conforman  
Fuente: Elaboración propia

n\Región	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
1	000508	000639	000641	000605	000710	000746	000751	000832
2	000625	000640	000643	000662	000753	000750	000795	000833
3	000645	000698	000644	000665	000754	000799	000801	000837
4	000646	000700	000660	000669	000755	000805	000847	000846
5	000647	000727	000664	000677	000758	000806	000848	-
6	000648	000731	000666	000728	000765	000836	000851	-
7	000649	000734	000739	000735	000849	000839	000873	-
8	000655	000741	006200	000736	157305	000850	007308	-
9	000656	000794	006640	000737	157318	000852	157300	-
10	000657	156123	151503	000738	157319	000864	157307	-
11	000658	156132	151506	000740	157321	008203	157309	-
12	000659	156225	151507	000742	157323	008791	157310	-
13	000661	157100	151509	000743	157325	140801	157311	-
14	000663	157101	151602	000744	157327	140803	157312	-
15	006620	157102	151603	000745	157329	157313	157314	-
16	156119	157203	156113	000747	157330	158204	157315	-
17	156131	-	156114	000748	158208	158205	157317	-
18	156139	-	156115	000749	158305	158211	157328	-
19	156205	-	156117	000792	158310	158301	158209	-
20	156209	-	156118	000811	-	158302	158308	-
21	-	-	156121	007747	-	158303	-	-
22	-	-	156122	156203	-	158314	-	-
23	-	-	156126	156206	-	-	-	-
24	-	-	156128	156210	-	-	-	-
25	-	-	156130	156211	-	-	-	-
26	-	-	157200	156212	-	-	-	-

n\Región	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
27	-	-	157201	156213	-	-	-	-
28	-	-	157202	156214	-	-	-	-
29	-	-	-	156216	-	-	-	-
30	-	-	-	156217	-	-	-	-
31	-	-	-	156218	-	-	-	-
32	-	-	-	156220	-	-	-	-
33	-	-	-	156221	-	-	-	-
34	-	-	-	156223	-	-	-	-
35	-	-	-	156224	-	-	-	-
36	-	-	-	157205	-	-	-	-
37	-	-	-	157206	-	-	-	-
38	-	-	-	157207	-	-	-	-
39	-	-	-	157209	-	-	-	-
40	-	-	-	157210	-	-	-	-
41	-	-	-	157212	-	-	-	-
42	-	-	-	157215	-	-	-	-
43	-	-	-	157217	-	-	-	-
44	-	-	-	157221	-	-	-	-

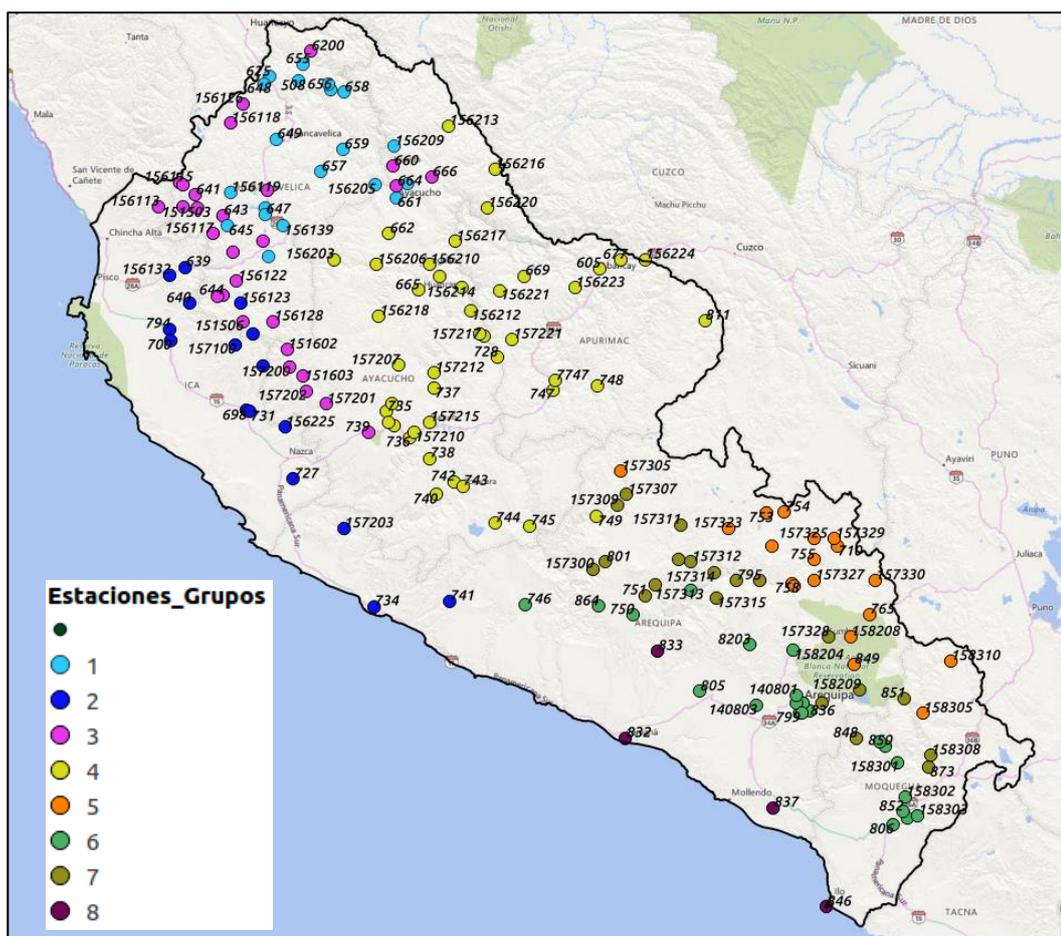


Figura N° 4-4 Regiones hidrológicas (8) en la zona de estudio  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4-9 Rango de altitudes de Regiones Hidrológicas  
Fuente: Elaboración propia

Región	N (número de estaciones)	Altitud Mínima (m.s.n.m.)	Altitud Máxima (m.s.n.m.)
R-8	4	9	645
R-2	16	336	3170
R-4	44	1080	4406
R-6	22	1434	3715
R-3	28	1712	4583
R-7	20	2161	4378
R-1	20	2600	4520
R-5	19	3644	4814

Se realizó la prueba de Hosking y Wallis (1997) sobre estas regiones obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla N° 4-10 y Tabla N° 4-11. Se observa que todas las regiones cumplen con análisis de discordancia ( $D < 3$ ) y test de heterogeneidad ( $H < 2$ ).

Tabla N° 4-10 Máximos valores de discordancia en las regiones formadas  
Fuente: Elaboración propia

R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
2.29	2.22	2.64	2.44	2.15	2.36	2.70	1.00

Tabla N° 4-11 Valores de heterogeneidad en las regiones formadas  
Fuente: Elaboración propia

H\Región	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
H1	1.43	1.69	1.68	1.54	1.91	1.18	1.69	-0.18
H2	1.06	1.18	-0.16	-1.09	1.61	0.33	0.31	-0.79
H3	0.59	0.36	0.33	0.46	1.53	0.21	-0.42	-0.52

En la Figura N° 4-5 y Figura N° 4-6 se muestra la nube de puntos correspondientes a las coordenadas representadas por los ratios de Momentos L: L –  $C_V$ , L – Asimetría y L –  $C_S$ , L – Asimetría, respectivamente. Según una inspección visual se verifica que no habría puntos discordantes o dispersos.

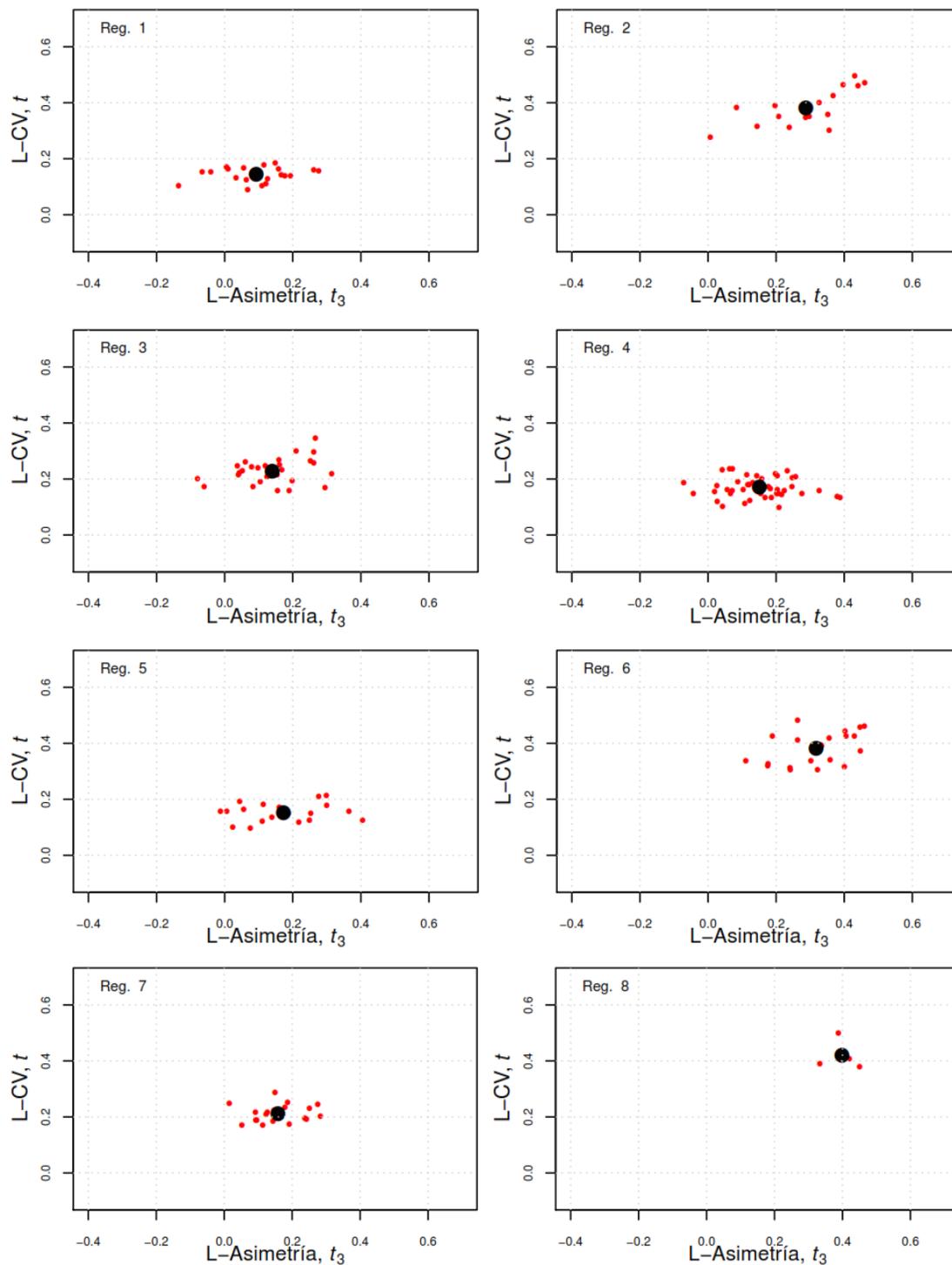


Figura N° 4-5 Nube de puntos de ratios de Momentos L (coeficiente de variación VS. coeficiente de asimetría)  
Fuente: Elaboración Propia

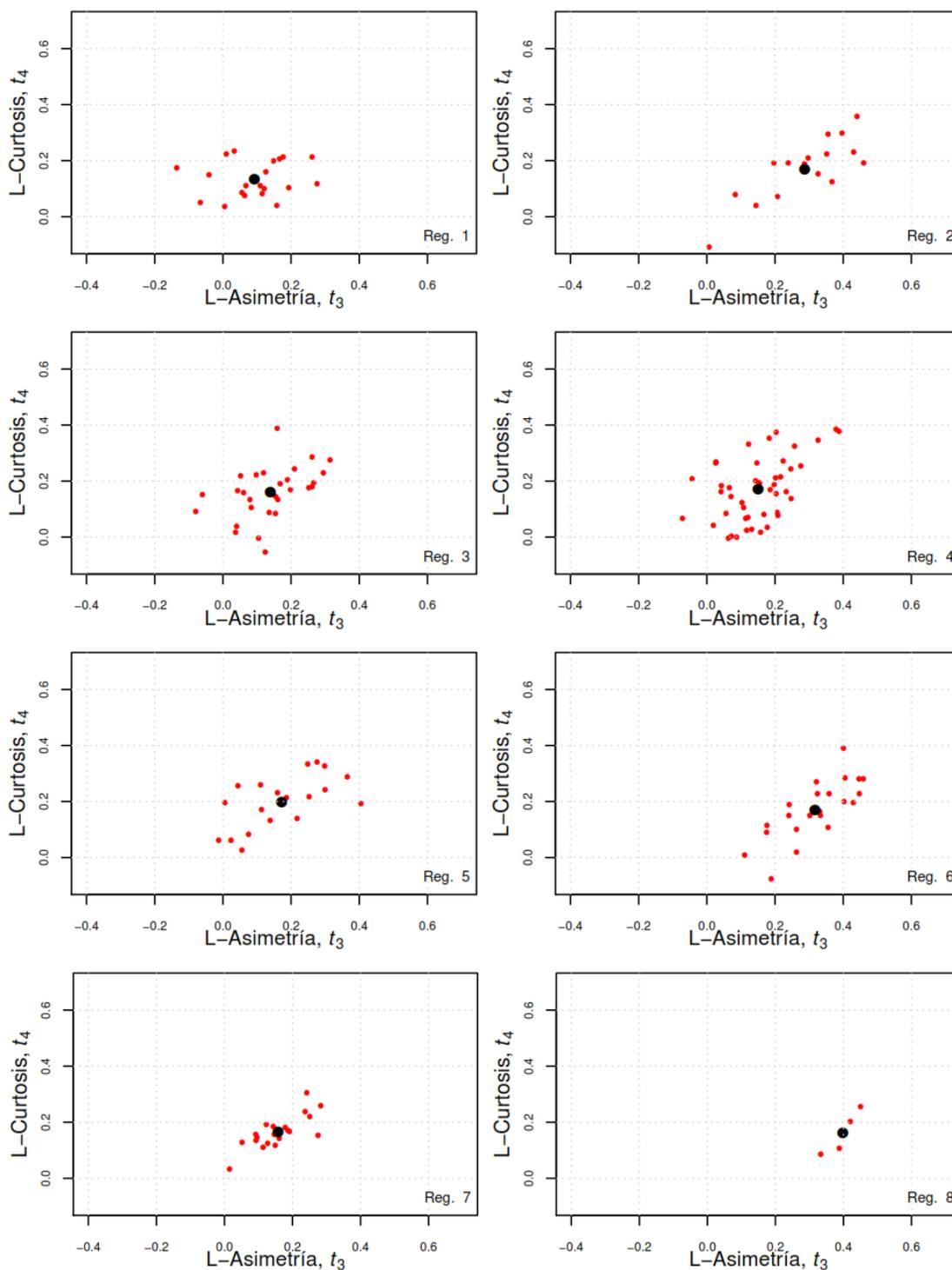


Figura N° 4-6 Nube de puntos de ratios de Momentos L (coeficiente de curtosis VS. coeficiente de asimetría)  
 Fuente: Elaboración Propia

### 4.3 Selección de la Distribución de Frecuencia

Según las regiones establecidas se calcularon los valores de Z de acuerdo a las distribuciones recomendadas por Hosking y Wallis (1997) y que cumplan la condición  $|Z^{\text{DIST}}| \leq 1.64$ . Los valores de Z para cada distribución así como las distribuciones seleccionadas, según Z, para cada región se muestran en la Tabla N° 4-12 y Tabla N° 4-15.

Tabla N° 4-12 Valores de Z para cada región de acuerdo a las distribuciones estudiadas  
Fuente: Elaboración propia

Distribución\Región	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
GLO	1.94	2.69	1.96	<b>-0.06</b>	<b>-1.18</b>	2.98	<b>1.49</b>	2.61
GEV	<b>-1.02</b>	1.52	<b>-1.01</b>	-3.19	-3.39	1.72	<b>-1.46</b>	2.25
GNO	<b>-0.89</b>	<b>0.72</b>	<b>-1.07</b>	-3.31	-3.69	<b>0.52</b>	-1.73	1.61
PE3	-1.28	<b>-0.70</b>	-1.66	-4.00	-4.45	-1.56	-2.57	<b>0.49</b>
GPA	-7.11	-1.60	-7.32	-9.89	-8.32	-1.90	-7.92	1.04

Si bien la mejor elección de la distribución de frecuencias es evidente para las regiones R-4, R-5, R-6 y R-8, no lo es para el resto de regiones ya que los valores de  $Z^{\text{DIST}}$  son muy cercanos entre sí tal como se muestra en la Tabla N° 4-12. Con el fin de seleccionar la mejor distribución de frecuencia para dichas regiones, se realizó una prueba de precisión en el cual se calculó una curva de distribución de frecuencias regional y se comparó con las curvas generadas para las estaciones contenidas en dicha región (cuantiles locales) según el algoritmo recomendado por Hosking y Wallis (1997):

1. Extraer el número de estaciones (N) y para cada estación su longitud de registro (n), así como los respectivos momentos L de su distribución de frecuencia.
2. Calcular los parámetros de las distribuciones de frecuencias para cada estación dados sus ratios de momentos L.
3. Para cada una de las repeticiones del procedimiento de la simulación se debe generar los datos para cada estación. En caso haya interdependencia entre estaciones se recomienda incluir, en la simulación, el coeficiente de correlación cruzada para la generación de datos. En la presente tesis se incluyó este coeficiente (ver Tabla N° 4-13).

Tabla N° 4-13 Coeficiente de correlación cruzada en las regiones de estudio  
Fuente: Elaboración propia

Región	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
r	0.13	0.17	0.21	0.16	0.10	0.37	0.37	0.36

4. Calcular los ratios de momentos L en cada estación y los momentos L regionales promedio para cada región.
5. Ajustar a una distribución. En este caso se trata de las distribuciones con los  $Z^{\text{DIST}}$  mínimos.
6. Calcular los cuantiles de la curva regional y en las estaciones. Los cuantiles de la curva regional se expresan en función del promedio regional de la razón de los valores estimados de la simulación a los reales en la estación de la región correspondiente ( $l_1$ ).
7. Calcular el error relativo de las curvas regionales estimadas.

En la Tabla N° 4-14 se muestra las medidas de precisión requeridas para la selección de la mejor distribución, donde:

p: probabilidad de no excedencia

PR: periodo de retorno

q: ratio de la distribución estimada a la real (o cuantiles regionales)

RMSE: raíz del error cuadrático medio

borde 0.05: cuantil al 5% (límite inferior)

borde 0.95: cuantil al 95% (límite superior)

Tabla N° 4-14 Medidas de precisión para las distribuciones estimadas en las ocho regiones  
Fuente: Elaboración propia

*Región 1*

<b>GEV</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.969	1.207	1.352	1.482	1.638	1.746	1.848	1.973	2.060
<b>RMSE</b>	0.008	0.042	0.071	0.099	0.133	0.159	0.184	0.217	0.242
<b>borde 0.05</b>	0.956	1.142	1.241	1.330	1.438	1.515	1.588	1.680	1.748
<b>borde 0.95</b>	0.983	1.270	1.460	1.634	1.854	2.015	2.174	2.383	2.542
<b>GNO</b>									
<b>q</b>	0.970	1.206	1.349	1.479	1.639	1.754	1.866	2.010	2.118
<b>RMSE</b>	0.008	0.041	0.071	0.098	0.132	0.158	0.183	0.217	0.243
<b>borde 0.05</b>	0.956	1.142	1.242	1.331	1.441	1.518	1.594	1.691	1.763
<b>borde 0.95</b>	0.983	1.271	1.461	1.635	1.852	2.011	2.167	2.371	2.525

*Región 2*

<b>GNO</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.814	1.439	1.914	2.412	3.118	3.693	4.308	5.186	5.904
<b>RMSE</b>	0.043	0.083	0.174	0.274	0.425	0.554	0.698	0.913	1.097
<b>borde 0.05</b>	0.742	1.308	1.654	2.013	2.519	2.924	3.355	3.963	4.456
<b>borde 0.95</b>	0.873	1.561	2.190	2.869	3.867	4.702	5.623	6.975	8.102
<b>PE3</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.804	1.477	1.961	2.433	3.047	3.507	3.963	4.561	5.012
<b>RMSE</b>	0.042	0.099	0.192	0.282	0.408	0.518	0.648	0.859	1.049
<b>borde 0.05</b>	0.739	1.309	1.653	2.011	2.516	2.930	3.371	3.999	4.514
<b>borde 0.95</b>	0.874	1.564	2.198	2.875	3.847	4.647	5.508	6.745	7.756

*Región 3*

<b>GEV</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.944	1.313	1.545	1.759	2.024	2.214	2.397	2.627	2.794
<b>RMSE</b>	0.016	0.080	0.142	0.200	0.274	0.329	0.382	0.451	0.502
<b>borde 0.05</b>	0.917	1.188	1.329	1.460	1.622	1.741	1.857	2.007	2.120
<b>borde 0.95</b>	0.969	1.434	1.758	2.061	2.448	2.737	3.027	3.413	3.711
<b>GNO</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.945	1.313	1.543	1.755	2.021	2.216	2.408	2.659	2.849
<b>RMSE</b>	0.016	0.080	0.141	0.198	0.273	0.328	0.384	0.459	0.516
<b>borde 0.05</b>	0.917	1.189	1.329	1.459	1.622	1.740	1.857	2.008	2.122
<b>borde 0.95</b>	0.970	1.435	1.758	2.060	2.444	2.728	3.012	3.387	3.674

*Región 4*

<b>GLO</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.960	1.216	1.390	1.570	1.827	2.042	2.277	2.625	2.919
<b>RMSE</b>	0.013	0.058	0.099	0.140	0.210	0.287	0.394	0.593	0.800
<b>borde 0.05</b>	0.936	1.148	1.261	1.366	1.500	1.597	1.694	1.820	1.915
<b>borde 0.95</b>	0.972	1.325	1.571	1.801	2.095	2.315	2.537	2.835	3.064

*Región 5*

<b>GLO</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.957	1.187	1.349	1.520	1.770	1.985	2.225	2.588	2.903
<b>RMSE</b>	0.014	0.050	0.087	0.124	0.190	0.265	0.374	0.588	0.819
<b>borde 0.05</b>	0.932	1.132	1.239	1.342	1.472	1.571	1.668	1.796	1.892
<b>borde 0.95</b>	0.971	1.281	1.509	1.728	2.016	2.236	2.462	2.772	3.018

*Región 6*

<b>GNO</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.796	1.410	1.898	2.425	3.193	3.835	4.534	5.554	6.404
<b>RMSE</b>	0.040	0.062	0.138	0.227	0.368	0.496	0.643	0.871	1.072
<b>borde 0.05</b>	0.729	1.310	1.692	2.095	2.675	3.153	3.667	4.406	5.013
<b>borde 0.95</b>	0.852	1.501	2.122	2.818	3.874	4.784	5.799	7.323	8.625

*Región 7*

<b>GLO</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.945	1.260	1.478	1.707	2.038	2.318	2.629	3.095	3.495
<b>RMSE</b>	0.015	0.053	0.088	0.125	0.200	0.294	0.436	0.715	1.015
<b>borde 0.05</b>	0.918	1.210	1.374	1.525	1.715	1.854	1.989	2.161	2.287
<b>borde 0.95</b>	0.961	1.362	1.647	1.920	2.277	2.550	2.829	3.210	3.509

<b>GEV</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.939	1.285	1.510	1.723	1.996	2.197	2.395	2.653	2.846
<b>RMSE</b>	0.013	0.049	0.089	0.128	0.182	0.225	0.269	0.331	0.381
<b>borde 0.05</b>	0.917	1.210	1.373	1.526	1.717	1.857	1.992	2.167	2.296
<b>borde 0.95</b>	0.961	1.363	1.649	1.924	2.284	2.559	2.837	3.219	3.518

*Región 8*

<b>PE3</b>									
<b>p</b>	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>PR</b>	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>q</b>	0.704	1.457	2.070	2.702	3.556	4.210	4.871	5.751	6.420
<b>RMSE</b>	0.077	0.097	0.198	0.321	0.538	0.770	1.070	1.568	2.014
<b>borde 0.05</b>	0.607	1.303	1.740	2.207	2.920	3.547	4.269	5.354	6.306
<b>borde 0.95</b>	0.878	1.467	2.243	3.211	4.776	6.183	7.830	10.401	12.626

A partir de los cálculos realizados, se elaboró la Tabla N° 4-15 donde se muestra las distribuciones de frecuencia seleccionadas para cada región. Se tuvieron en cuenta, en primer lugar, el error cuadrático y el rango de cuantiles más estrecho. Las curvas de frecuencia de los cuantiles regionales se muestran en la Figura N° 4-7.

Tabla N° 4-15 Mejor distribución de frecuencia para cada región hidrológica  
Fuente: Elaboración propia

<b>R-1</b>	<b>R-2</b>	<b>R-3</b>	<b>R-4</b>	<b>R-5</b>	<b>R-6</b>	<b>R-7</b>	<b>R-8</b>
GNO	PE3	GEV	GLO	GLO	GNO	GEV	PE3

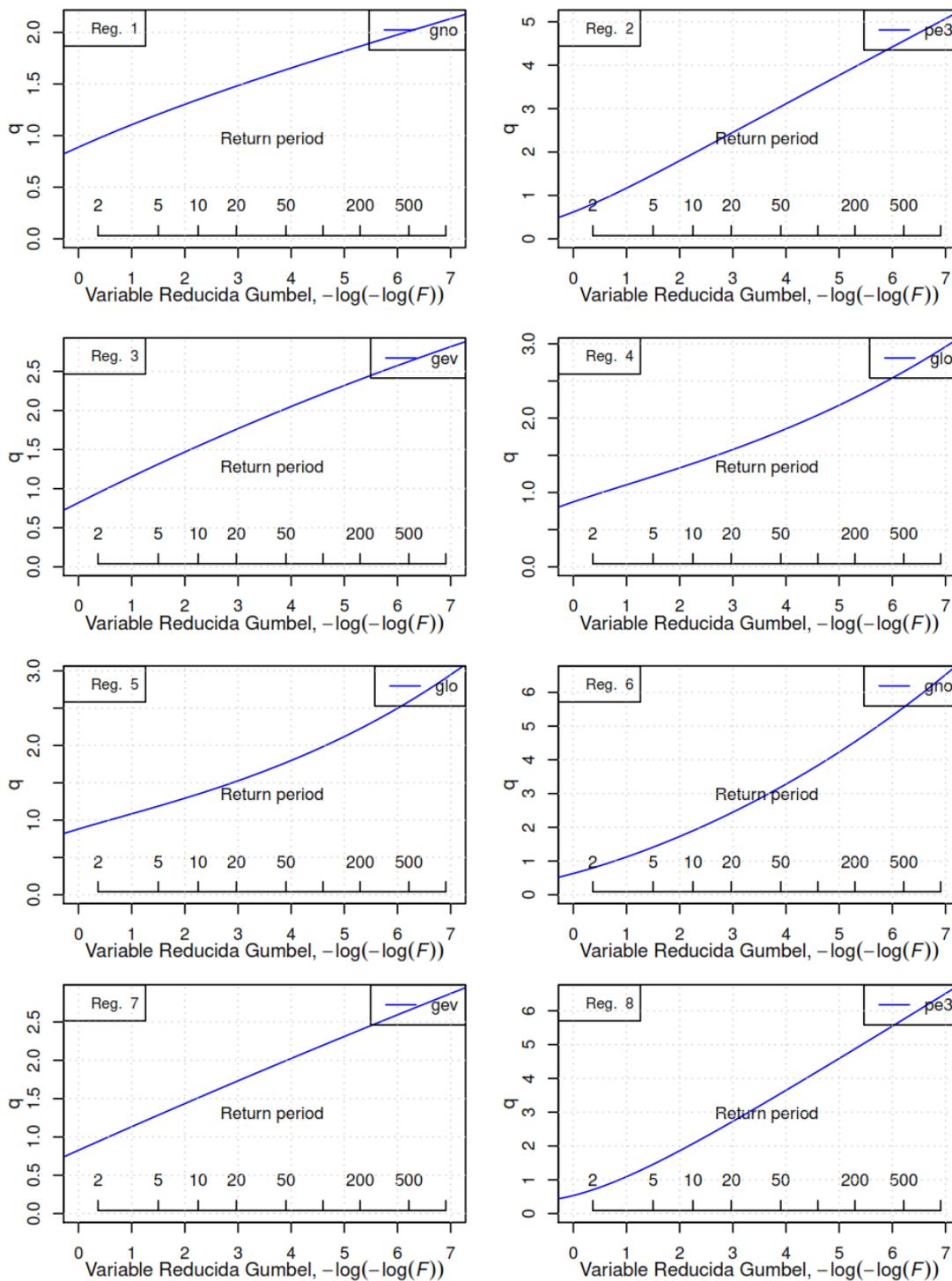


Figura N° 4-7 Curvas de distribución de frecuencias de cuantiles regionales  
 Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4 Cuantiles Locales

Los cuantiles locales fueron calculados en base al algoritmo descrito en el ítem 4.3. Cabe resaltar que los datos de precipitaciones máximas diarias se deberán multiplicar por un factor de corrección igual a 1.13, para que correspondan a la precipitación máxima de 24 horas. Esto debido a que este último valor es de amplia aplicación en proyectos hidráulicos. El factor de 1.13 corrige la restricción propia de las precipitaciones diarias ya que la duración de la lluvia comúnmente las excede (Schaefer, 2006). En el Anexo C se muestran las curvas de las distribuciones de frecuencia para cada estación.

#### 4.5 Elaboración de Mapas

##### 4.5.1 Delineación de las Regiones Hidrológicas

El siguiente paso fue delinear de las regiones en base a la Figura N° 4-4. Si bien esta delineación puede ser subjetiva debido a la incertidumbre respecto a las áreas sin información de lluvias, se hizo uso de curvas de nivel obtenidas a partir de modelos digitales de elevación obtenidas de Hydrosheds (basado en datos de elevación obtenidos por la misión SRTM y disponibles gratuitamente vía web) el cual contiene rásters de elevación con una resolución de 90 m, y de las cuencas principales comprendidas en el área de estudio con la delineación de las ocho regiones (ver Figura N° 4-8 y Figura N° 4-9). Cabe resaltar que existe cierta correspondencia entre la delineación de regiones y el mapa climático elaborado por Werren Thornthwaite tal como se muestra en la Figura N° 4-10, según la cual las regiones estarían clasificadas respecto a su clima tal como se muestra en la Tabla N° 4-16.

Tabla N° 4-16 Clasificación climática de las regiones hidrológicas  
 Fuente: Elaboración propia

Región	Clima
R-1	Semiseco – Frío – Húmedo
R-2	Árido – Semicálido – Húmedo
R-3	Semiseco – Semifrío - Húmedo
R-4	Lluvioso – Semifrío – Húmedo
R-5	Lluvioso – Semifrío – Húmedo
R-6	Semiseco – Semifrío - Húmedo
R-7	Lluvioso – Semifrío – Húmedo
R-8	Árido – Semicálido – Húmedo

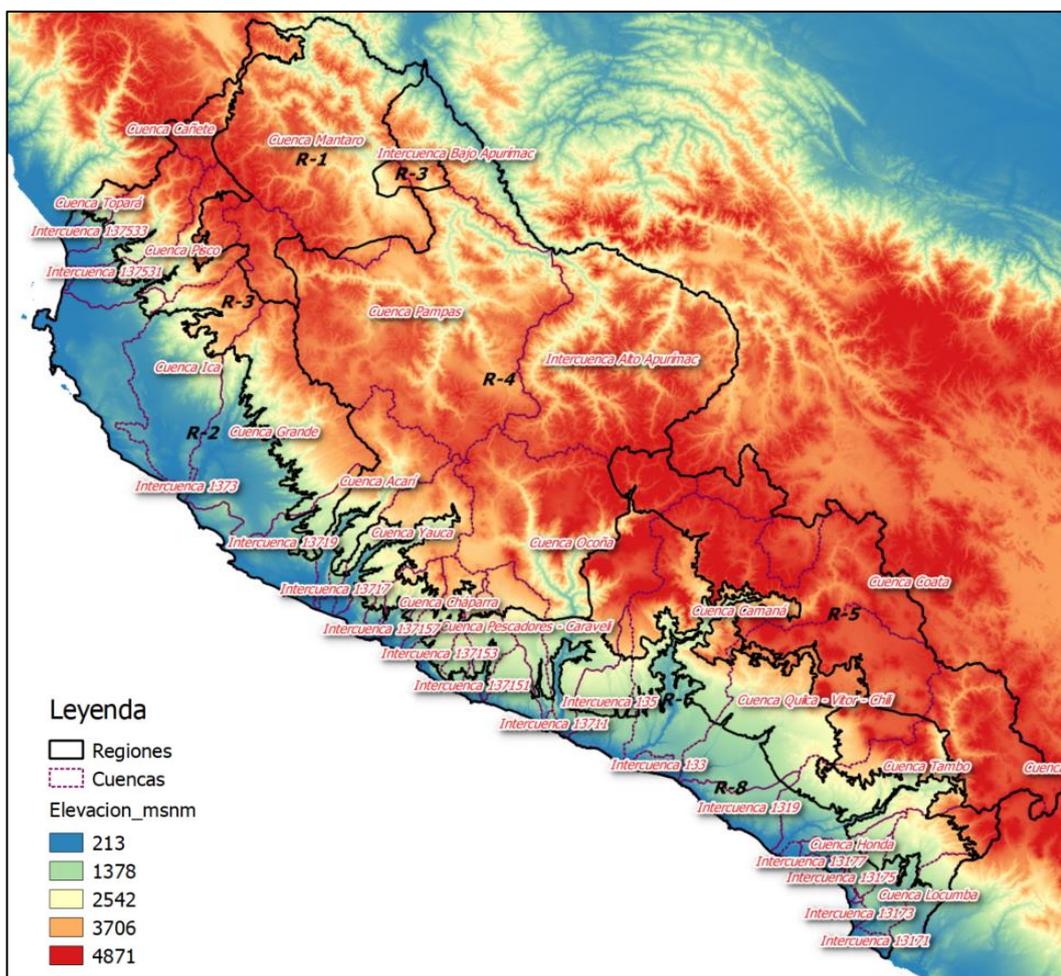


Figura N° 4-8 Modelo digital de elevación y cuencas principales en la zona de estudio  
 Fuente: Elaboración Propia

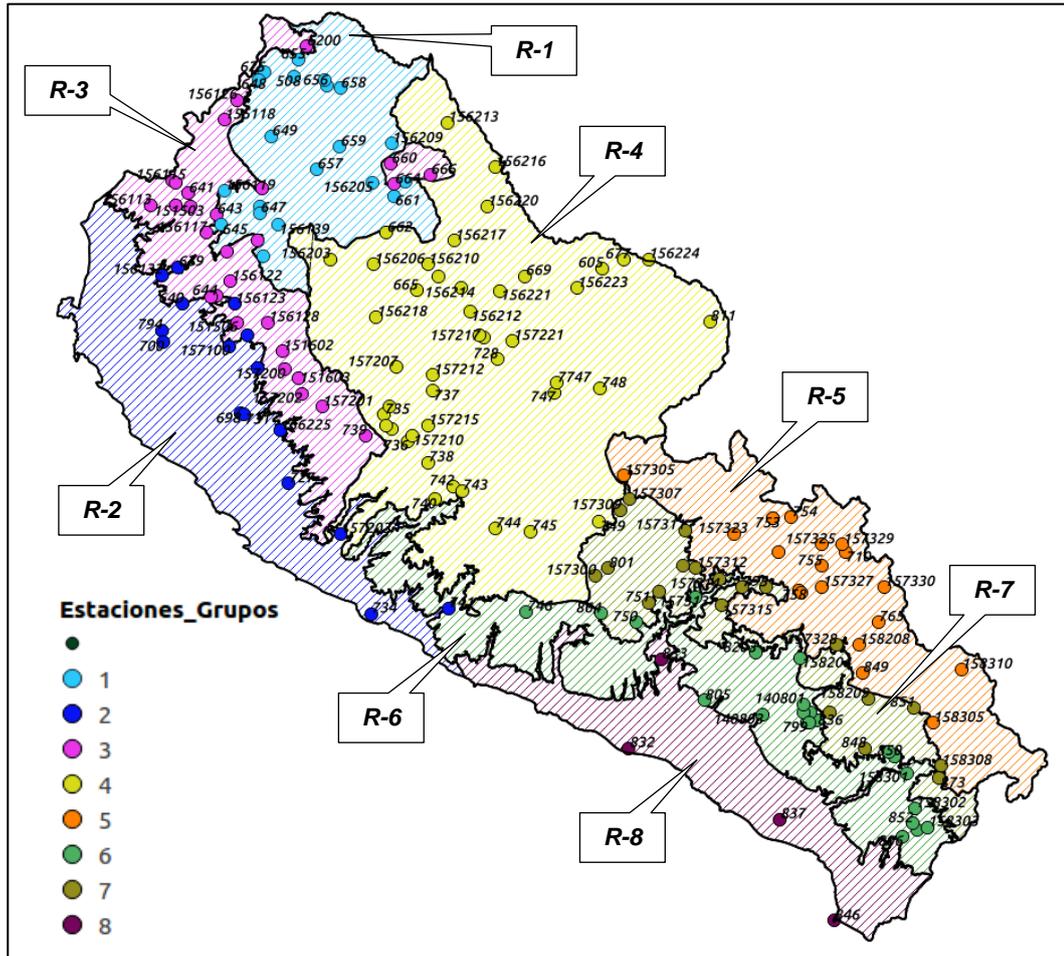


Figura N° 4-9 Regiones hidrológicas (8) definidas por el método ARF  
Fuente: Elaboración Propia

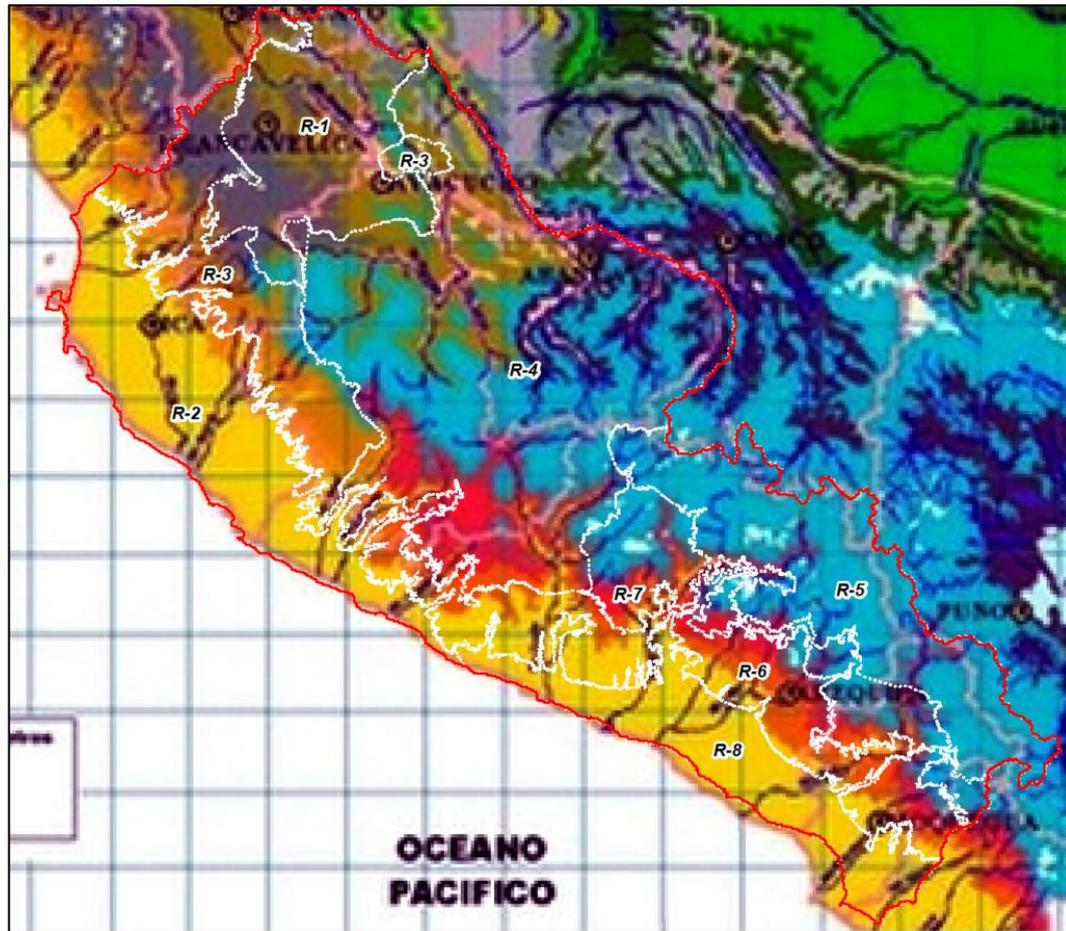


Figura N° 4-10 Regiones hidrológicas (8) y mapa climático según Werren Thornthwaite  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.2 Mapas de Índices de Tormenta

Los índices de tormenta (o momentos  $I_1$ ) fueron calculados en la ubicación de cada estación según los registros disponibles, sin embargo, se requiere estimar estos valores en toda la extensión del área de estudio, por lo que se recurrió a técnicas de interpolación espacial. A partir de dicho resultado y a los cuantiles regionales obtenidos se trazaron curvas de isoyetas de precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno.

El método geoestadístico de interpolación empleado es el Kriging a través de sus variantes: Kriging Ordinario y Co-Kriging. Aquí se escogió el Kriging debido a que este fue diseñado para ofrecer la mejor estimación lineal no sesgada de la variable de interés, es decir, aquí se minimiza la varianza del error de interpolación usando una relación estadística (a estimar), llamada

autocorrelación espacial o variograma (Szolgay et. al, 2009). Si bien existen otros métodos de interpolación de posible aplicación en las tesis tales como la Distancia Inversa Ponderada (IDW, por sus siglas en inglés) o los polígonos de Thiessen, la comparación entre distintos métodos de interpolación no forma parte de los alcances del presente estudio. Es oportuno señalar que, estudios llevados a cabo por Szolgay et. al (2009) y Gorricha et. al (2012) respecto a la aplicación de Kriging en estudios de precipitaciones máximas anuales justifican su uso debido a sus resultados satisfactorios.

#### 4.5.2.1 Kriging Ordinario (KO)

Este método de interpolación es el más usado comúnmente. Sirve para estimar el valor de interés en un punto sin registros de una región, para el cual se ha asumido un variograma. Para este método solo se requiere de los datos de la variable objetivo (en este caso, los índices de tormenta) en el entorno de la ubicación de interés (Wackernagel, 1995). El modelo de variograma se ha ajustado a través del paquete GSTAT V. 1.1-6 (Pedesma et. al, 2018), escrito para correrlo en R. Según los datos, estos se ajustarían mejor a un modelo de variograma esférico o exponencial.

#### 4.5.2.2 Co-Kriging (CK)

Este método permite incorporar, a la data considerada en el KO, una variable auxiliar (llamada comúnmente covariable). En el presente estudio esta covariable es la altitud ya que este atributo influye claramente sobre las precipitaciones tal como se indicó en el ítem 2.3.1.1. Se hace uso de la altitud debido a que se cuenta con estos datos en toda la extensión de la zona de estudio. Este método requiere que tanto la covariable (altitud) tenga las siguientes características (Rossiter, 2012):

1. Una correlación espacial con la variable objetivo, es decir, el índice de tormenta (en este caso el coeficiente de correlación entre la altitud y el índice de tormenta es 0.75, la cual se considera una buena correlación);

2. Una estructura espacial que se pueda modelar como una variable regional;
3. Una covarianza espacial con la variable objetivo.

#### 4.5.2.3 Comparación de Kriging Ordinario y Co-Kriging

Bajo la hipótesis de que la altitud es el principal factor influyente sobre el índice de tormenta, se realizó un proceso de modelamiento con KO y CK para corroborar, efectivamente, si la altitud mejora la calidad de la interpolación.

Con el fin de realizar una validación de los resultados después de aplicado el método, se procedió, en primer lugar, a tomar una sub-muestra de la muestra disponible (173 estaciones). Se consideró 87 estaciones para el modelamiento de la sub-muestra ubicada según se muestra en la Figura N° 4-11. Luego, se tuvo 86 estaciones que no se tomaron en cuenta para el modelamiento (datos extra), con los que posteriormente se realizó la validación. Cabe resaltar que en el caso de la interpolación CK se tomaron en cuenta las altitudes de las 173 estaciones pues estos datos están disponibles en cualquier caso.

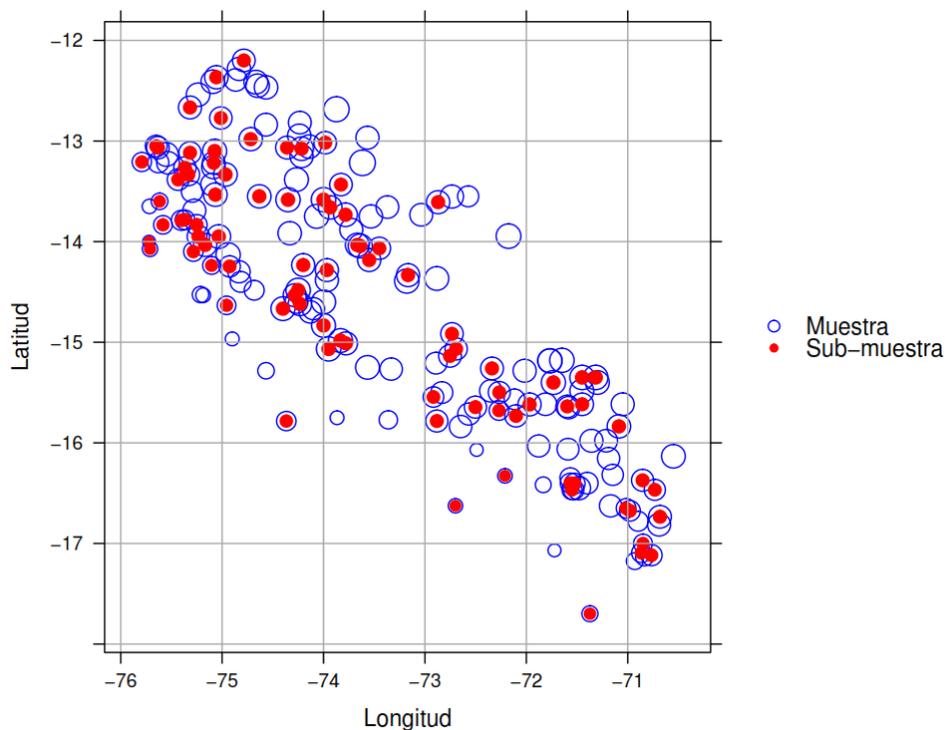


Figura N° 4-11 Ubicación de estaciones (muestra y sub-muestra)  
Fuente: Elaboración Propia

Con el fin de realizar la coregionalización se procedió a transformar los datos logarítmicamente con el fin de hacerlos comparables, ya que las ordenes de magnitud de las variables (índice de tormenta y altitud) son muy dispersos. Para la comparación de las predicciones se hizo la reconversión a sus valores originales, mientras que para la estimación de los errores estos se mantuvieron ya que estos mapas sirvieron solo para la inspección visual de los mismos.

Según los resultados obtenidos (ver Figura N° 4-12 y Figura N° 4-13) se puede decir, por inspección visual, que en los modelos usados (esférico y exponencial) las predicciones con CK ofrecen mejores resultados de acuerdo al mapa de errores en ambos casos. Sin embargo, la inspección visual no permite determinar si el modelo esférico o exponencial es el que mejor se ajusta a los valores reales. Por esta razón, se hizo la validación a través del cálculo de la raíz del error cuadrático (RMSE, por sus siglas en inglés) entre las predicciones y los datos extra; y la validación cruzada a través del cálculo de la RMSE entre los propios datos de la sub-muestra (se retira momentáneamente uno de los puntos y la predicción en ese punto se realiza con las 86 estaciones restantes). Los resultados se muestran en la Tabla N° 4-17.

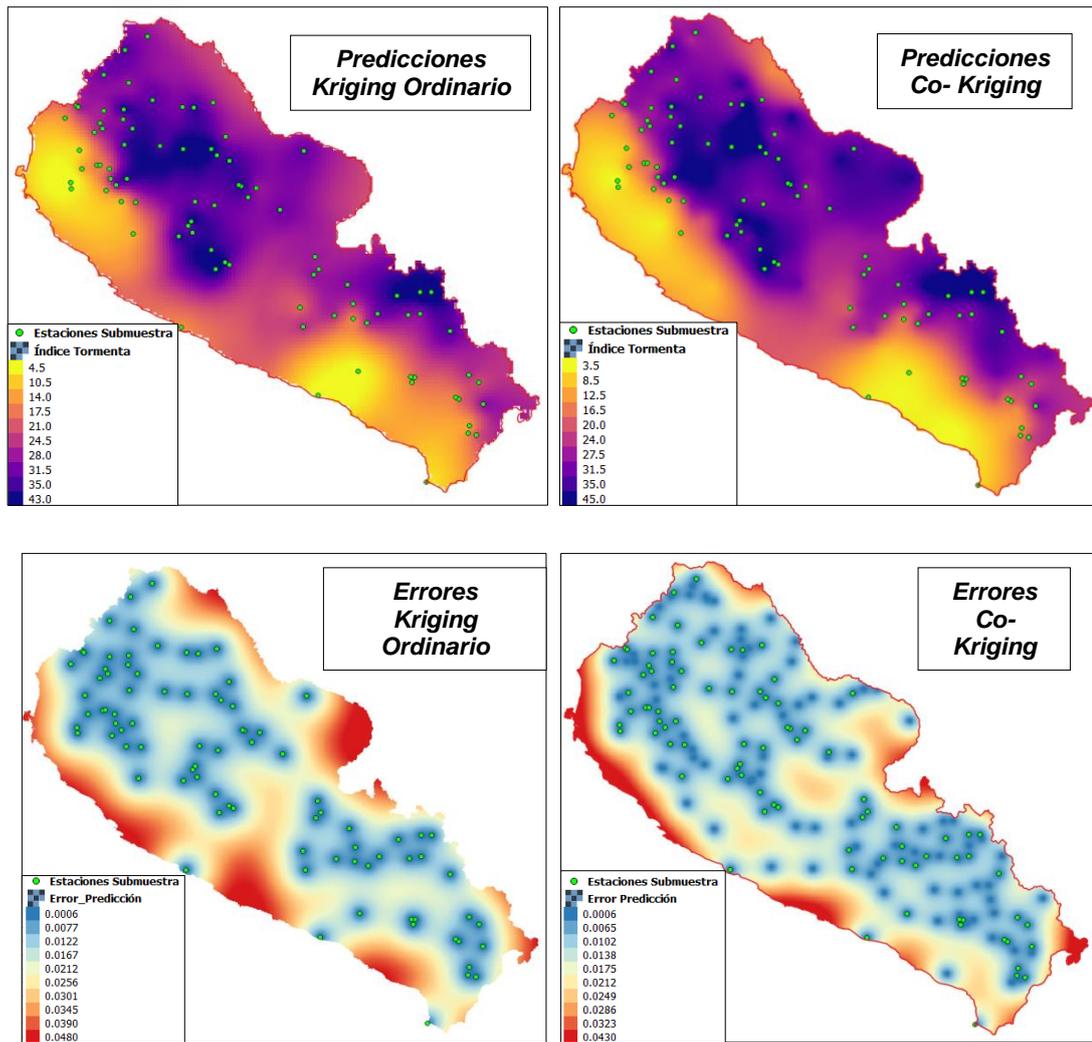


Figura N° 4-12 Predicciones (mm) y Errores de la interpolación Kriging con submuestra de Índices de Tormenta – Modelo Esférico  
Fuente: Elaboración Propia

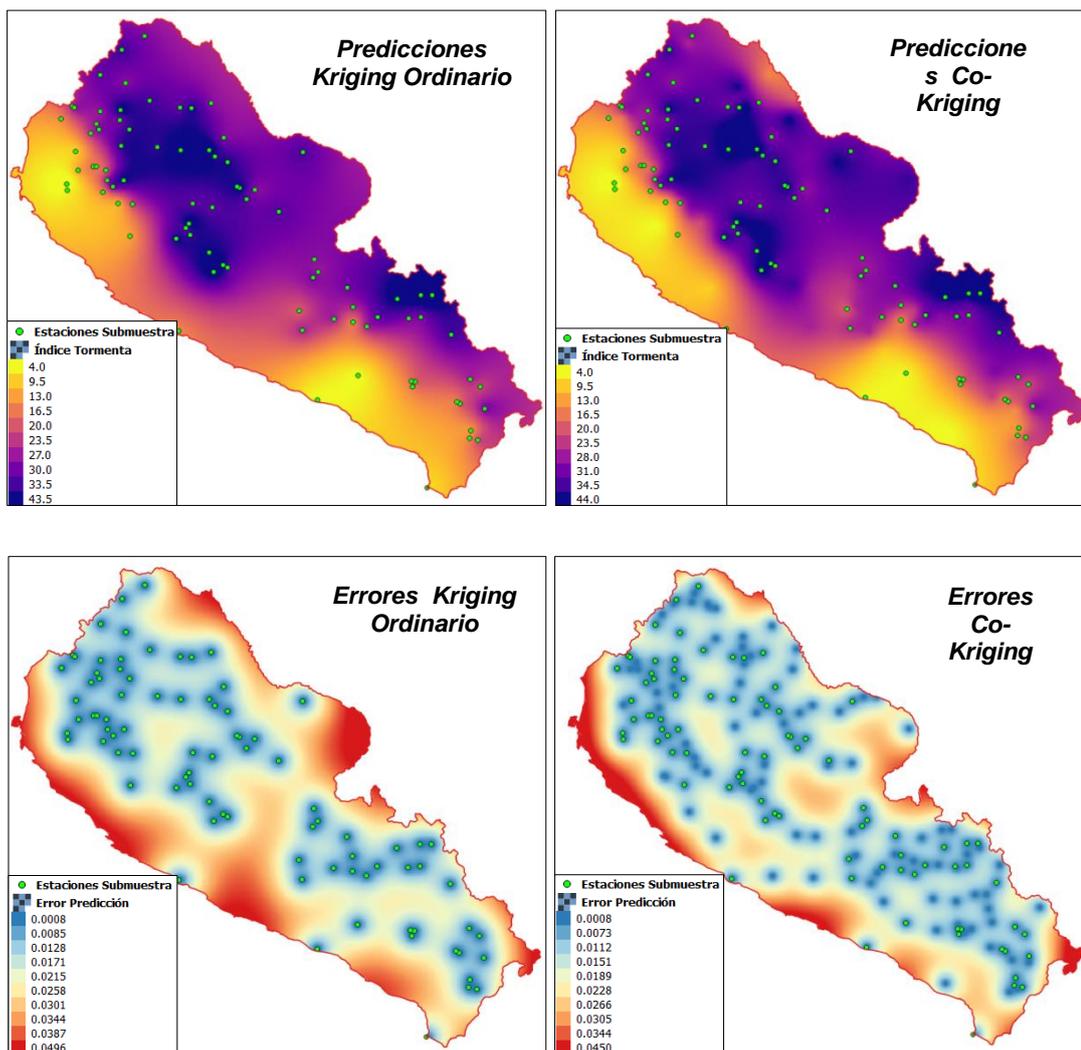


Figura N° 4-13 Predicciones y Errores de la interpolación Kriging con submuestra de índices de tormenta – Modelo Exponencial  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4-17 Resumen de validación (RMSE) de los modelos empleados (en mm)  
Fuente: Elaboración propia

Interpolación	Modelo Esférico		Modelo Exponencial	
	Validación	Validación Cruzada	Validación	Validación Cruzada
KO	5.6	5.6	5.3	5.6
CK	5.4	6.3	5.3	6.0

Según la Tabla N° 4-17, en general, se observa un mejor desempeño del modelo exponencial, sin embargo, en el caso de la validación cruzada los valores RMSE de la interpolación CK son mayores al KO. Esto se debe a la cantidad de puntos considerados en el modelamiento, ya que, según se ve en la Figura N° 4-14 (para el modelo exponencial), la validación cruzada presenta mayores diferencias en los valores extremos (mínimos y máximos) y valores similares del primer al tercer cuartil. Por lo tanto, se optó por el uso de la interpolación CK, modelo exponencial.

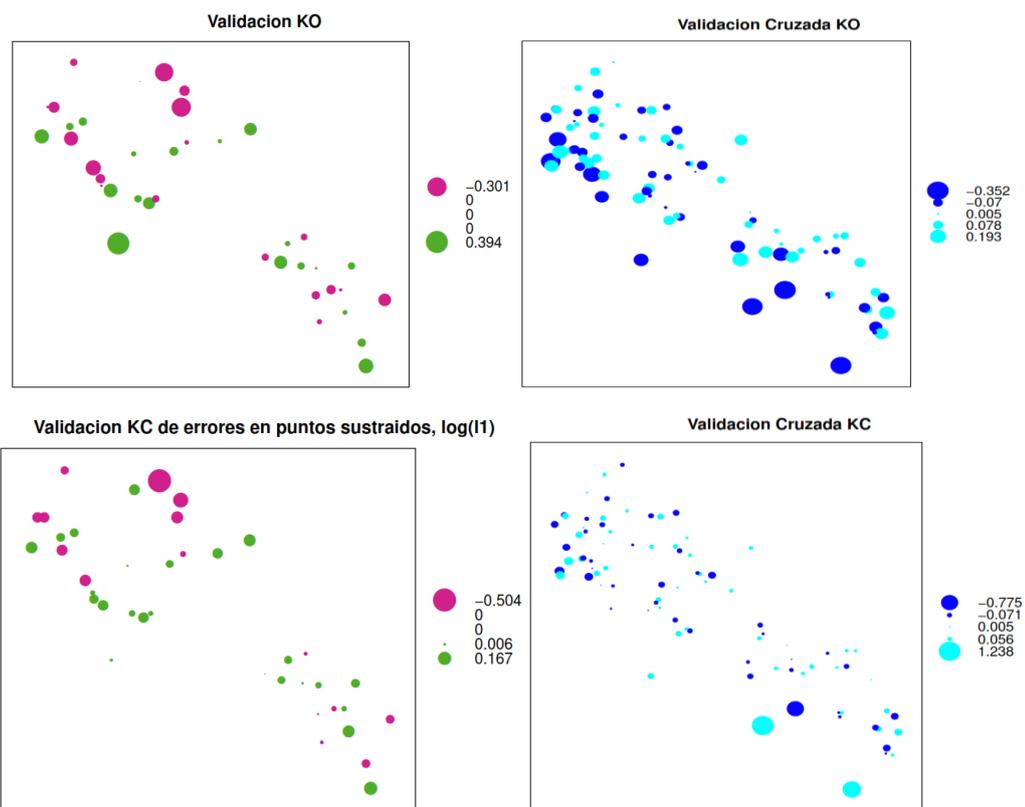


Figura N° 4-14 Validación y validación cruzada (I1 transformado logarítmicamente) en el modelo exponencial

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.2.4 Mapas de Índices de Precipitaciones Diarias Máximas para diferentes Periodos de Retorno

Finalmente, se elaboraron mapas de precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno (Figura N° 4-15 a la Figura N° 4-23) de acuerdo a los cuantiles regionales y la mejor distribución de frecuencia según el ítem 4.3, y la interpolación del índice de tormenta según el ítem anterior a través de la

multiplicación de los cuantiles regionales con los ráster generados según la interpolación CK.

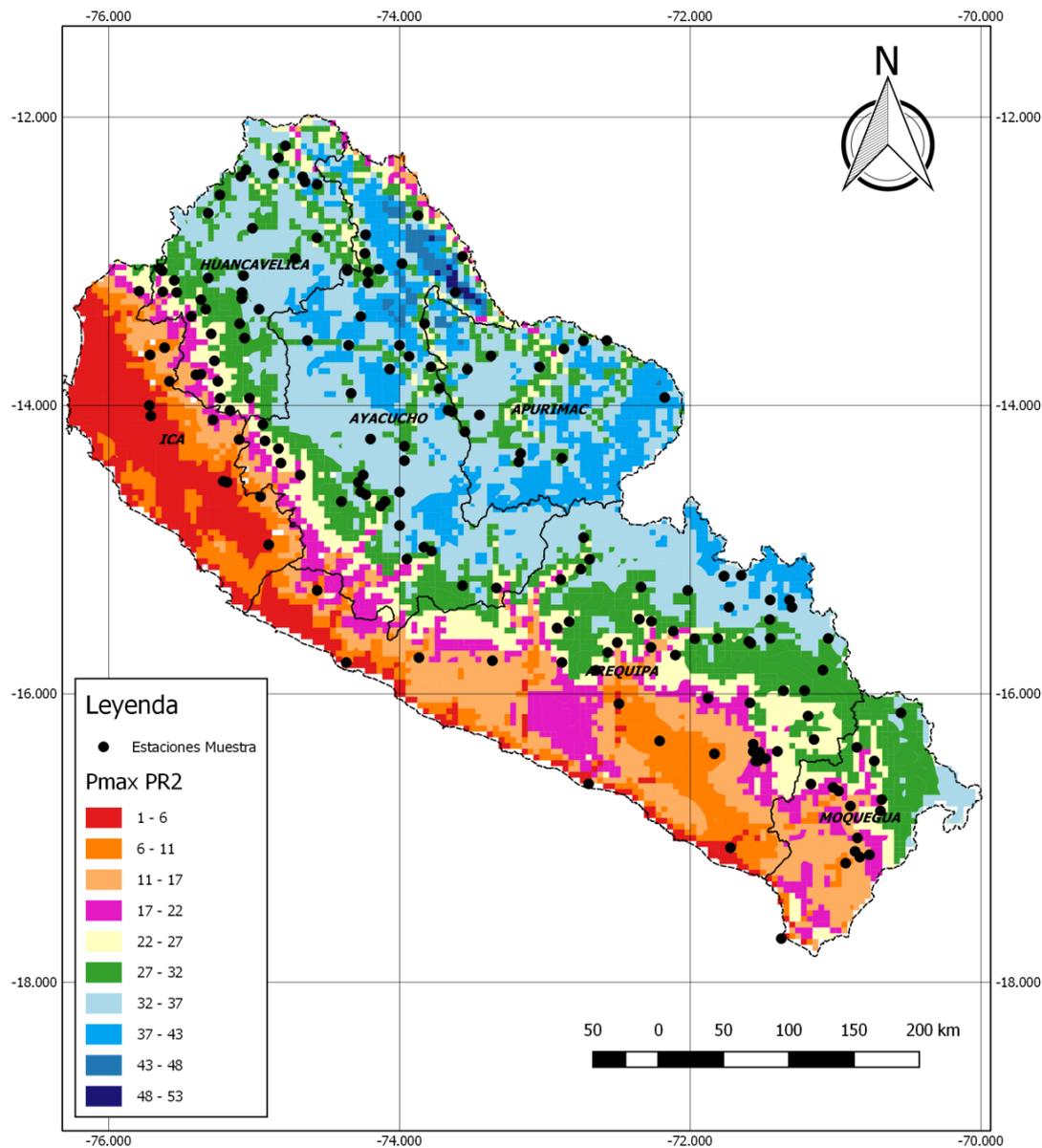


Figura N° 4-15 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 2 años

Fuente: Elaboración Propia

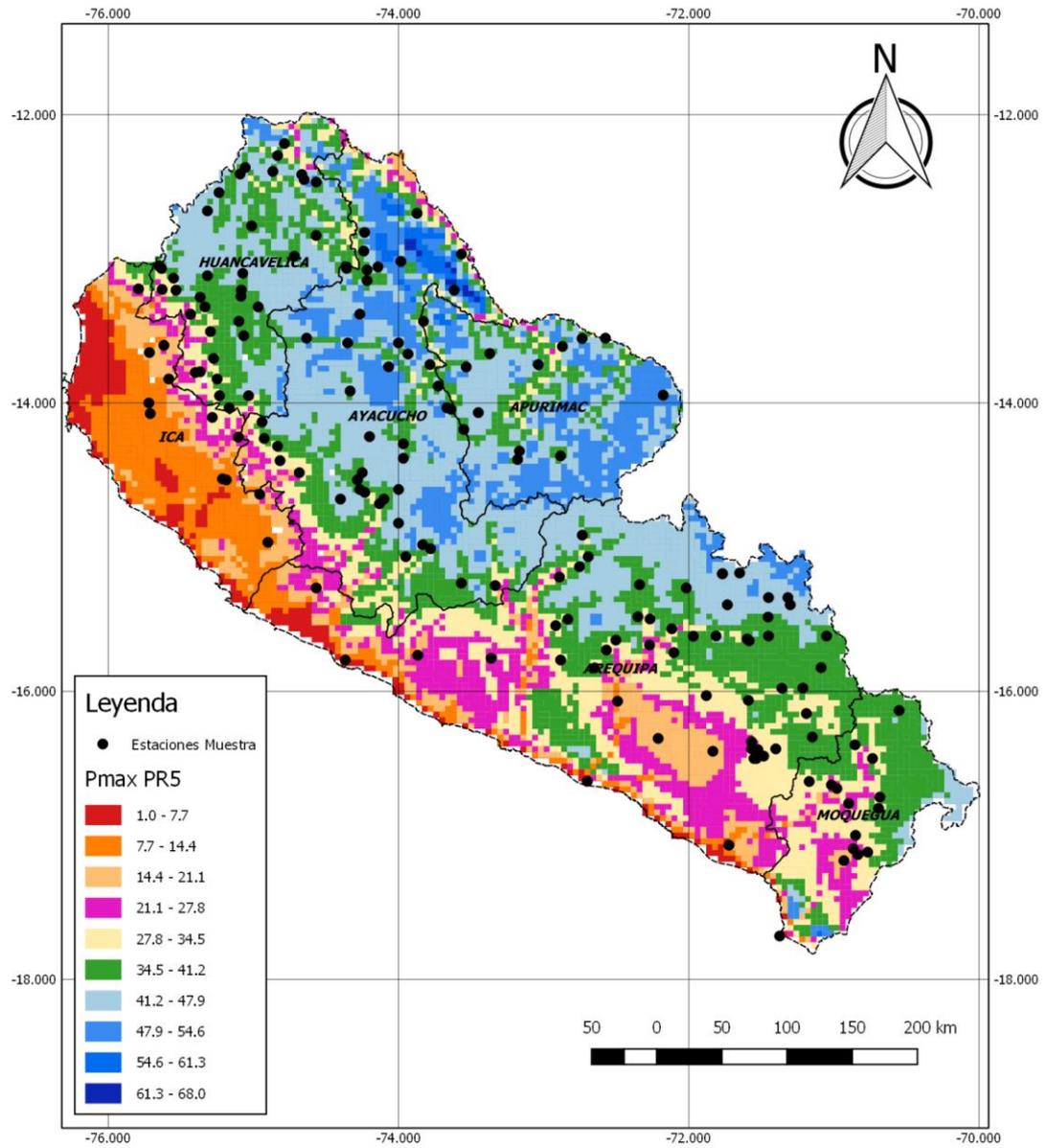


Figura N° 4-16 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 5 años

Fuente: Elaboración Propia

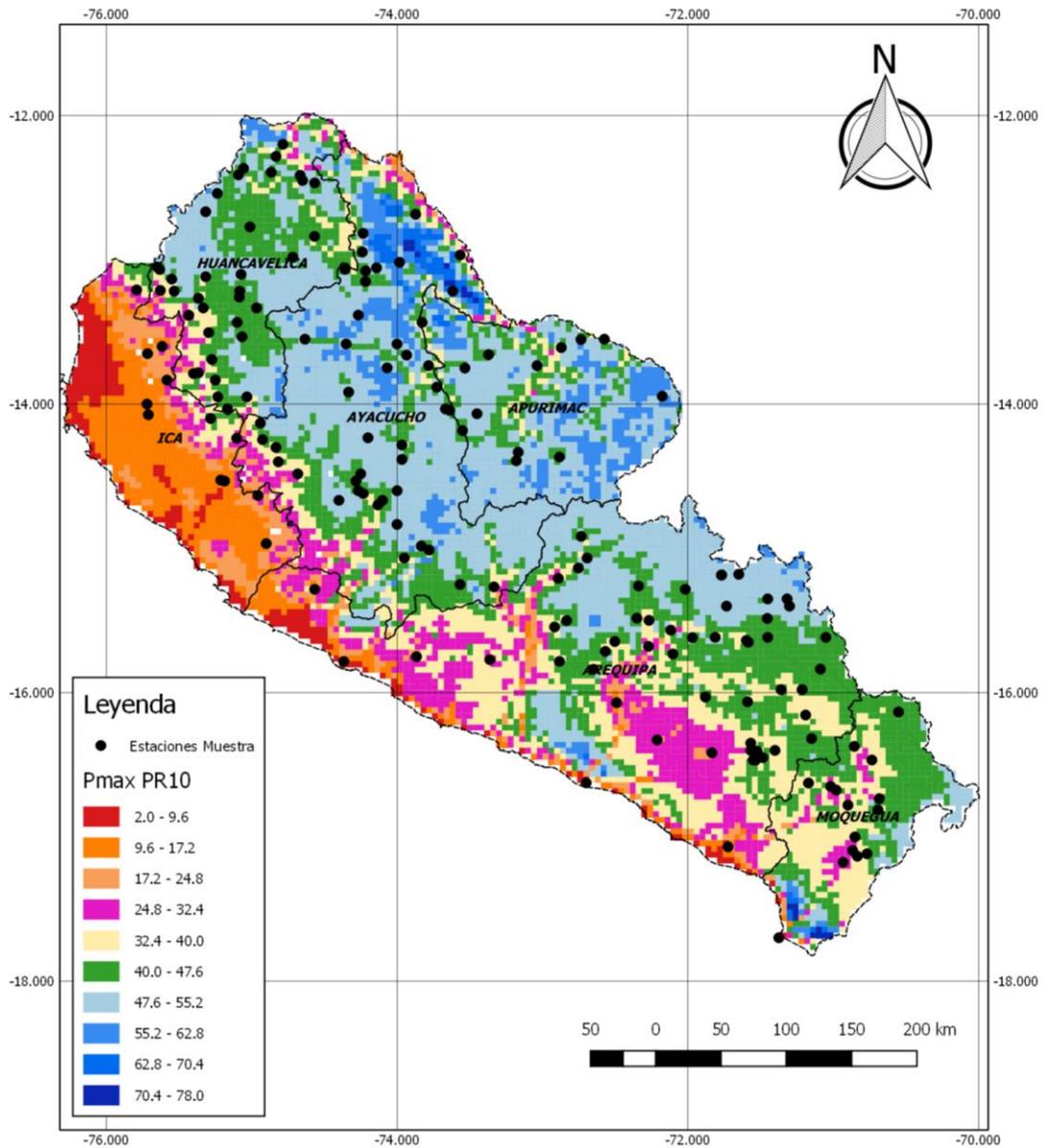


Figura N° 4-17 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 10 años  
Fuente: Elaboración Propia

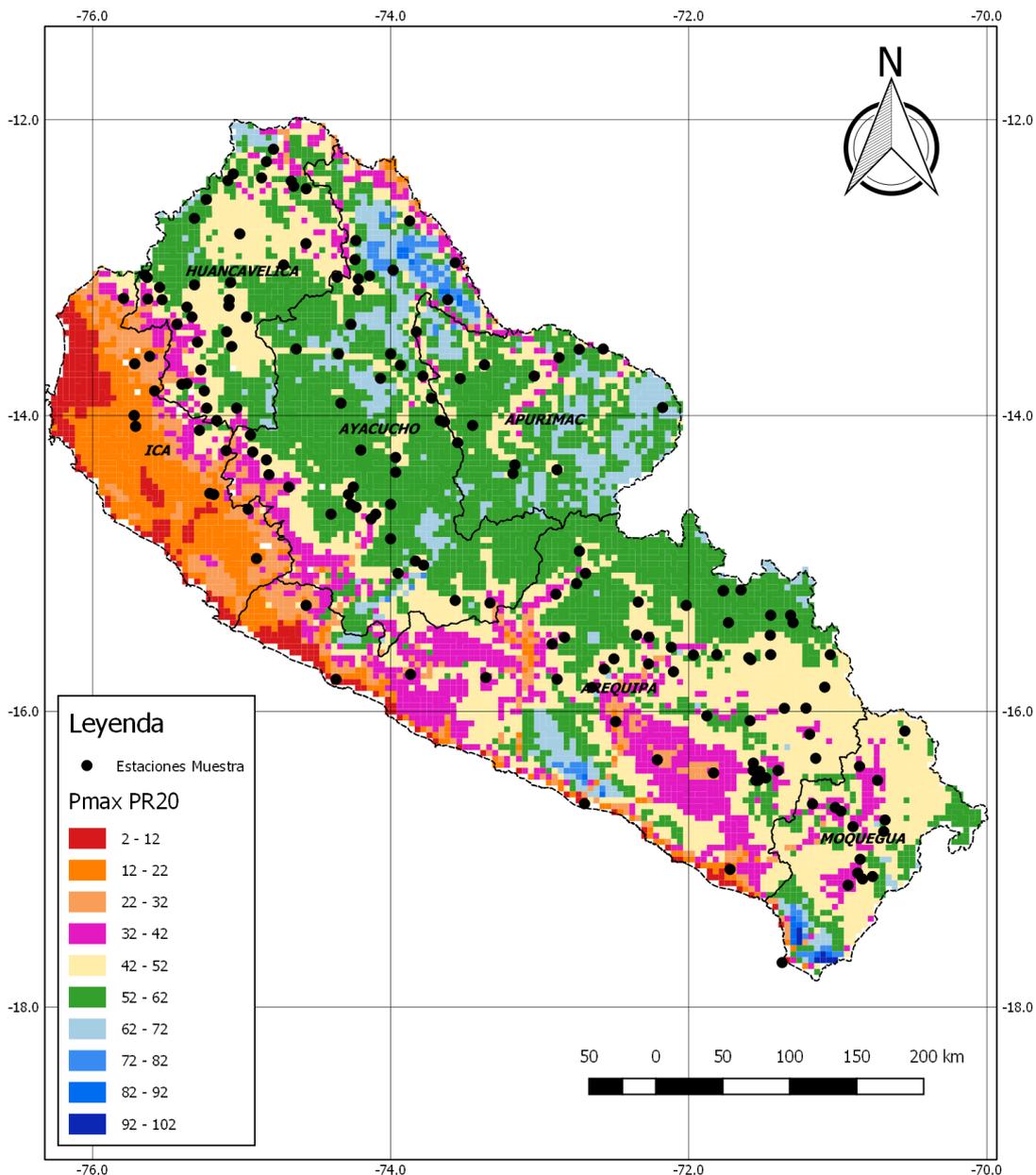


Figura N° 4-18 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 20 años

Fuente: Elaboración Propia

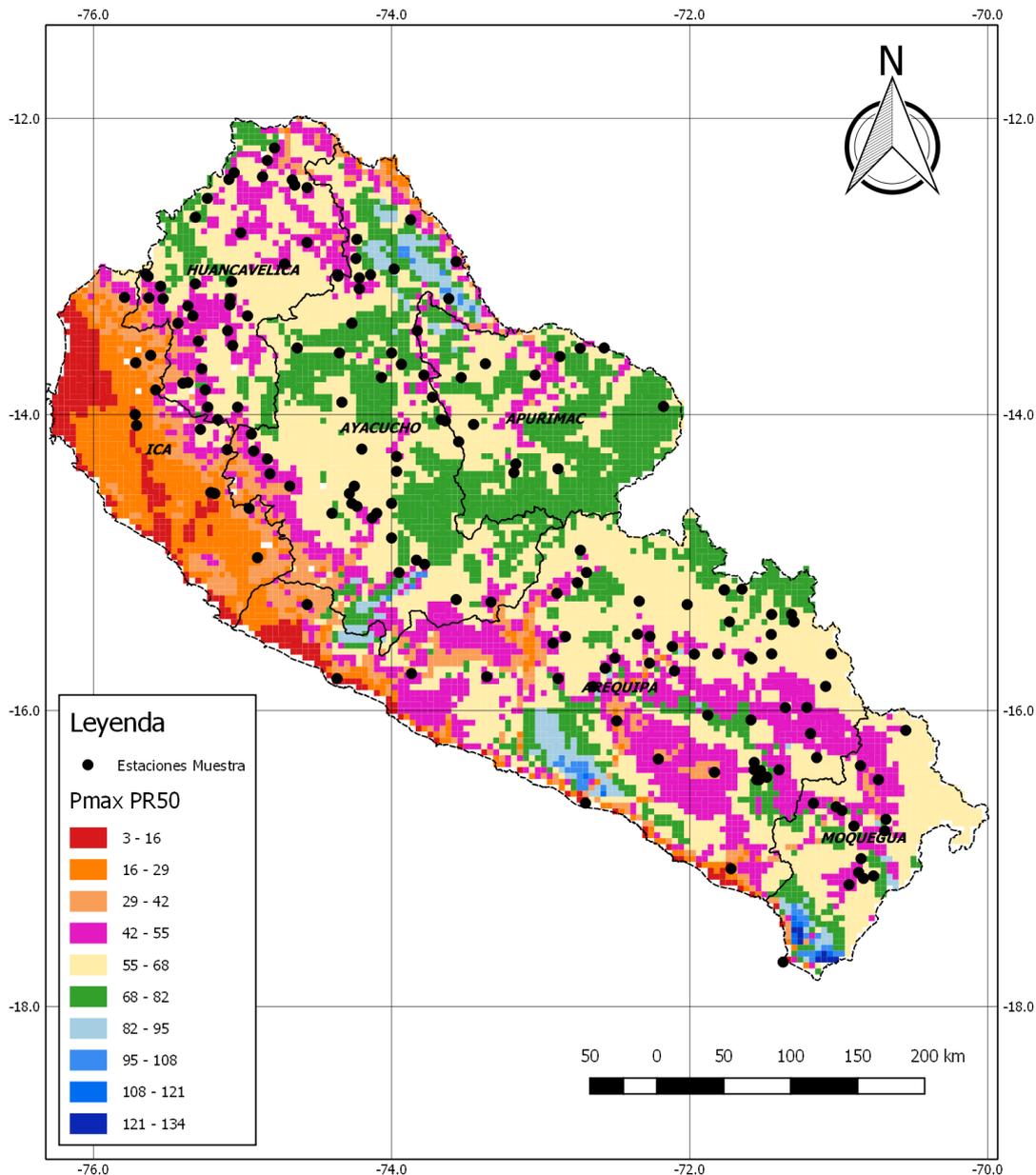


Figura N° 4-19 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 50 años  
 Fuente: Elaboración Propia

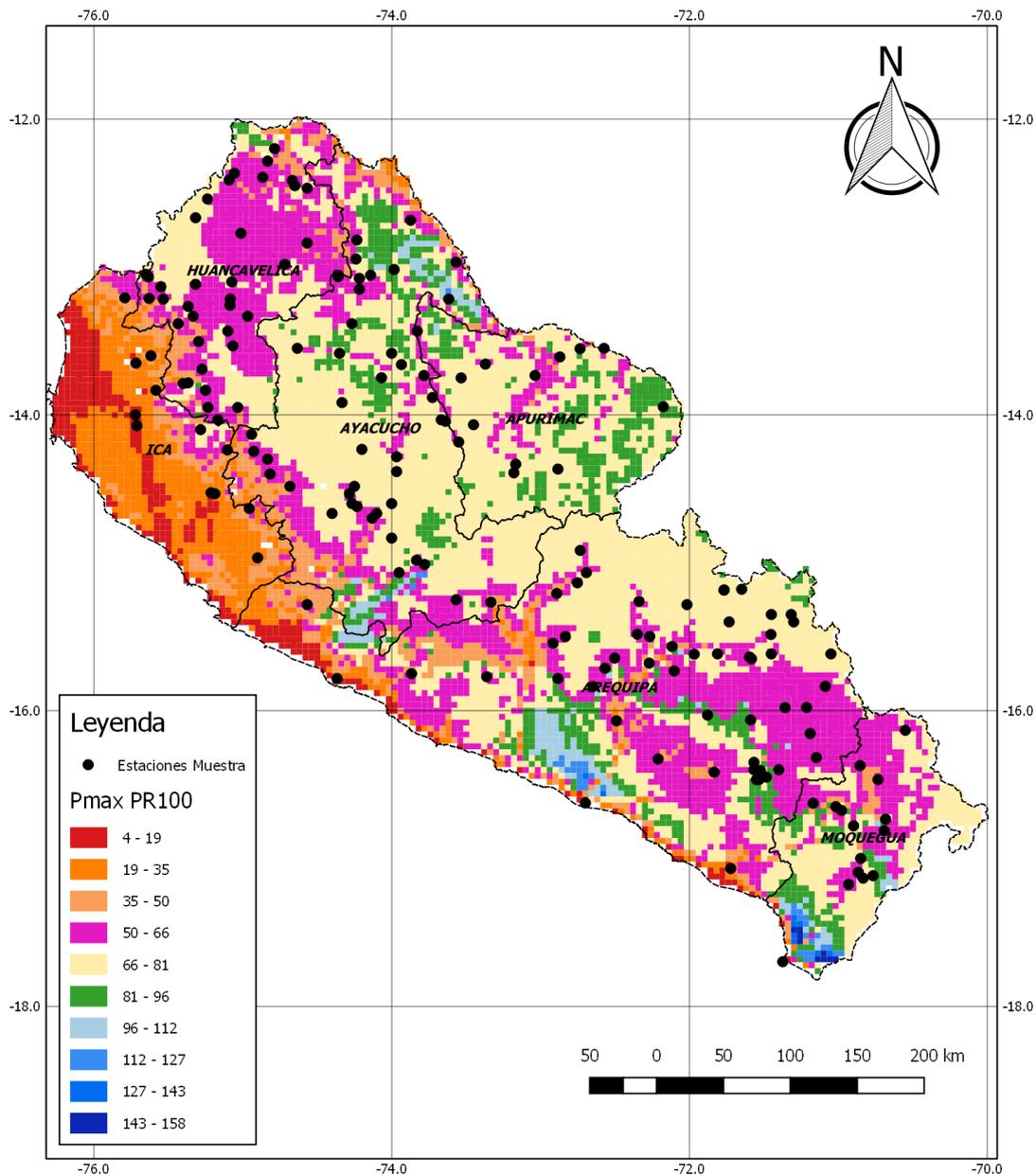


Figura N° 4-20 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 100 años

Fuente: Elaboración Propia

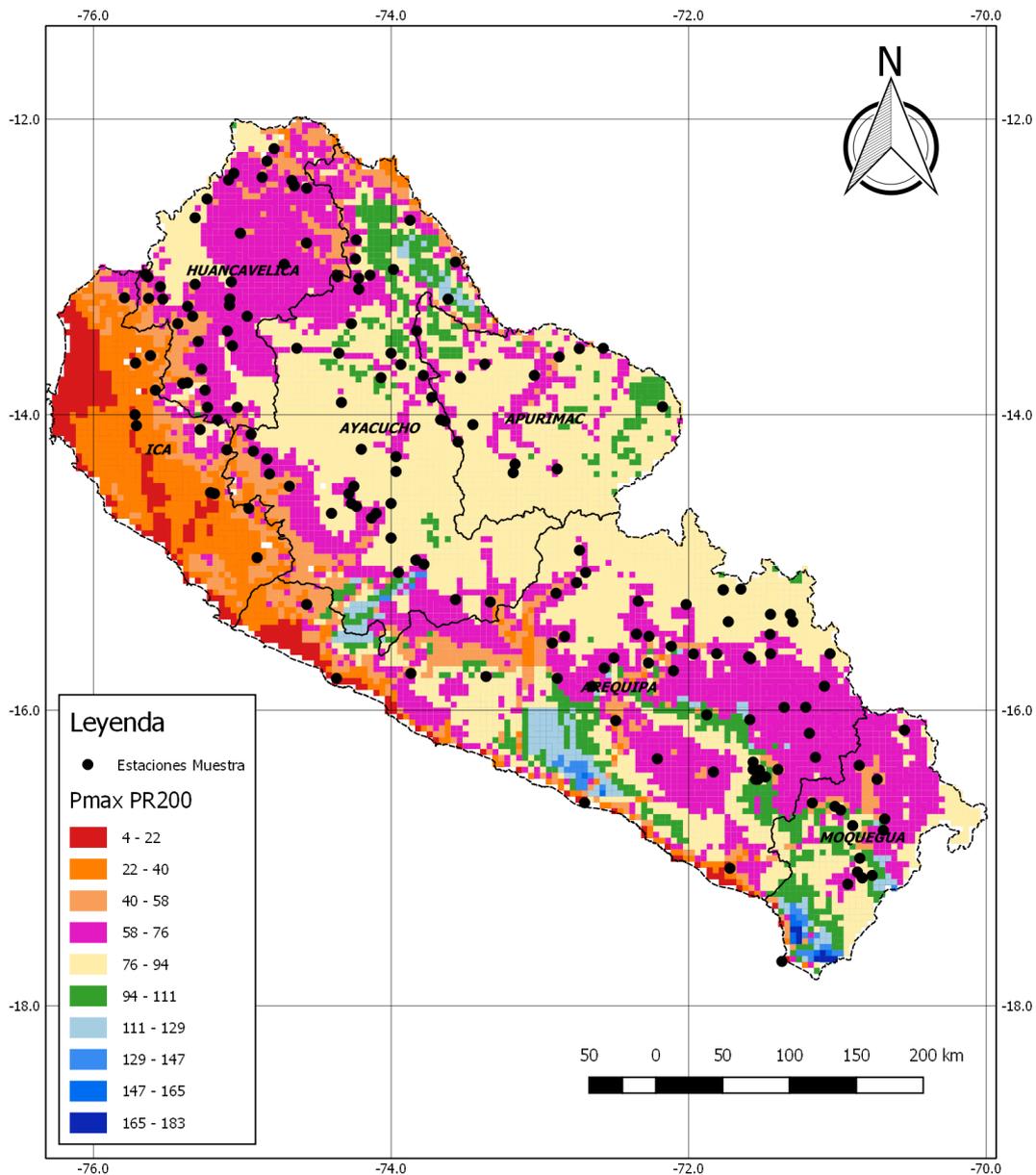


Figura N° 4-21 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 200 años  
 Fuente: Elaboración Propia

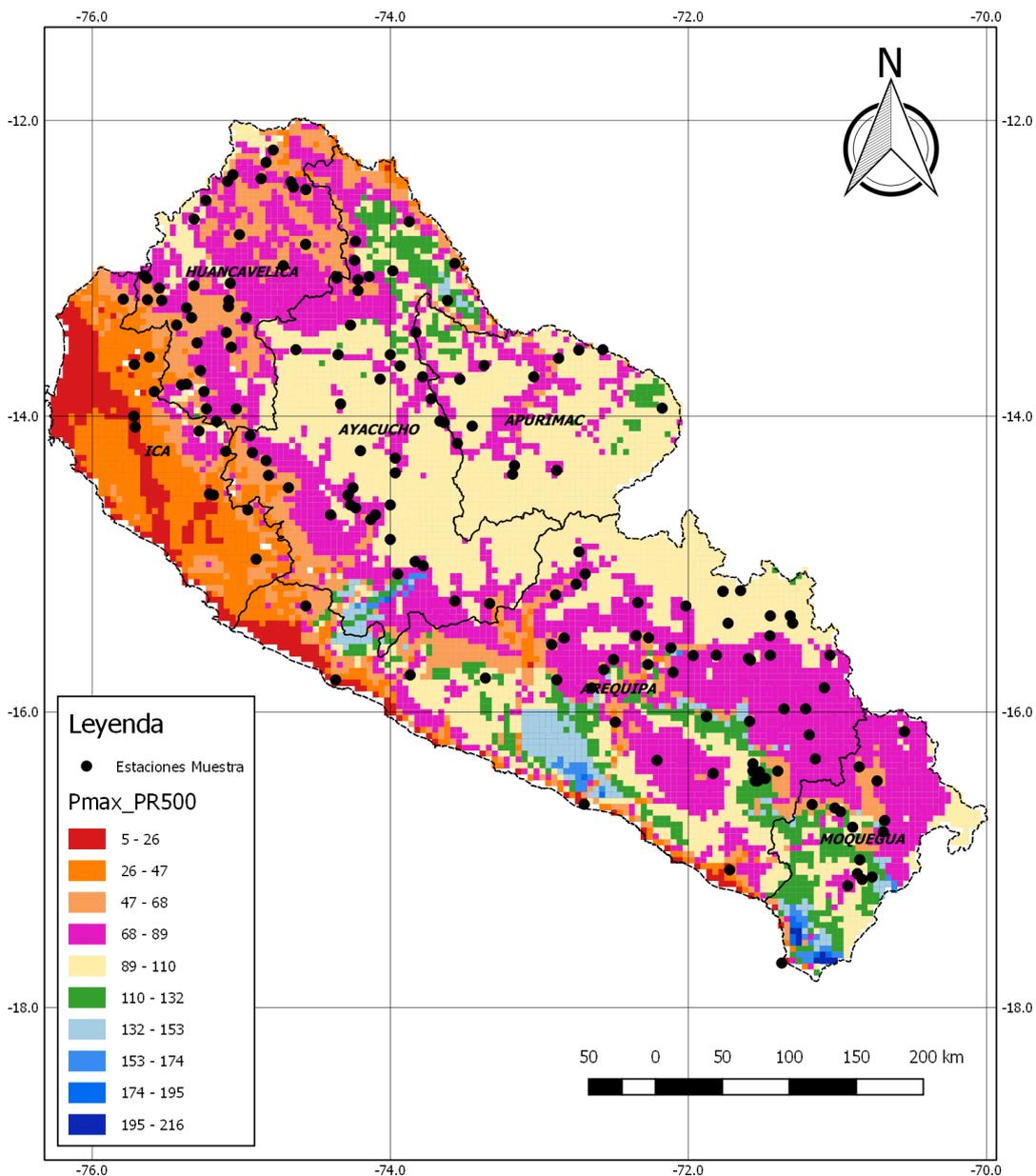


Figura N° 4-22 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 500 años

Fuente: Elaboración Propia

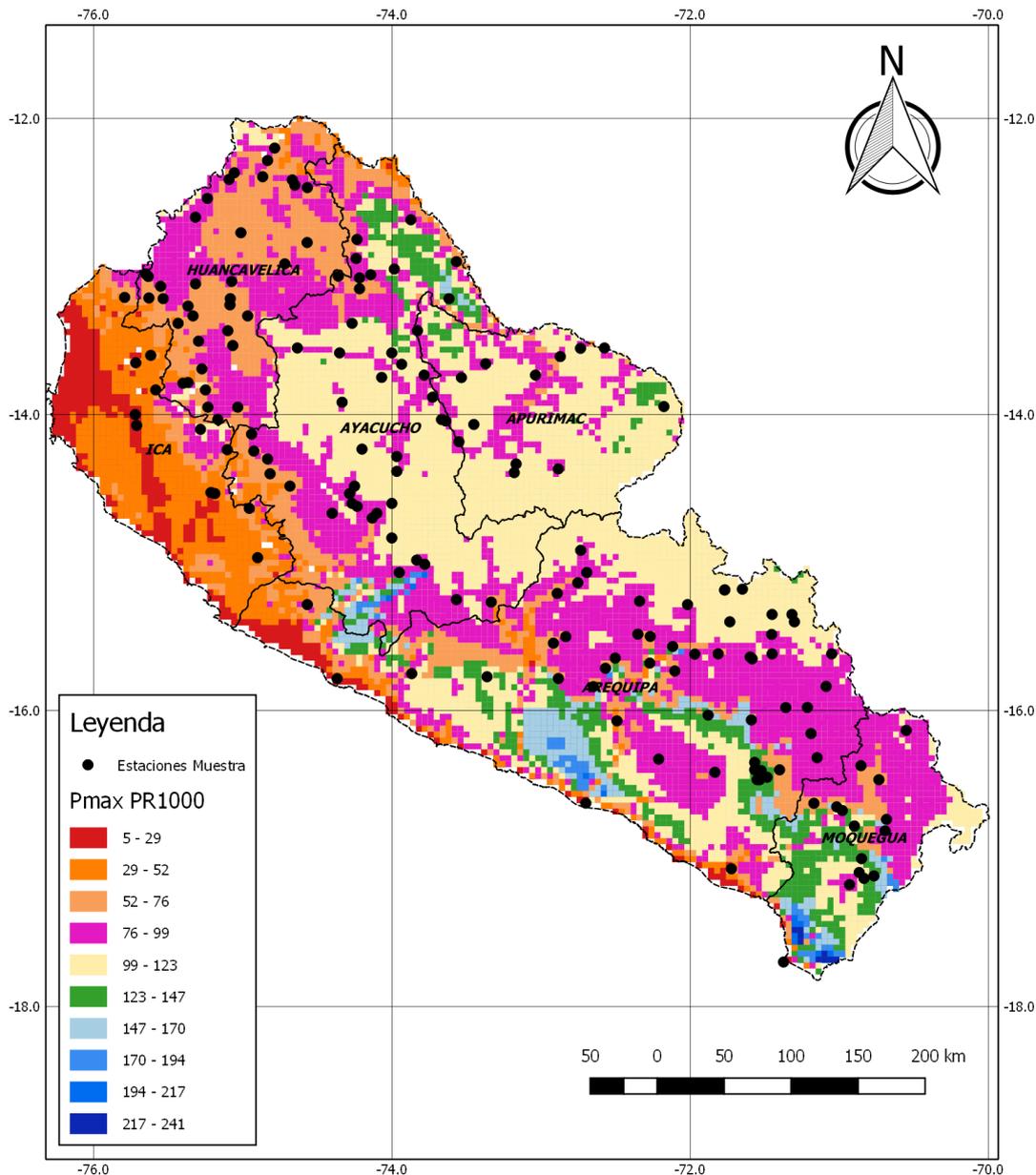


Figura N° 4-23 Isoyetas de precipitaciones máximas diarias, en mm, para un periodo de retorno de 1000 años  
 Fuente: Elaboración Propia

#### 4.6 Cuantiles Regionales Vs. Cuantiles Locales

Finalmente, se hallaron los cuantiles regionales a través de la interpolación en ocho ubicaciones seleccionadas, aleatoriamente, de acuerdo a las ocho regiones identificadas. Previo al proceso de interpolación (Co-Kriging), se eliminaron estas ocho estaciones del conjunto de datos para hallar los cuantiles en las ocho ubicaciones analizadas. Estos resultados se compararon, a modo de validación, con los cuantiles locales calculados según se describió en el ítem 4.4. Las ocho estaciones seleccionadas se muestran en la Tabla N° 4-18 y sus ubicaciones se muestran en la Figura N° 4-24 y Figura N° 4-25.

Tabla N° 4-18 Estaciones seleccionadas con fines comparativos  
Elaboración: Fuente Propia

R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
Túnel Cero	Copará	Acobambilla	Pecope	Visuyo	Omate	Orcopampa	Camaná

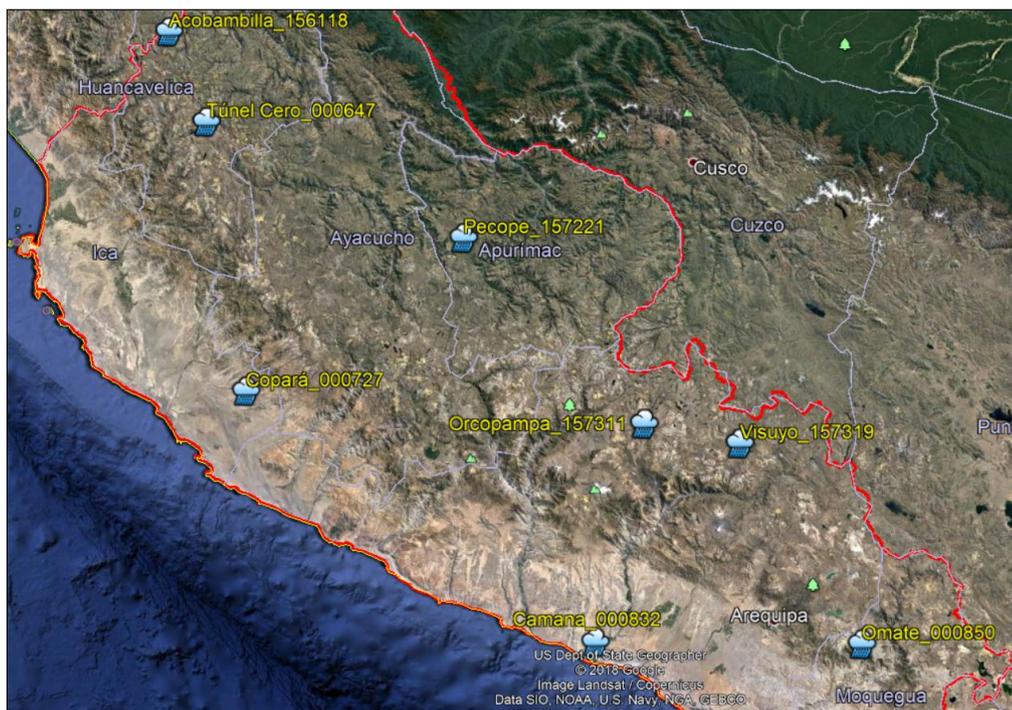


Figura N° 4-24 Imagen satelital con la ubicación de las ocho estaciones de análisis  
Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 4-25 Ubicación de las ocho estaciones de análisis y las regiones a las que pertenecen

En la Tabla N° 4-19 se muestran los valores obtenidos a través de cuantiles locales (ítem 4.4) y del ARF, por medio de la interpolación Co-Kriging.

Tabla N° 4-19 Comparación de cuantiles para diferentes periodos de retorno, en mm, según un análisis local y el ARF  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Túnel Cero 000647 (R-1)				Copara 000727 (R-2)			
	Local	ARF	Delta	Delta	Local	ARF	Delta	Delta
2	34	32	-2	-6%	5	9	4	80%
5	42	40	-2	-5%	8	16	8	100%
10	47	44	-3	-6%	10	21	11	110%
20	52	49	-3	-6%	13	26	13	100%
50	57	54	-3	-5%	16	33	17	106%
100	61	58	-3	-5%	18	38	20	111%
200	65	62	-3	-5%	20	42	22	110%
500	70	66	-4	-6%	24	49	25	104%
1000	74	70	-4	-5%	26	53	27	104%

PR	Acobambilla 156118 (R-3)				Pecope 157221 (R-4)			
	Local	ARF	Delta	Delta	Local	ARF	Delta	Delta
2	30	34	4	14%	27	38	11	42%
5	41	47	6	14%	34	48	14	41%
10	49	56	7	15%	39	55	16	42%
20	55	63	8	14%	44	62	18	41%
50	64	73	9	15%	51	72	21	41%
100	70	80	10	15%	57	80	23	40%
200	76	86	11	14%	64	89	25	40%
500	83	95	12	15%	73	103	30	40%
1000	88	101	13	15%	82	115	33	41%

PR	Visuyo 157319 (R-5)				Omate 000850 (R-6)			
	Local	ARF	Delta	Delta	Local	ARF	Delta	Delta
2	38	37	-1	-2%	16	15	-1	-6%
5	47	46	-1	-1%	28	26	-2	-8%
10	53	52	-1	-2%	38	34	-4	-11%
20	60	58	-2	-3%	49	44	-5	-10%
50	70	68	-2	-2%	64	57	-7	-11%
100	78	76	-2	-2%	77	69	-8	-11%
200	87	85	-2	-3%	91	81	-10	-11%
500	102	99	-3	-3%	112	99	-13	-11%
1000	114	111	-3	-3%	129	114	-15	-11%

PR	Orcopampa 157311 (R-7)				Camaná 000832 (R-8)			
	Local	ARF	Delta	Delta	Local	ARF	Delta	Delta
2	28	28	0	-1%	4	2	-2	-50%
5	39	38	-1	-2%	8	4	-4	-52%
10	46	45	-1	-1%	12	5	-7	-58%
20	52	51	-1	-2%	15	6	-9	-61%
50	60	59	-1	-2%	20	8	-12	-60%
100	66	65	-1	-2%	24	10	-14	-58%
200	72	71	-1	-2%	28	11	-17	-60%
500	80	79	-1	-1%	33	13	-20	-60%
1000	86	84	-2	-2%	37	15	-22	-59%

Las estaciones Copará, Pecope y Camaná pertenecientes a las regiones R-2, R-4 y R-8 respectivamente, son las que presentan diferencias desde el 40% respecto a los cuantiles locales. Esto se debería, principalmente, a la influencia del número de estaciones cercanas a la ubicación de estudio. Según la Tabla N° 4-20, las regiones R-2, R-4 y R-8 son las que presentan mayores distancias

entre estaciones, como por ejemplo, en el caso de la región R-8, que presenta una estación cada 3655 km<sup>2</sup> (60 km x 60 km), en promedio.

Tabla N° 4-20 Densidad de estaciones por Región  
Fuente: Elaboración Propia

<b>Región</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Número de Estaciones</b>	<b>01 estación por el área en km<sup>2</sup></b>
R-1	17,605	20	880
R-2	22,827	16	1427
R-3	18,075	28	645
R-4	57,873	44	1315
R-5	22,473	19	1183
R-6	20,747	22	943
R-7	12,732	20	637
R-8	14,619	4	3655

## CAPÍTULO V: REGIÓN DE INFLUENCIA

El método de la Región de Influencia (RI) es una alternativa al ARF. El objetivo es definir para cada zona de interés una región determinada que contenga datos agrupados de aquella región para estimar la distribución de frecuencia en la zona de interés. Por lo tanto, no se requiere delimitar regiones a priori ya que cada zona de interés tendrá su propia región (Hosking y Wallis, 1997).

El método de la RI fue introducido por Burn (1990). Según este método, no es necesario agrupar sitios en regiones establecidas sino definir las regiones de una manera flexible. Según este método, cada sitio puede tener su propia región, que es un conjunto único suficiente de estaciones similares, desde la cual la información de precipitación extrema es transferida al sitio de interés (Gaál et al., 2008). A este conjunto de estaciones se les denominará “estaciones agrupadas”.

Los cálculos se hicieron a través del paquete ImomRFA V. 3.1 (Hosking, 2017), el cual incorpora funciones en R para el análisis regional basado en momentos L. Este paquete implementa los métodos expuestos en el libro “Regional frequency analysis: an approach base on L – moments” (Hosking y Wallis, 1997), los cuales se trataron en el Capítulo II. En la Figura N° 5-1 se muestra el procedimiento respectivo del método. Cabe resaltar que el análisis exploratorio de datos ya se realizó en el capítulo anterior.

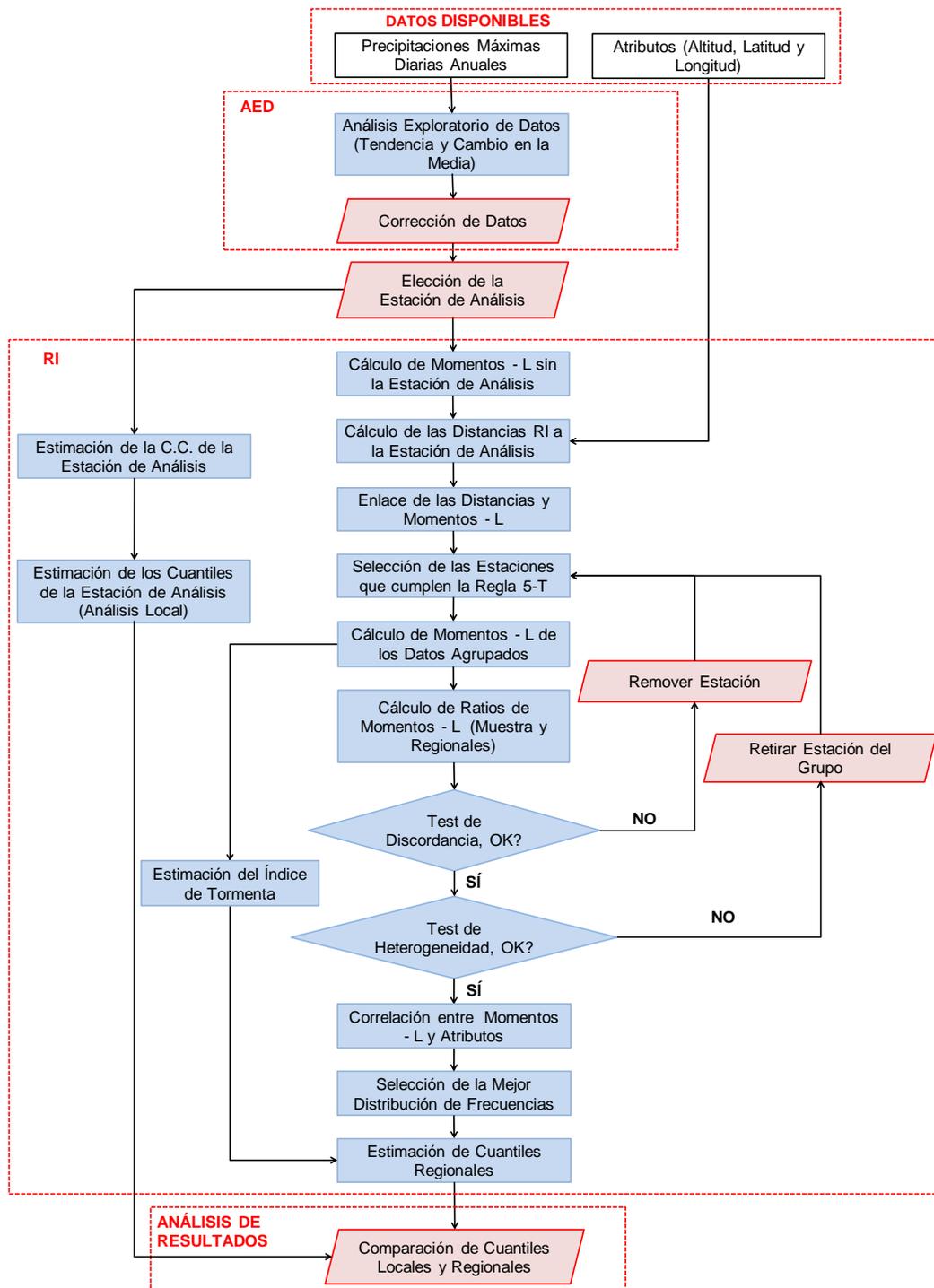


Figura N° 5-1 Procedimiento empleado en el método RI  
Fuente: Elaboración Propia

### 5.1 Determinación de Estaciones Agrupadas

Con el fin de determinar las estaciones que formarán parte de la región de influencia (RI) de un sitio determinado o estación de estudio, se partió, en este estudio, de la premisa que la distribución de frecuencias de precipitaciones extremas está vinculada a las características geográficas tales como la altitud, longitud y latitud, llamadas atributos, tal como se realizó en el caso del ARF.

La similitud de las estaciones con respecto a la estación de estudio se basa en un análisis de agrupamiento basada en la distancia, la cual se define como

$$D_{ij} = \left[ \sum_{m=1}^M W_m (X_m^i - X_m^j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde  $D_{ij}$  es la distancia ponderada euclideana entre los sitios  $i$  y  $j$ ,  $W_m$  es el peso asociado al atributo del sitio  $m$ ,  $X_m^i$  es el valor del atributo  $m$  en el sitio  $i$  y  $M$  es el número de atributos. Para la formación de la RI se procede de la siguiente manera: Primero, el sitio con el menor valor del conjunto de  $D_{ij}$ ,  $j = 1, \dots, N$  ( $N$  es el número de sitios o estaciones considerados) es agregado a la RI para el sitio  $i$ . Luego, el siguiente sitio con el segundo menor valor de  $D_{ij}$  es agregado a la RI para el sitio  $i$ . Los sitios son sucesivamente agrupados en el RI hasta que se satisfaga la “regla 5T” propuesto por Jakob et al. (1999). Este requiere que la longitud del registro debe ser por lo menos 5 veces el periodo de retorno para una estimación confiable del cuantil correspondiente al periodo de retorno  $T$ . Por lo tanto, se agrupan sitios o estaciones cuyos registros unidos cumplan con la regla 5T, siendo el tamaño del grupo  $N_T$  (Gaál et al., 2008).

Una vez que se han formado el grupo que cumple con la regla 5T, a este se le evalúa a través del criterio de homogeneidad de Hosking y Wallis (1997), es decir, la región es considerada “aceptablemente homogénea” si  $H < 1$ , “posiblemente heterogénea” si  $1 \leq H \leq 2$  y “definitivamente heterogénea” si  $H \geq 2$ . Además, las estaciones agrupadas deben cumplir con la prueba de discordancia respecto a la estación de estudio.

Por lo tanto, se deben cumplir tres requerimientos: se debe cumplir la regla 5T, la prueba de discordancia y el criterio de homogeneidad. La determinación de estaciones agrupadas es un proceso iterativo, para el cual se usó el siguiente procedimiento:

- Inicialmente, las estaciones agrupadas, de tamaño  $N_T$ , consisten en todas aquellas que cumplen con la regla 5T. Si este grupo es homogéneo no hay necesidad de realizar más iteraciones, siendo el tamaño del grupo  $N_T$ .
- Si el grupo inicial es heterogéneo, se elimina aquella estación con mayor discordancia y se agrega aquella que esté más cerca de la estación de estudio (según la distancia  $D_{ij}$ ), y cumpliendo con la regla 5T. Se realiza esta iteración hasta que se encuentre un grupo homogéneo ( $H < 2$ ).

## 5.2 Estimación de Cuantiles Regionales

Para el cálculo de las precipitaciones de diseño para diferentes periodos de retorno, se requiere estimar el índice de tormenta. En este análisis, el índice de tormenta se calculó a través de un modelo multiregresional el cual está en función de los atributos seleccionados y divididos según la altitud, altitud y latitud, altitud y longitud y finalmente altitud, latitud y longitud. El procedimiento usado es el siguiente:

- Identificación de grupo de estaciones homogénea o RI de la estación de estudio (determinado según el ítem anterior).
- Selección de una adecuada distribución de frecuencia a ser usado como el modelo teórico de la región de influencia según los criterios de Hosking y Wallis (1997) y contenidos en el paquete ImomRFA.

## 5.3 Resultados

Se aplicó el método para la ubicación de las ocho estaciones seleccionadas en el ítem 4.6 (ver Figura N° 4-25), para lo cual, se procedió a retirar la estación de estudio del conjunto de estaciones disponibles. Estos resultados se compararon, a modo de validación, con los cuantiles locales calculados según se describió en

el ítem 4.4. Las ocho estaciones seleccionadas, aleatoriamente, se muestran en la Tabla N° 4-18 y sus ubicaciones se muestran en la Figura N° 4-24 y Figura N° 4-25.

### 5.3.1 Túnel Cero

En la Figura N° 5-2 se muestra, a modo de ejemplo, las precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Túnel Cero para el periodo de retorno de 100 años así como las distribuciones de frecuencia de mejor ajuste, los valores empíricos (análisis local) y estimados (análisis regional). Las curvas de distribución para los periodos de retorno considerados se indican en el Anexo D. En la Tabla N° 5-1 se están las estaciones agrupadas según los periodos de retorno considerados hasta PR500 y en la Figura N° 5-3 se representa la distancia de cada estación de la RI a la estación de estudio para un PR de 100 años (a mayor distancia, mayor tamaño del punto). En la Tabla N° 5-2 se presentan los cuantiles regionales calculados de acuerdo a la mejor distribución de frecuencia y modelos multiregresionales basados en la Altitud, Altitud – Latitud, Altitud – Longitud y Altitud – Latitud – Longitud. Para cada modelo se ha calculado el error residual estándar ( $E_r$ ) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para determinar los atributos (o combinación de estos) más relevantes con el fin de predecir el índice de tormenta.

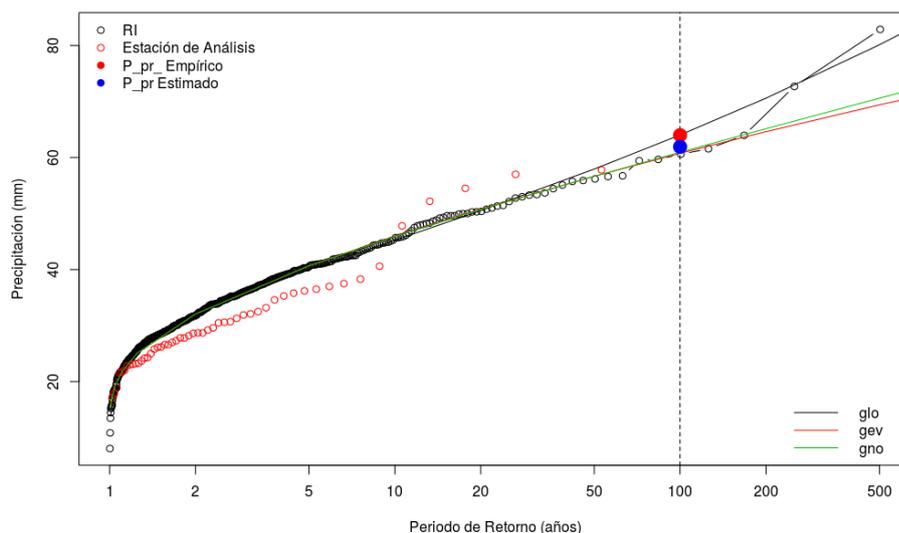


Figura N° 5-2 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Túnel Cero  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-1 Estaciones agrupadas de la estación Túnel Cero para diferentes periodos de retorno  
Fuente: Elaboración Propia

PR2	PR5	PR10	PR20	PR50	PR100	PR200	PR500
acnocochoa_000646	acnocochoa_000646	acnocochoa_000646	acnocochoa_000646	acnocochoa_000646	acnocochoa_000646	sinto_000645	acnocochoa_000646
		pariona_156131	pariona_156131	pariona_156131	pariona_156131	los libertadores_156139	palcacachra_000735
		telepaccha_156120	sinto_000645	sinto_000645	sinto_000645	pampamarca_157207	chalhuanca_000747
			los libertadores_156139	los libertadores_156139	los libertadores_156139	huancavelica_000649	huancapi_000665
			tatora_156119	tatora_156119	tatora_156119	pecope_157221	cerro_condorillo_157209
			pampamarca_157207	pampamarca_157207	pampamarca_157207	pilchaca_000648	la calera_157323
			huancavelica_000649	huancavelica_000649	huancavelica_000649	san_juan_de_huirpacancha_151506	caylloma_000753
			pecope_157221	pecope_157221	pecope_157221	huancavelica_000649	aucara_157212
			san_pedro_de_huacarpana_000857	san_pedro_de_huacarpana_000857	san_pedro_de_huacarpana_000857	san_pedro_de_huacarpana_000857	janacancha_caylloma_157318
			pilchaca_000648	pilchaca_000648	chungui_156220	pecope_157221	puica_157307
				san_pedro_de_huacarpana_156115	pampahuasi_157205	san_pedro_de_huacarpana_156115	lucanas_157206
				cceccana_157215	huancalpi_156126	pilchaca_000648	la angostura_000754
				luricocha_156209	antabamba_000748	luricocha_156209	pusa_pusa_157322
				huancabamba_156223	chinchayllapa_157305	cceccana_157215	tambobamba_000811
				san_juan_de_huirpacancha_151506	lircay_000657	huancabamba_156223	paucarbamba_000658
				pampa_galeras_000739	andamarca_000737	san_juan_de_huirpacancha_151506	orcopampa_157311
				alpachaca_000662	chilcayoc_156212	alpachaca_000662	visuyo_157319
				wilcashuaman_156211	pampachiri_000728	acostambo_000625	pullhuay_157309
				acostambo_000625	pampas_000508	pampa_galeras_000739	huancaray_156221
					salcabamba_006200	chungui_156220	chavina_000742
					paucaray_000792	pampahuasi_157205	tisco_157325
					chuschi_156206	cecchapura_000738	puquio_000736
					tambo_156122	paico_157217	porpera_157329
					chalhuanca_000747	huancalpi_156126	incuyo_000744
					huancapi_000665	antabamba_000748	andahuaylas_000669
					janacancha_caylloma_157318	lircay_000657	andahua_157310
					aucara_157212	chinchayllapa_157305	huachos_151503
					la_angostura_000754	andamarca_000737	yanque_157321
					tambobamba_000811	chilcayoc_156212	sibayo_000755
					visuyo_157319	chalhuanca_ii_007747	hacienda_morocaqui_157330
					chavina_000742	vischongo_156210	ocana_157202
					andahua_157310	acobamba_000659	abancay_000605
					andahuaylas_000669	la_quinoa_000663	imatata_000765
					ayacucho_140654	tantara_151507	curahuasi_000677
						pampachiri_000728	sumbay_157328
						pampas_000508	chivay_000758
						salcabamba_006200	salamanca_000801
						chuschi_156206	pillones_158208
						paucaray_000792	san_lorenzo_000655
							cabanaconde_000795

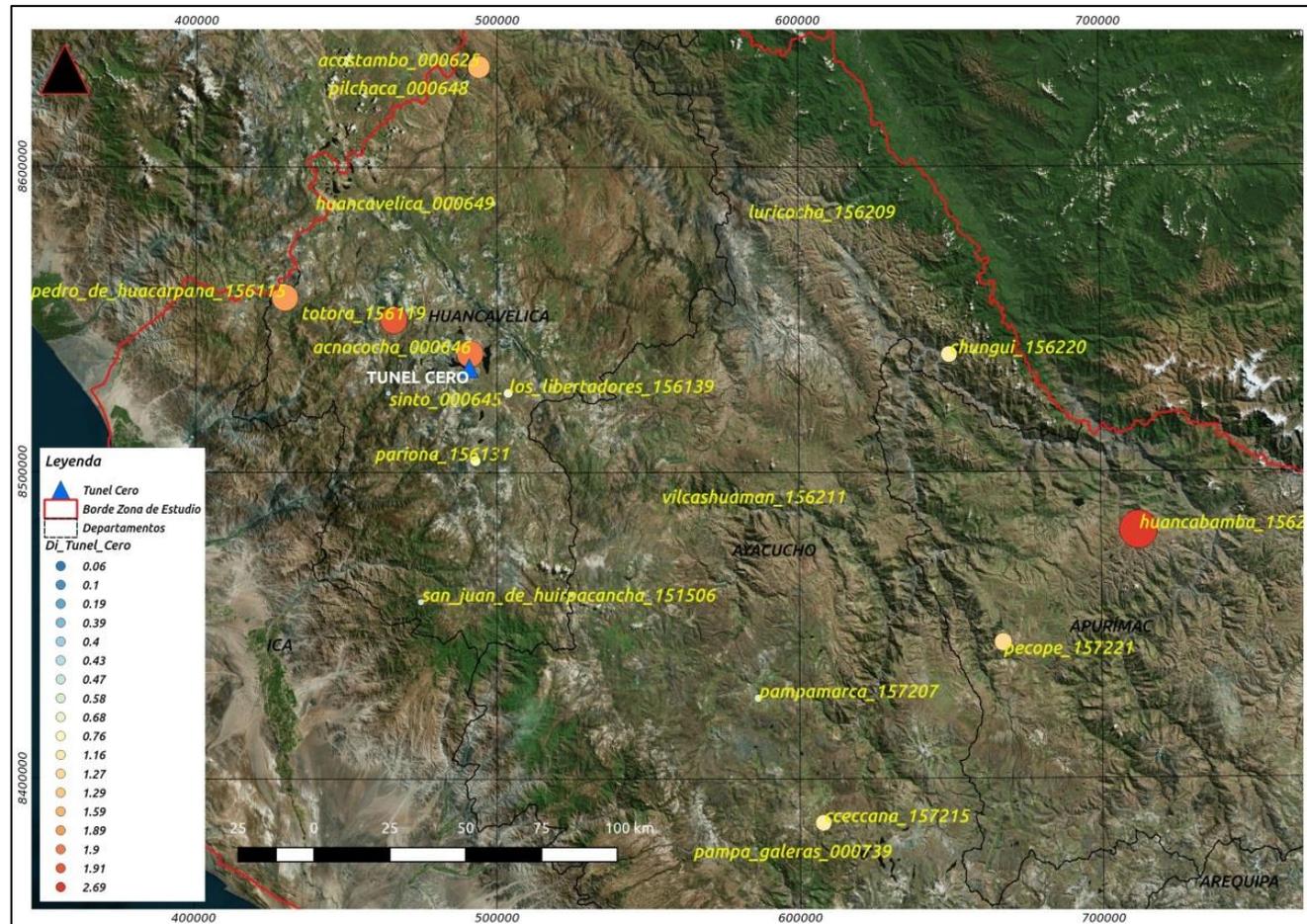


Figura N° 5-3 Región de Influencia (RI) de la estación Túnel Cero para un periodo de retorno de 100 años  
 Fuente: Elaboración Propia

Nota: La escala de colores y tamaños corresponde a las estaciones con menor discordancia (azul y menor tamaño) a las de mayor discordancia (rojo y mayor tamaño).

Tabla N° 5-2 Precipitaciones máximas diarias anuales locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno (PR) en la ubicación de la estación Túnel Cero  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Local	REGIÓN DE INFLUENCIA									
		Distribución	Atributos				Delta (mm)	Delta (%)	H1	H2	H3
			Altitud (Er=0.52, R <sup>2</sup> =0.69)	Altitud, Latitud (Er=0.50, R <sup>2</sup> =0.71)	Altitud, Longitud (Er=0.52, R <sup>2</sup> =0.69)	Altitud, Latitud, Longitud (Er=0.46, R <sup>2</sup> =0.76)					
2	34	GEV	29	32	29	28	-6	-18	-	-	-
5	42	GEV	33	37	33	33	-9	-21	-	-	-
10	47	GLO	37	41	37	37	-10	-21	1.5	-0.5	1.0
20	52	GEV	41	46	41	41	-11	-21	1.7	-1.2	-0.8
50	57	GLO	49	56	50	50	-7	-12	1.7	0.9	0.6
100	61	GNO	53	61	55	54	-7	-11	1.4	1.0	0.8
200	65	GNO	56	65	53	53	-12	-18	1.7	-0.1	0.8
500	70	GLO	73	82	72	71	1	1	5.8	0.6	1.1
1000	74								>20	-	-

Nota:

Local: Precipitaciones máximas diarias anuales (Pmax) halladas localmente para diferentes periodos de retorno.

Distribución: Mejor distribución de frecuencia según el periodo de retorno.

Atributos: Errores residuales estándar (Er) y coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) de modelos multiregresionales según los atributos seleccionados para cálculo de la Pmax.

Delta: Mínima diferencia de Pmax local y la Pmax obtenido del modelo multiregresional regional, en mm y en porcentaje.

H: Medida de heterogeneidad (adimensional).

Según los resultados mostrados en la Tabla N° 5-2, la combinación de atributos Altitud – Latitud y Altitud – Latitud – Longitud son los que mejor predicen el índice de tormenta según los valores de Er y R<sup>2</sup>, además, los cuantiles obtenidos a partir de estas combinaciones son los valores más próximos a los cuantiles locales de acuerdo a los valores de delta (mostrado para la combinación Altitud – Latitud – Longitud en la Tabla N° 5-2). Con respecto al criterio de homogeneidad (H < 2), este se cumple hasta el periodo de retorno de 200 años, siendo las regiones, conformadas por las estaciones agrupadas para los periodos de retorno de 500 y 1000 años, definitivamente heterogéneas (H ≥ 2).

### 5.3.2 Copará

En la Figura N° 5-4 se muestra, a modo de ejemplo, las precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Copará para el periodo de retorno de 100 años así como las distribuciones de frecuencia de mejor ajuste, los valores empíricos (análisis local) y estimados (análisis regional). Las curvas de distribución para los periodos de retorno considerados se indican en el Anexo D. En la Tabla N° 5-3 se muestra las estaciones agrupadas según los periodos de retorno considerados hasta PR500 y en la Figura N° 5-5 se representa la distancia de cada estación de la RI a la estación de estudio para un PR de 100 años (a mayor distancia, mayor tamaño del punto). En la Tabla N° 5-4 se presentan los cuantiles regionales calculados de acuerdo a la mejor distribución de frecuencia y modelos multiregresionales basados en la Altitud, Altitud – Latitud, Altitud – Longitud y Altitud – Latitud – Longitud.

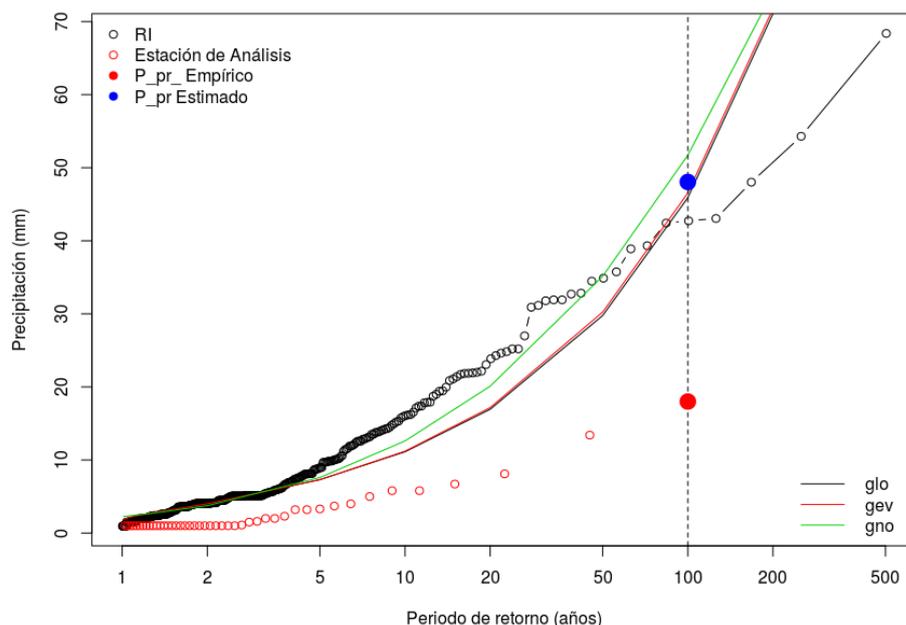


Figura N° 5-4 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Copará  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-3 Estaciones agrupadas de la estación Copará para diferentes periodos de retorno  
Fuente: Elaboración Propia

PR2	PR5	PR10	PR20	PR50	PR100	PR200	PR500
el_carmen_000699	el_carmen_000699	el_carmen_000699	el_carmen_000699	el_carmen_000699	el_carmen_000699	huarato_157203	huarato_157203
	palpa_000731	palpa_000731	palpa_000731	palpa_000731	palpa_000731	el_carmen_000699	el_carmen_000699
		rio_grande_000698	rio_grande_000698	rio_grande_000698	rio_grande_000698	palpa_000731	palpa_000731
		acari_000733	acari_000733	san_camilo_000700	acari_000733	hualpoca_156225	hualpoca_156225
			tacama_000794	ocucaje_000730	ocucaje_000730	ocucaje_000730	ocucaje_000730
			huamani_000640	san_camilo_000700	san_camilo_000700	aitiquipa_000734	aitiquipa_000734
			hacienda_bernales_000650	huamani_000640	huamani_000640	pampa_blanca_157102	pampa_blanca_157102
			conta_156219	conta_156219	conta_156219	lomas_000890	lomas_000890
			punta_atico_000830	punta_atico_000830	punta_atico_000830	chala_000891	tacama_000794
				pisco_140600	pisco_140600	chaparra_000741	chala_000891
				isla_chincha_norte_000632	isla_chincha_norte_000632	huamani_000640	chaparra_000741
				ocona_000831	ocona_000831	huancano_000639	huancano_000639
				aplao_000833	aplao_000833	aplao_000833	punta_atico_000830
				hacienda_pampata_158200	hacienda_pampata_158200	punta_atico_000830	conta_156219
				camana_000832	camana_000832	conta_156219	fonagro_chincha_000791
				santa_rita_000829	santa_rita_000829	fonagro_chincha_000791	aplao_000833
				pampa_de_majes_000805	pampa_de_majes_000805	ocona_000831	challaca_co_006640
					caraveli_000746	ocona_000831	abancay_000605
					challaca_co_006640	caraveli_000746	antiquilla_008791
					otoca_157201	otoca_157201	chuguibamba_000750
					camana_000832	camana_000832	ilo_000840
					santa_isabel_de_siguas_158201	anco_156216	huancaray_156221
					pampa_de_majes_000805	machente_156213	curahuasi_000677
					santa_rita_000829	acora_000644	punta_coles_000846
					ayo_157313	san_juan_de_castrovirreyna_156114	colegio_m_francisco_bolognesi_008792
					chichas_157300	pampa_de_majes_000805	moquegua_000806
					la_joya_000804	santa_isabel_de_siguas_158201	la_pampilla_000839
					acora_000644	santa_rita_000829	lucanas_157206
					vitor_140803	pampas_156217	aucara_157212
					machente_156213	chichas_157300	huac_huas_151602
					san_juan_de_castrovirreyna_156114	llautea_157200	cordova_157101
					llautea_157200	tirapo_156117	coracora_000743
					pausa_000745	ayo_157313	chavina_000742
						la_joya_000804	pampacolca_000751
						malluchimpana_157100	huancapi_000665
						pausa_000745	cerro_condorillo_157209
						vitor_140803	omate_000850
						mollendo_000800	
						pampa_blanca_000837	
						sancos_000740	

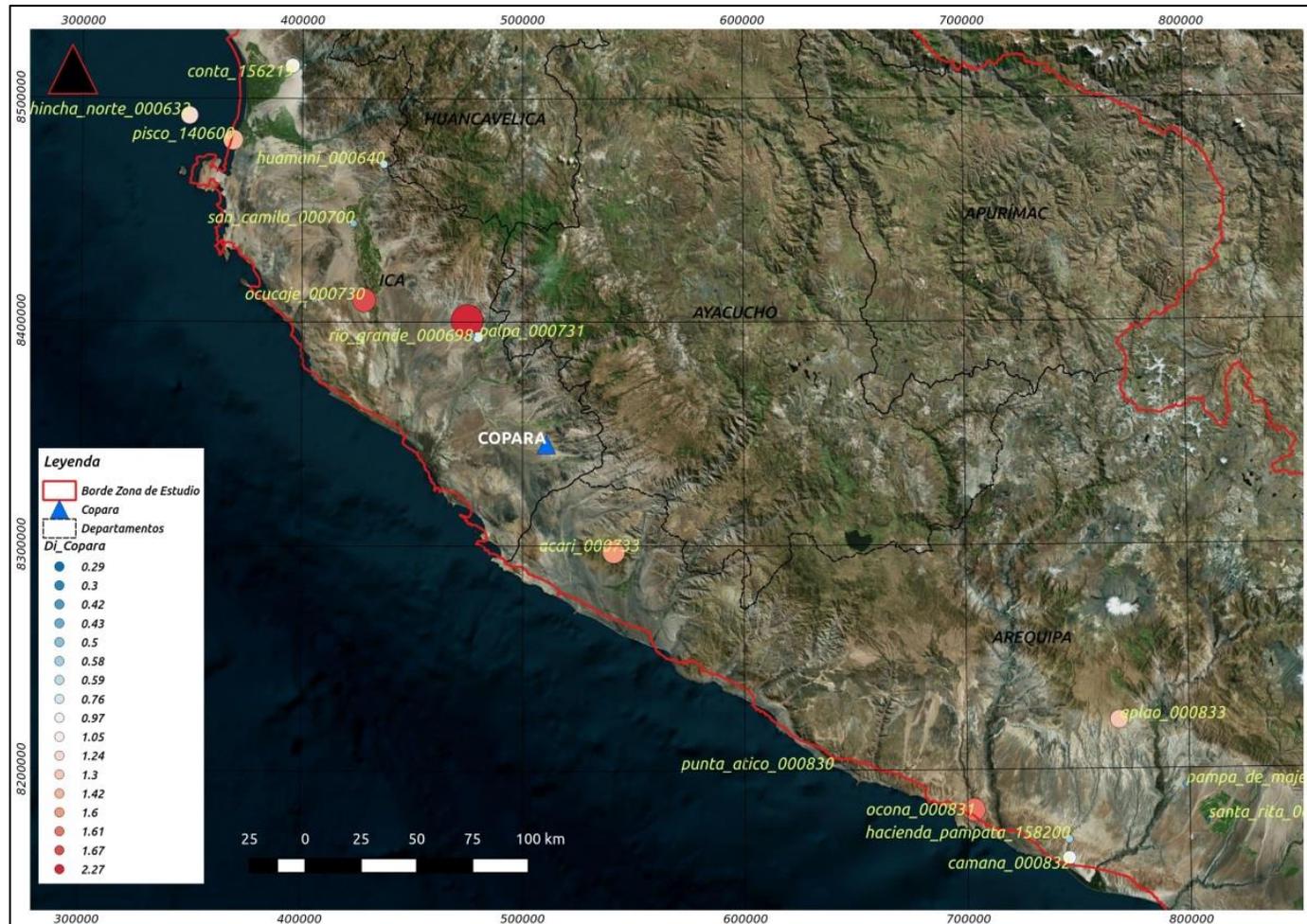


Figura N° 5-5 Región de Influencia (RI) de la estación Copará para un periodo de retorno de 100 años  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-4 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Copará  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Local	REGIÓN DE INFLUENCIA									
		Distribución	Atributos				Delta (mm)	Delta (%)	H1	H2	H3
			Altitud (Er=0.48, R <sup>2</sup> =0.69)	Altitud, Latitud (Er=0.46, R <sup>2</sup> =0.71)	Altitud, Longitud (Er=0.48, R <sup>2</sup> =0.69)	Altitud, Latitud, Longitud (Er=0.44, R <sup>2</sup> =0.74)					
2	5	GEV	4	4	4	3	-2	-40%	-	-	-
5	8	GPA	8	8	8	6	-2	-25%	-1.2	-0.6	-0.3
10	10	GNO	17	17	17	12	2	20%	-1.3	-0.7	-0.2
20	13	GEV	22	22	22	16	3	23%	-0.9	0.4	0.7
50	16	GNO	51	51	53	38	22	138%	0.1	2.0	2.2
100	18	GNO	68	68	71	52	34	189%	1.7	3.1	2.7
200	20	GEV	57	58	59	45	25	125%	6.6	9.0	5.4
500	24	GLO	53	54	54	41	17	71%	17.6	15.2	9.0
1000	26								>20	-	-

Según los resultados mostrados en la Tabla N° 5-4 la combinación de atributos Altitud – Latitud – Longitud es la que mejor predice el índice de tormenta según los valores de Er y R<sup>2</sup>, además los cuantiles obtenidos a partir de esta combinación son los valores más próximos a los cuantiles locales de acuerdo a los valores de delta. Con respecto al criterio de homogeneidad ( $H < 2$ ), este se cumple hasta el periodo de retorno de 100 años, siendo las regiones, conformadas por las estaciones agrupadas para los periodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, definitivamente heterogéneas ( $H \geq 2$ ).

### 5.3.3 Acobambilla

En la Figura N° 5-6 se muestra, a modo de ejemplo, las precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Acobambilla para el periodo de retorno de 100 años así como las distribuciones de frecuencia de mejor ajuste, los valores empíricos (análisis local) y estimados (análisis regional). Las curvas de distribución para los periodos de retorno considerados se indican en el Anexo D. En la Tabla N° 5-5 se muestra las estaciones agrupadas según los periodos de retorno considerados hasta PR500 y en la Figura N° 5-7 se representa la distancia de cada estación de la RI a la estación de estudio para un PR de 100 años (a mayor distancia, mayor tamaño del punto). En la Tabla N° 5-6 se presentan los cuantiles regionales calculados de acuerdo a la mejor distribución de frecuencia y modelos multiregresionales basados en la Altitud, Altitud – Latitud, Altitud – Longitud y Altitud – Latitud – Longitud.

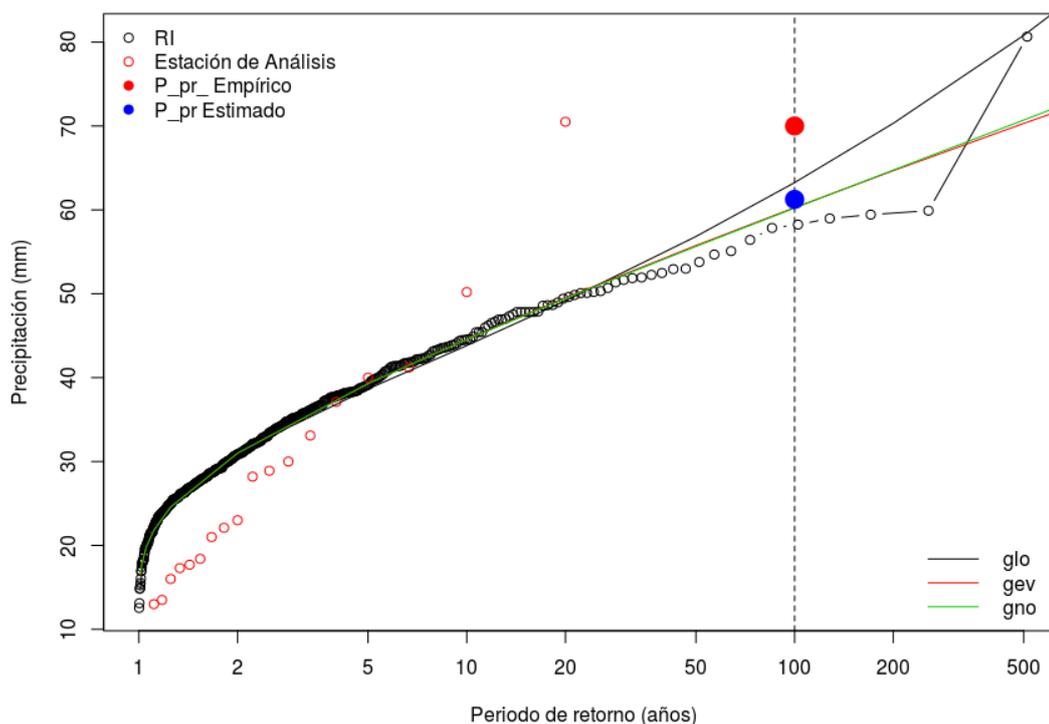


Figura N° 5-6 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Acobambilla  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-5 Estaciones agrupadas de la estación Acobambilla para diferentes periodos de retorno  
Fuente: Elaboración Propia

PR2	PR5	PR10	PR20	PR50	PR100	PR200	PR500
pilchaca_000648	pilchaca_000648	pilchaca_000648	pilchaca_000648	pilchaca_000648	pilchaca_000648	pilchaca_000648	pecope_157221
		tatora_156119	tatora_156119	tatora_156119	sinto_000645	huancavelica_000649	aucara_157212
			huancavelica_000649	huancavelica_000649	los_libertadores_156139	sinto_000645	paucaray_000792
			san_pedro_de_huacarpana_000857	san_pedro_de_huacarpana_000857	san_juan_de_huirpacancha_151506	acostambo_000625	huamanga_000661
			sinto_000645	sinto_000645	luricocha_156209	los_libertadores_156139	pampachiri_000728
			san_pedro_de_huacarpana_156115	lircay_000657	lircay_000657	huancalpi_156126	san_lorenzo_000655
			acostambo_000625	pampas_000508	pampas_000508	san_juan_de_huirpacancha_151506	ocana_157202
			los_libertadores_156139	allpachaca_000662	allpachaca_000662	tunel_cero_000647	huancabamba_156223
			telepaccha_156120	tambo_156122	tambo_156122	lircay_000657	huanta_000660
			huancalpi_156126	vicashuaman_156211	vicashuaman_156211	pampas_000508	chavina_000742
				la_quinoa_000663	salcabamba_006200	acnoccocha_000646	huancaray_156221
				pampamarca_157207	allpachaca_000662	luricocha_156209	chalhuanca_ii_007747
				pampa_galeras_000739	tambo_156122	cholocochoa_156130	coracora_000743
				chuschi_156206	pampamarca_157207	lircay_000657	chalhuanca_000747
				pampahuasi_157205	la_quinoa_000663	villa_de_armas_000641	wayllapampa_000664
				vischongo_156210	pampa_galeras_000739	salcabamba_006200	incuyo_000744
				chungui_156220	pampahuasi_157205	pampas_000508	antabamba_000748
				andamarca_000737	chuschi_156206	allpachaca_000662	llauta_157200
					chungui_156220	tantara_151507	andahuaylas_000669
					vischongo_156210	acobamba_000659	puica_157307
					andamarca_000737	tambo_156122	chinchayllapa_157305
					huancapi_000665	huancasancos_156218	abancay_000605
					huachos_151503	pampamarca_157207	pullhuay_157309
					chilcayoc_156212	pampa_galeras_000739	curahuasi_000677
					pecope_157221	la_quinoa_000663	salamanca_000801
					aucara_157212	pampahuasi_157205	tambobamba_000811
					paucaray_000792	paucarbamba_000658	san_juan_de_castrovirreyna_156114
					huamanga_000661	chuschi_156206	orcopampa_157311
					pampachiri_000728	chungui_156220	pampas_156217
					san_lorenzo_000655	vischongo_156210	andahua_157310
					ocana_157202	andamarca_000737	cotahuasi_000749
					puquio_000736	palcacachra_000735	machaquay_007308
					huancabamba_156223	huancapi_000665	challaca_co_006640
						paico_157217	pampacolca_000751
						cecchapampa_000738	la_calera_157323
						huachos_151503	curyac_156224
						chilcayoc_156212	chachas_157312
						cceccana_157215	huambo_157315
						cerro_condorillo_157209	janacancha_caylloma_157318
						lucanas_157206	caylloma_000753

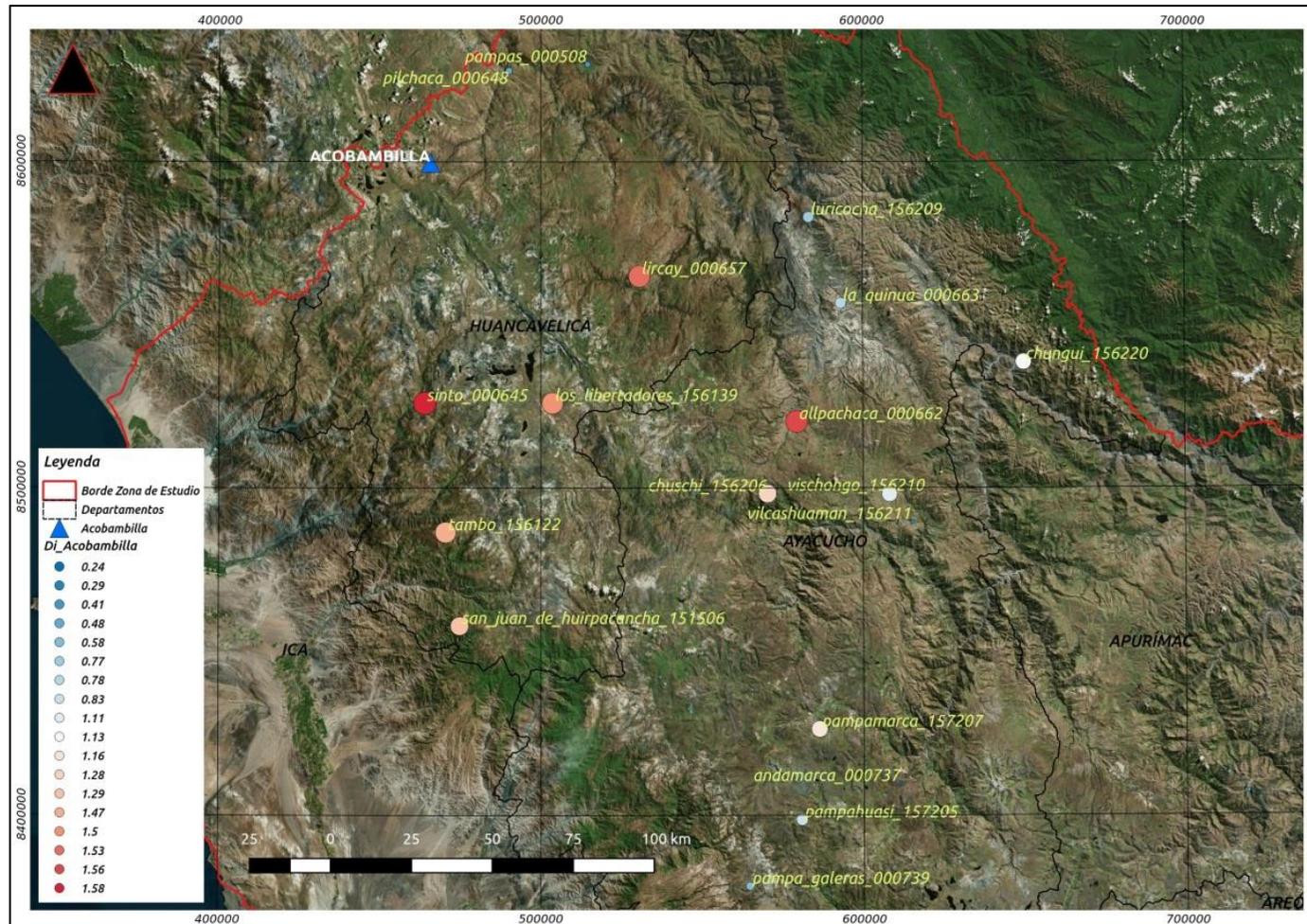


Figura N° 5-7 Región de Influencia (RI) de la estación Acobambilla para un periodo de retorno de 100 años  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-6 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Acobambilla  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Local	REGIÓN DE INFLUENCIA									
		Distribución	Atributos				Delta (mm)	Delta (%)	H1	H2	H3
			Altitud (Er=0.52, R <sup>2</sup> =0.70)	Altitud, Latitud (Er=0.51, R <sup>2</sup> =0.72)	Altitud, Longitud (Er=0.52, R <sup>2</sup> =0.70)	Altitud, Latitud, Longitud (Er=0.46, R <sup>2</sup> =0.77)					
2	30	GLO	26	31	26	31	1.3	4%	-	-	-
5	41	GLO	31	38	31	38	-3.3	-8%	-	-	-
10	49	GLO	35	42	35	43	-5.6	-12%	-0.9	0.2	0.2
20	55	GLO	40	48	41	49	-6.4	-12%	0.9	-0.4	-1.0
50	64	GLO	47	56	47	57	-6.7	-11%	1.2	1.2	1.8
100	70	GNO	47	61	47	61	-8.7	-12%	0.2	-1.4	-0.4
200	76	GNO	53	67	52	65	-10.5	-14%	1.7	1.1	0.3
500	83	GLO	70	86	71	85	3.3	3%	6.2	0.5	1.0
1000	88								>20		

Según los resultados mostrados en la Tabla N° 5-6 , la combinación de atributos Altitud – Latitud y Altitud – Latitud – Longitud son los que mejor predicen el índice de tormenta según los valores de Er y R<sup>2</sup>, además, los cuantiles obtenidos a partir de estas combinaciones son los valores más próximos a los cuantiles locales de acuerdo a los valores de delta (mostrado para la combinación Altitud – Latitud – Longitud en la Tabla N° 5-6). Con respecto al criterio de homogeneidad (H < 2), este se cumple hasta el periodo de retorno de 200 años, siendo las regiones, conformadas por las estaciones agrupadas para los periodos de retorno de 500 y 1000 años, definitivamente heterogéneas (H ≥ 2).

### 5.3.4 Pecope

En la Figura N° 5-8 se muestra, a modo de ejemplo, las precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Pecope para el periodo de retorno de 100 años así como las distribuciones de frecuencia de mejor ajuste y los valores empíricos (análisis local) como estimado (análisis regional). Las curvas de distribución para los periodos de retorno considerados se indican en el Anexo D. En la Tabla N° 5-7 se muestra las estaciones agrupadas según los periodos de retorno considerados hasta PR500 y en la Figura N° 5-9 se representa la distancia de cada estación de la RI a la estación de estudio para un PR de 100 años (a mayor distancia, mayor tamaño del punto). En la Tabla N° 5-8 se presentan los cuantiles regionales calculados de acuerdo a la mejor distribución de frecuencia y modelos multiregresionales basados en los atributos considerados.

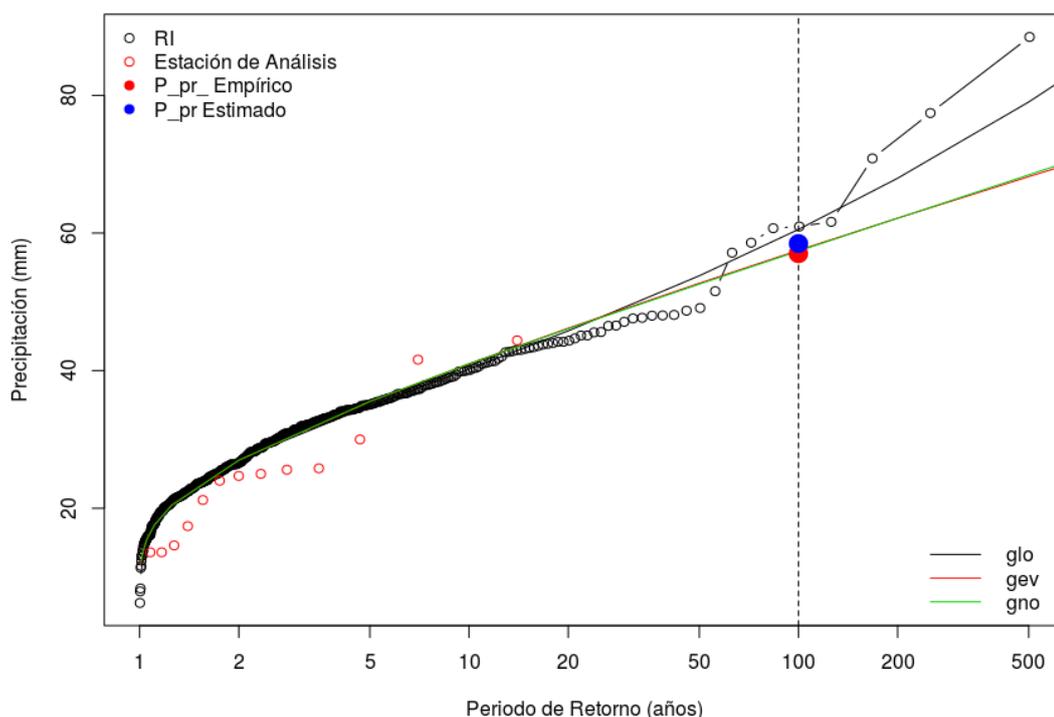


Figura N° 5-8 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Pecope  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-7 Estaciones agrupadas de la estación Pecope para diferentes periodos de retorno  
 Fuente: Elaboración Propia

PR2	PR5	PR10	PR20	PR50	PR100	PR200	PR500
cceccana_157215	cceccana_157216	cceccana_157217	cceccana_157218	cceccana_157215	cceccana_157215	pampamarca_157207	huancabamba_156223
	pampamarca_157207	pampamarca_157208	pampamarca_157209	pampamarca_157207	pampamarca_157207	antabamba_000748	huancavelica_000649
			antabamba_000748	antabamba_000748	antabamba_000748	paico_157217	lucanas_157206
			cecchamarca_000738	paico_157217	paico_157217	chinchayllapa_157305	huancapi_000665
			paico_157217	chinchayllapa_157305	chinchayllapa_157305	chungui_156220	tambobamba_000811
				pampa_galeras_000739	pampa_galeras_000739	paico_157217	la_angostura_000754
				chungui_156220	chungui_156220	andamarca_000737	sinto_000645
				chalhuanca_ii_007747	pampahuasi_157205	chilcayoc_156212	chinchayllapa_157305
				pampahuasi_157205	andamarca_000737	chilcayoc_156212	chuschi_156206
				andamarca_000737	luricocha_156209	alpacacha_000662	pusa_pusa_157322
				luricocha_156209	puica_157307	pampachiri_000728	san_juan_de_huirpachanca_151506
					chilcayoc_156212	chalhuanca_000747	tatora_156119
					alpacacha_000662	orcopampa_157311	lircay_000657
					los_libertadores_156139	luricocha_156209	andamarca_000737
					pampachiri_000728	chilcayoc_156212	salamanca_000801
					chalhuanca_000747	pullhuay_157309	pilchaca_000648
					orcopampa_157311	la_calera_157323	puquio_000736
					los_libertadores_156139	vischongo_156210	huancaray_156221
					andahua_157310	alpacacha_000662	laramarca_156128
					pullhuay_157309	pampachiri_000728	acobamba_000659
					carhuanca_156214	chalhuanca_000747	acostambo_000625
						orcopampa_157311	tisco_157325
						chavina_000742	visuyo_157319
						aucara_157212	huancasancos_156218
						huancavelica_000649	paucaray_000792
						la_angostura_000754	andahuaylas_000669
						sinto_000645	carhuanca_156214
						huancapi_000665	machaguay_007308
						tambobamba_000811	pullhuay_157309
						san_juan_de_huirpachanca_151506	huambo_157315
						chuschi_156206	los_libertadores_156139
						incuyo_000744	porpera_157329
						palchaca_000648	vischongo_156210
						puquio_000736	la_calera_157323
						visuyo_157319	pariona_156131
						sibayo_000755	chivay_000758
						andahuaylas_000669	condoroma_000710
						huambo_157315	chachas_157312
							san_pedro_de_huacarpana_000857
							tunel_cero_000647
							salcabamba_006200
							cerro_condorillo_157209
							chavina_000742
							san_pedro_de_huacarpana_156115
							acnococha_000646
							huancapi_156126
							pampas_000508
							coracora_000743
							sumbay_157328
							aucara_157212
							abancay_000605
							janacancha_caylloma_157318
							madrigal_157317
							caylloma_000753
							curahuasi_000677

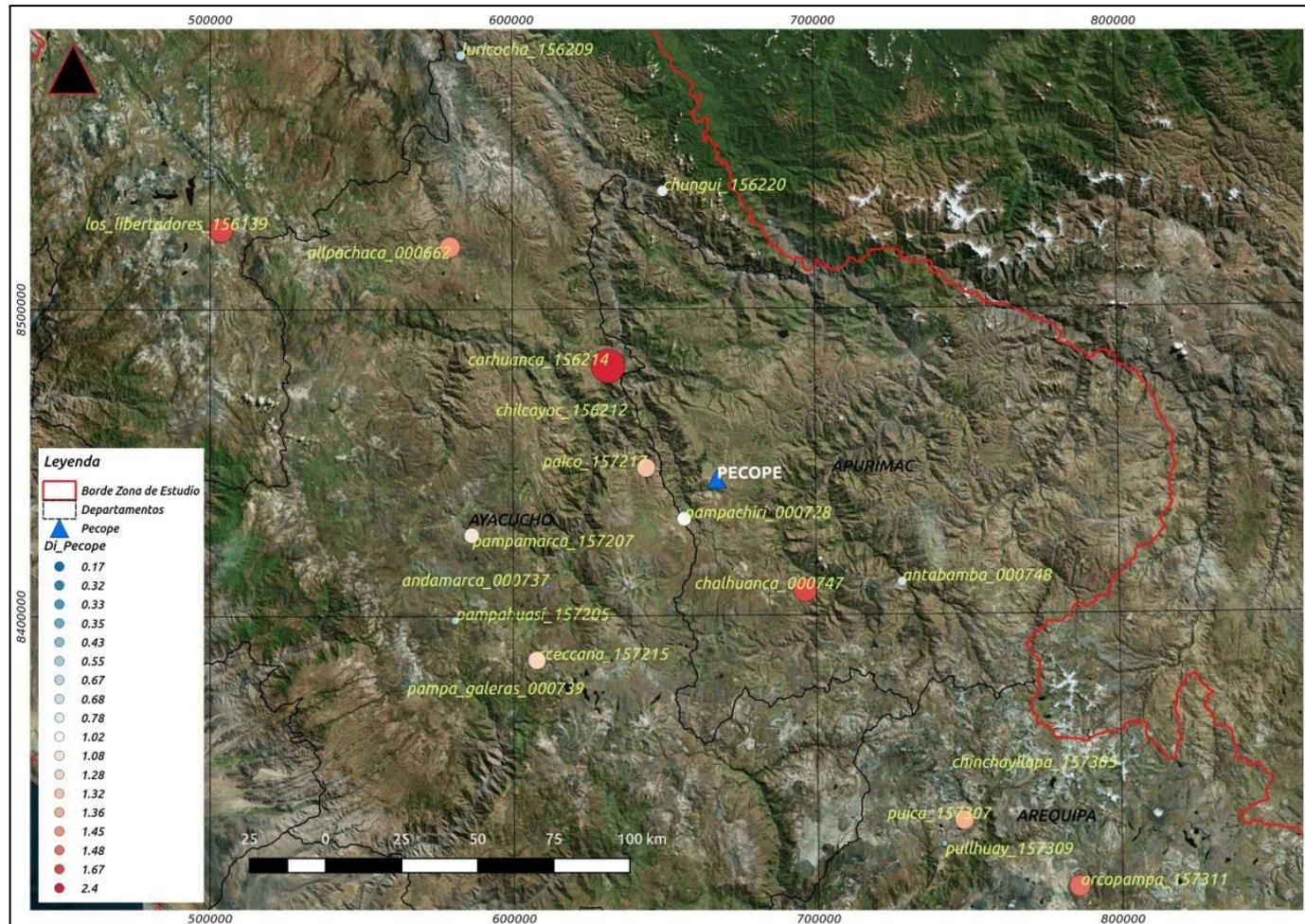


Figura N° 5-9 Región de Influencia (RI) de la estación Pecope para un periodo de retorno de 100 años  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-8 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Pecope  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Local	REGIÓN DE INFLUENCIA									
		Distribución	Atributos				Delta (mm)	Delta (%)	H1	H2	H3
			Altitud (Er=0.53, R <sup>2</sup> =0.69)	Altitud, Latitud (Er=0.51, R <sup>2</sup> =0.71)	Altitud, Longitud (Er=0.53, R <sup>2</sup> =0.69)	Altitud, Latitud, Longitud (Er=0.46, R <sup>2</sup> =0.77)					
2	27	GPA	26	27	26	29	2	-7%	-	-	-
5	34	GLO	34	35	34	38	4	12%	0.1	-0.2	0.1
10	39	GLO	39	41	39	44	5	13%	0.1	-0.2	0.1
20	44	GLO	44	46	44	50	6	14%	0.6	-0.7	-0.2
50	51	GLO	50	52	50	56	5	10%	-0.6	-1.3	-0.1
100	57	GEV	56	58	56	62	5	9%	-0.6	-0.9	0.2
200	64	GEV	59	57	54	62	-2	-3%	1.5	-1.2	-0.4
500	73	GLO	73	76	73	81	8	11%	6.3	1.3	1.1
1000	82	GLO	107	110	107	118			>20		

Según los resultados mostrados en la Tabla N° 5-8 la combinación de atributos Altitud – Latitud y Altitud – Latitud – Longitud son los que mejor predicen el índice de tormenta según los valores de Er y R<sup>2</sup>, sin embargo, los cuantiles obtenidos a partir del atributo Altitud son los valores más próximos a los cuantiles locales de acuerdo a los valores de delta (en la Tabla N° 5-8 se muestra para la combinación Altitud – Latitud – Longitud). Con respecto al criterio de homogeneidad ( $H < 2$ ), este el criterio de homogeneidad ( $H < 2$ ) se cumple hasta el periodo de retorno de 200 años, siendo las regiones, conformadas por las estaciones agrupadas para los periodos de retorno de 500 y 1000 años, definitivamente heterogéneas ( $H \geq 2$ ).

### 5.3.5 Visuyo

En la Figura N° 5-10 se muestra, a modo de ejemplo, las precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Visuyo para el periodo de retorno de 100 años así como las distribuciones de frecuencia de mejor ajuste, los valores empíricos (análisis local) y estimados (análisis regional). Las curvas de distribución para los periodos de retorno considerados se indican en el Anexo D. En la Tabla N° 5-9 se muestra las estaciones agrupadas según los periodos de retorno considerados hasta PR500 y en la Figura N° 5-11 se representa la distancia de cada estación de la RI a la estación de estudio para un PR de 100 años (a mayor distancia, mayor tamaño del punto). En la Tabla N° 5-10 se presentan los cuantiles regionales calculados de acuerdo a la mejor distribución de frecuencia y modelos multiregresionales basados en los atributos considerados.

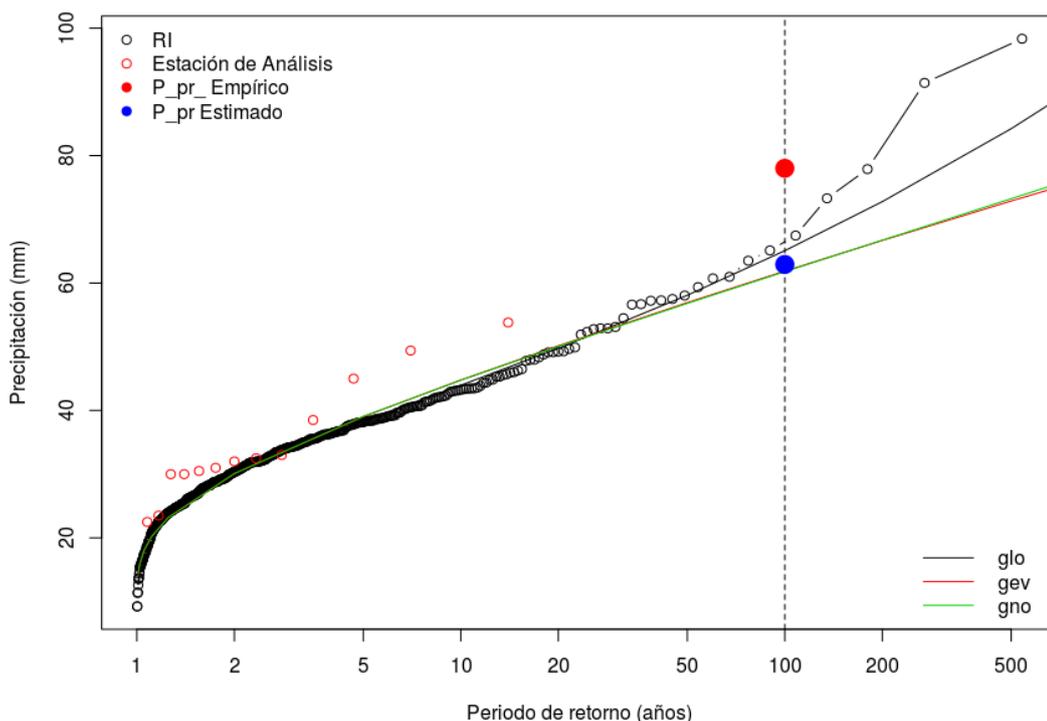


Figura N° 5-10 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Visuyo  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-9 Estaciones agrupadas de la estación Visuyo para diferentes periodos de retorno  
 Fuente: Elaboración Propia

PR2	PR5	PR10	PR20	PR50	PR100	PR200	PR500
la_calera_157323	caylloma_000753	la_calera_157323	la_calera_157323	la_calera_157323	la_calera_157323	imata_000765	caylloma_000753
		imata_000765	imata_000765	imata_000765	imata_000765	hacienda_morocahui_157330	janacancha_caylloma_157318
			pillones_158208	pillones_158208	pillones_158208	el_frayle_000849	imata_000765
			hacienda_morocahui_157330	hacienda_morocahui_157330	hacienda_morocahui_157330	sibayo_000755	pillones_158208
			chinchayllapa_157305	chinchayllapa_157305	chinchayllapa_157305	orcopampa_157311	la_angostura_000754
			condoroma_000710	yanque_157321	yanque_157321	antabamba_000748	hacienda_morocahui_157330
			yanque_157321	el_frayle_000849	el_frayle_000849	pecope_157221	pusa_pusa_157322
				sibayo_000755	sibayo_000755	cabanaconde_000795	sumbay_157328
				orcopampa_157311	orcopampa_157311	pullhuay_157309	tisco_157325
				chivay_000758	chivay_000758	huambo_157315	porpera_157329
				pachas_158305	pachas_158305	ubinas_000851	chinchayllapa_157305
				antabamba_000748	antabamba_000748	tambobamba_000811	el_frayle_000849
				pecope_157221	pecope_157221	puquina_000848	sibayo_000755
				cceccana_157215	cceccana_157215	pampamarca_157207	orcopampa_157311
				pullhuay_157309	pullhuay_157309	chalhuanca_000747	chivay_000758
						calacoa_158308	pachas_158305
						paico_157217	antabamba_000748
						chungui_156220	puica_157307
						pampachiri_000728	pecope_157221
						pampahuasi_157205	huancabamba_156223
						andamarca_000737	cceccana_157215
						chicayoc_156212	cabanaconde_000795
						chavina_000742	pullhuay_157309
						luricocha_156209	huambo_157315
						alpachaca_000662	madrigal_157317
						vischongo_156210	ubinas_000851
						aucara_157212	chalhuanca_ii_007747
						tunel_cero_000647	tambobamba_000811
						choclococha_156130	puquina_000848
						lucanas_157206	cecchapampa_000738
						los_libertadores_156139	pampamarca_157207
							chachas_157312
							machaguay_007308
							salamanca_000801
							chalhuanca_000747
							calacoa_158308
							paico_157217
							chungui_156220
							pampa_galeras_000739
							incuyo_000744

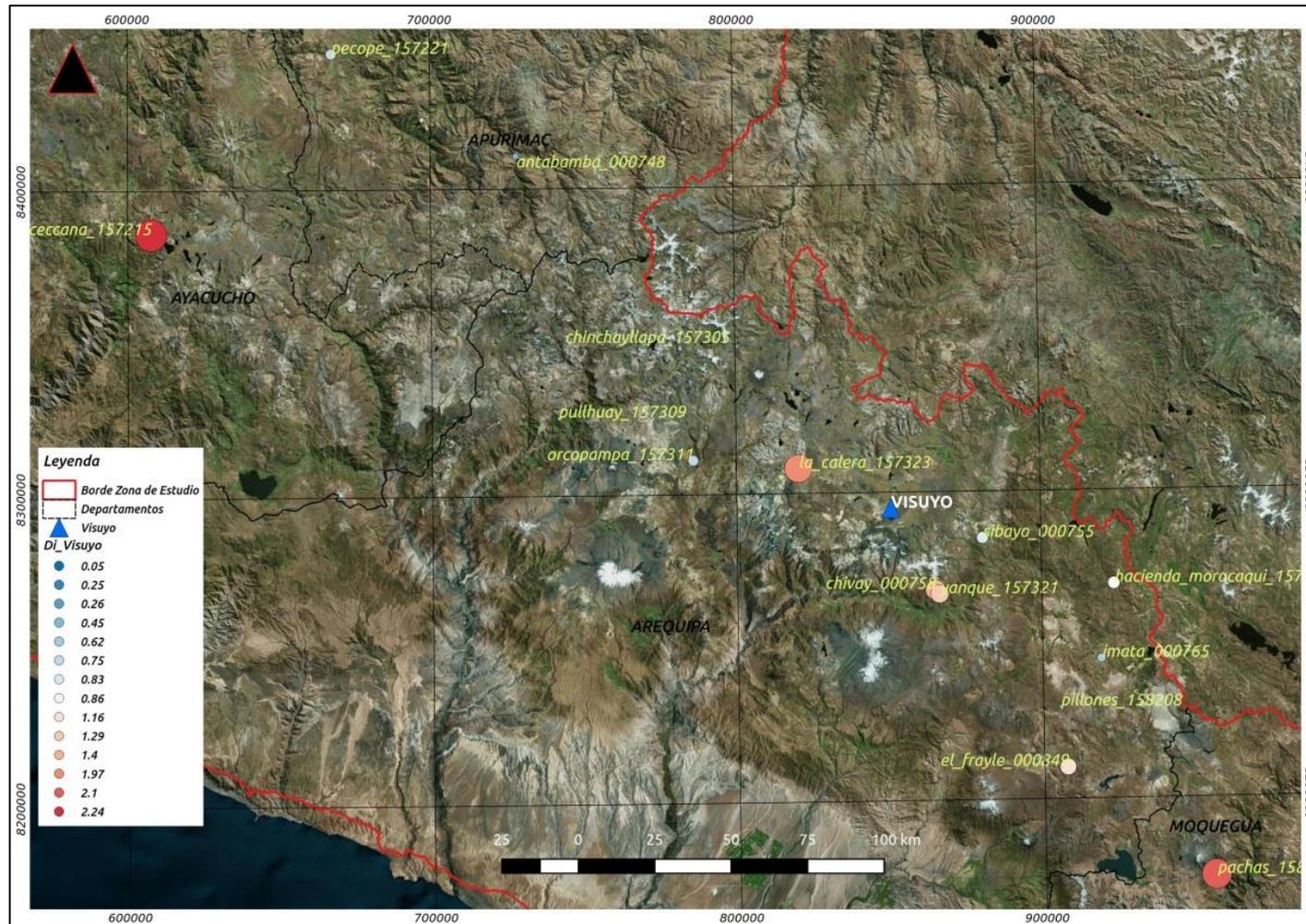


Figura N° 5-11 Región de Influencia (RI) de la estación Visuyo para un periodo de retorno de 100 años

Tabla N° 5-10 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Visuyo  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Local	REGIÓN DE INFLUENCIA									
		Distribución	Atributos				Delta (mm)	Delta (%)	H1	H2	H3
			Altitud (Er=0.53, R <sup>2</sup> =0.68)	Altitud, Latitud (Er=0.51, R <sup>2</sup> =0.70)	Altitud, Longitud (Er=0.53, R <sup>2</sup> =0.68)	Altitud, Latitud, Longitud (Er=0.47, R <sup>2</sup> =0.75)					
2	38	GEV	30	27	30	31	-6.6	-18%	-	-	-
5	47	GEV	34	31	34	36	-10.6	-23%	-	-	-
10	53	GLO	40	36	39	42	-11	-21%	0.9	0.1	0.1
20	60	GLO	45	41	45	48	-11.7	-20%	0.9	-0.7	-0.8
50	70	GLO	54	48	53	57	-12.5	-18%	1.0	0.5	0.4
100	78	GLO	61	55	61	65	-12.9	-17%	0.6	0.7	0.4
200	87	GLO	71	61	70	75	-12.4	-14%	1.9	0.8	0.7
500	102	GLO	83	75	85	88	-13.6	-13%	8.8	1.8	1.0
1000	114	GLO	116	106	115	122			>20		

Según los resultados mostrados en la Tabla N° 5-10 , la combinación de atributos Altitud – Latitud y Altitud – Latitud – Longitud son los que mejor predicen el índice de tormenta según los valores de Er y R<sup>2</sup>, sin embargo, los cuantiles obtenidos a partir del atributo Altitud y la combinación Altitud – Latitud – Longitud son los valores más próximos a los cuantiles locales de acuerdo a los valores de delta (mostrado para la combinación Altitud – Latitud – Longitud en la Tabla N° 5-10). Con respecto al criterio de homogeneidad ( $H < 2$ ), este se cumple hasta el periodo de retorno de 200 años, siendo las regiones, conformadas por las estaciones agrupadas para los periodos de retorno de 500 y 1000 años, definitivamente heterogéneas ( $H \geq 2$ ).

### 5.3.6 Omate

En la Figura N° 5-12 se muestra, a modo de ejemplo, las precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Omate para el periodo de retorno de 50 años así como las distribuciones de frecuencia de mejor ajuste, los valores empíricos (análisis local) y estimados (análisis regional). Las curvas de distribución para los periodos de retorno considerados se indican en el Anexo D. En la Tabla N° 5-11 se muestra las estaciones agrupadas según los periodos de retorno considerados hasta PR500 y en la Figura N° 5-13 se representa la distancia de cada estación de la RI a la estación de estudio para un PR de 100 años (a mayor distancia, mayor tamaño del punto). En la Tabla N° 5-12 se presentan los cuantiles regionales calculados de acuerdo a la mejor distribución de frecuencia y modelos multiregresionales basados en la Altitud, Altitud – Latitud, Altitud – Longitud y Altitud – Latitud – Longitud.

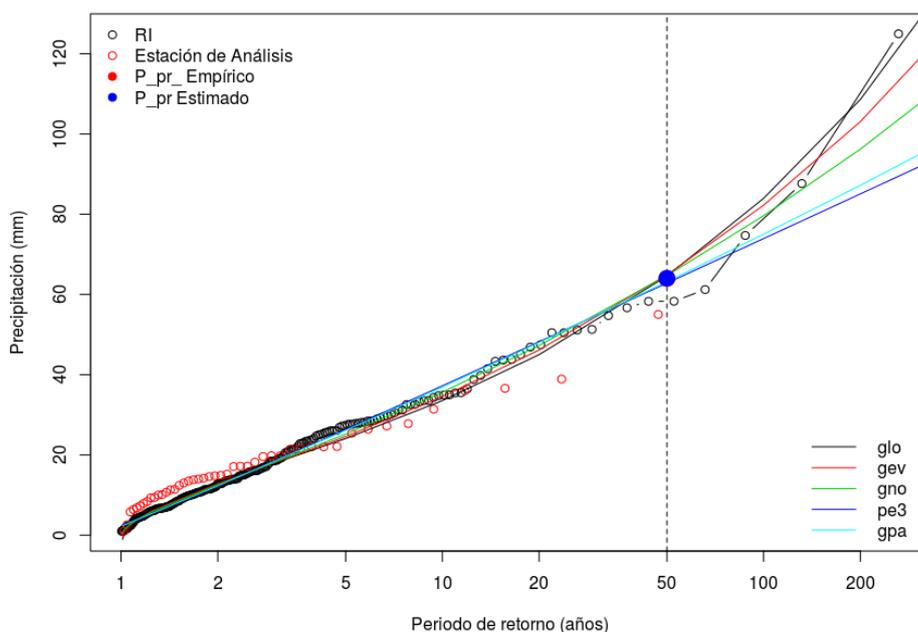


Figura N° 5-12 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 50 años y distribuciones de frecuencias para la estación Omate  
 Fuente: Elaboración Propia





Figura N° 5-13 Región de Influencia (RI) de la estación Omate para un periodo de retorno de 100 años  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-12 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Omate  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Local	REGIÓN DE INFLUENCIA									
		Distribución	Atributos				Delta (mm)	Delta (%)	H1	H2	H3
			Altitud (Er=0.51, R <sup>2</sup> =0.69)	Altitud, Latitud (Er=0.50, R <sup>2</sup> =0.71)	Altitud, Longitud (Er=0.51, R <sup>2</sup> =0.69)	Altitud, Latitud, Longitud (Er=0.46, R <sup>2</sup> =0.76)					
2	16	PE3	16	14	16	15	-1	-6%	-	-	-
5	28	PE3	27	22	26	25	-3.3	-12%	-	-	-
10	38	GPA	42	35	42	40	1.8	5%	0.2	-0.6	0.1
20	49	PE3	52	42	51	48	-0.7	-1%	0.8	-0.4	-0.8
50	64	GPA	67	55	68	63	-1.2	-2%	0.1	-0.9	-1.0
100	77	GNO	77	63	76	72	-5.1	-7%	4.1	1.2	0.5
200	91	GEV	95	74	89	84	-7.1	-8%	8.1	6.5	4.2
500	112	GLO	79	66	79	75	-36.6	-33%	>20		
1000	129	GLO	101	84	100	96			>20		

Según los resultados mostrados en la Tabla N° 5-12 , la combinación de atributos Altitud – Latitud y Altitud – Latitud – Longitud son los que mejor predicen el índice de tormenta según los valores de Er y R<sup>2</sup>, sin embargo, solamente los cuantiles obtenidos a partir de la combinación Altitud – Latitud – Longitud son los valores más próximos a los cuantiles locales de acuerdo a los valores de delta (mostrados en la Tabla N° 5-12). Con respecto al criterio de homogeneidad ( $H < 2$ ), este se cumple hasta el periodo de retorno de 50 años, siendo las regiones, conformadas por las estaciones agrupadas para los periodos de retorno de 100, 200, 500 y 1000 años, definitivamente heterogéneas ( $H \geq 2$ ).

### 5.3.7 Orcopampa

En la Figura N° 5-14 se muestra, a modo de ejemplo, las precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Orcopampa para el periodo de retorno de 100 años así como las distribuciones de frecuencia de mejor ajuste, los valores empíricos (análisis local) y estimados (análisis regional). Las curvas de distribución para los periodos de retorno considerados se indican en el Anexo D. En la Tabla N° 5-13 se muestra las estaciones agrupadas según los periodos de retorno considerados hasta PR500 y en la Figura N° 5-15 se representa la distancia de cada estación de la RI a la estación de estudio para un PR de 100 años (a mayor distancia, mayor tamaño del punto). En la Tabla N° 5-14 se presentan los cuantiles regionales calculados de acuerdo a la mejor distribución de frecuencia y modelos multiregresionales basados en la Altitud, Altitud – Latitud, Altitud – Longitud y Altitud – Latitud – Longitud.

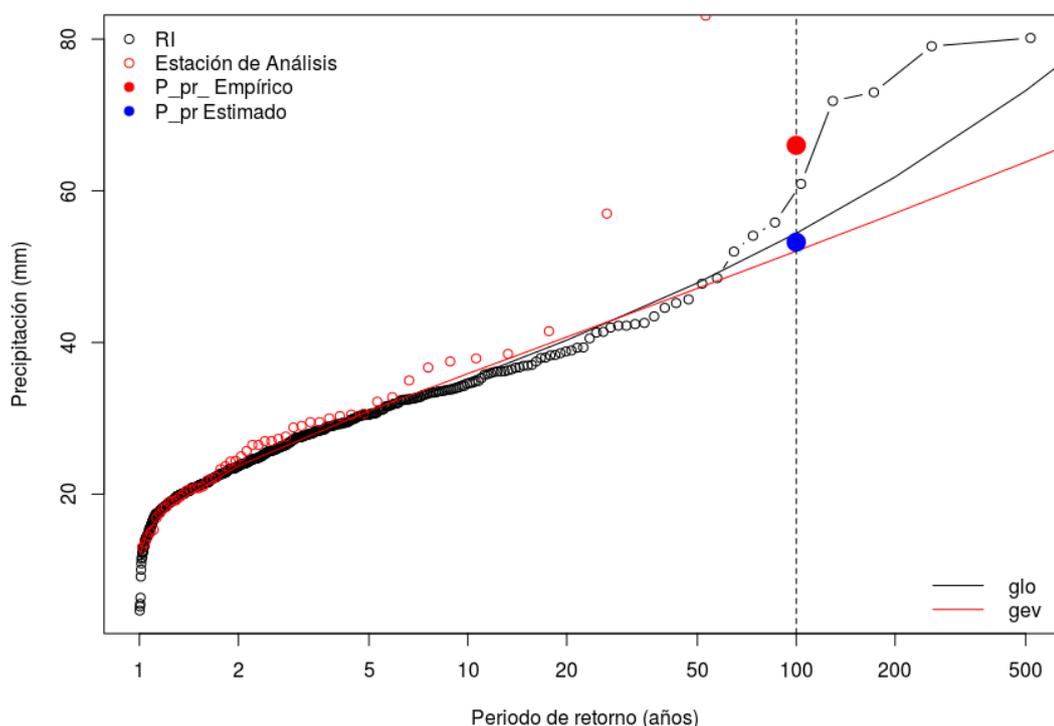


Figura N° 5-14 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Orcopampa  
 Fuente: Elaboración Propia



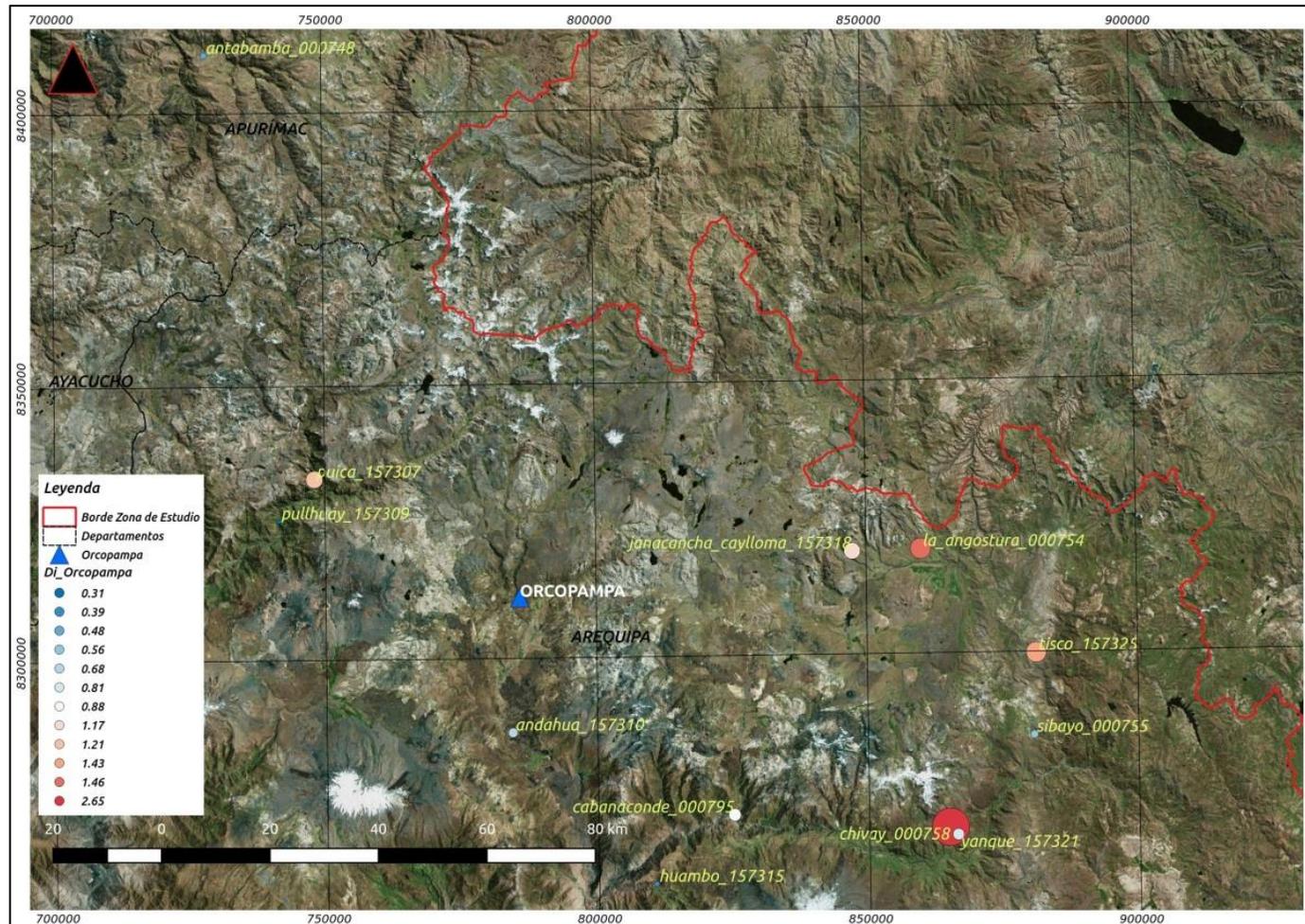


Figura N° 5-15 Región de Influencia (RI) de la estación Orcopampa para un periodo de retorno de 100 años  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-14 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Orcopampa  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Local	REGIÓN DE INFLUENCIA									
		Distribución	Atributos				Delta (mm)	Delta (%)	H1	H2	H3
			Altitud (Er=0.51, R <sup>2</sup> =0.70)	Altitud, Latitud (Er=0.50, R <sup>2</sup> =0.71)	Altitud, Longitud (Er=0.51, R <sup>2</sup> =0.70)	Altitud, Latitud, Longitud (Er=0.45, R <sup>2</sup> =0.76)					
2	28	GLO	24	22	24	24	-4.3	-15%	-	-	-
5	39	GLO	33	31	33	32	-6.7	-17%	-	-	-
10	46	GLO	38	35	38	37	-8.5	-19%	0.4	-0.3	-0.6
20	52	GLO	43	40	43	42	-10	-19%	-0.2	-0.1	0.1
50	60	GLO	52	48	52	51	-9.2	-14%	0.9	0.4	0.6
100	66	GLO	56	52	56	55	-11.2	-15%	1.9	1.7	1.7
200	72	GLO	64	59	64	62	-10.2	-11%	3.9	1.9	1.9
500	80	GLO	73	68	73	71	-9	-9%	7.0	1.8	1.3
1000	86								>20		

Según los resultados mostrados en la Tabla N° 5-14 , la combinación de atributos Altitud – Latitud y Altitud – Latitud – Longitud son los que mejor predicen el índice de tormenta según los valores de Er y R<sup>2</sup>, sin embargo, los cuantiles obtenidos a partir del atributo Altitud y las combinaciones Altitud – Longitud y Altitud – Latitud – Longitud son los valores más próximos a los cuantiles locales de acuerdo a los valores de delta (mostrado para la combinación Altitud – Latitud – Longitud en la Tabla N° 5-14). Con respecto al criterio de homogeneidad ( $H < 2$ ), este se cumple hasta el periodo de retorno de 100 años, siendo las regiones, conformadas por las estaciones agrupadas para los periodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, definitivamente heterogéneas ( $H \geq 2$ ).

### 5.3.8 Camaná

En la Figura N° 5-16 se muestra, a modo de ejemplo, las precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Camaná para el periodo de retorno de 100 años así como las distribuciones de frecuencia de mejor ajuste y los valores empíricos (análisis local) como estimado (análisis regional). Las curvas de distribución para los periodos de retorno considerados se indican en el Anexo E. En la Tabla N° 5-15 se muestra las estaciones agrupadas según los periodos de retorno considerados hasta PR500 y en la Figura N° 5-17 se representa la distancia de cada estación de la RI a la estación de estudio para un PR de 100 años (a mayor distancia, mayor tamaño del punto). En la Tabla N° 5-16 se presentan los cuantiles regionales calculados de acuerdo a la mejor distribución de frecuencia y modelos multiregresionales basados en la Altitud, Altitud – Latitud, Altitud – Longitud y Altitud – Latitud – Longitud.

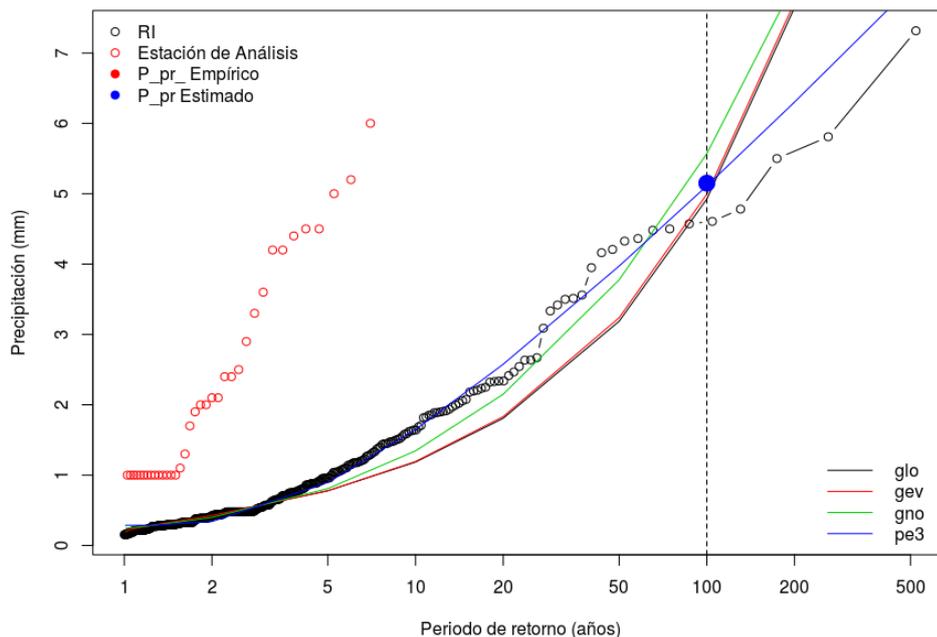


Figura N° 5-16 Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años y distribuciones de frecuencias para la estación Camaná  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-15 Estaciones agrupadas de la estación Camaná para diferentes periodos de retorno  
Fuente: Elaboración Propia

PR2	PR5	PR10	PR20	PR50	PR100	PR200	PR500
hacienda_pampata_158200	hacienda_pampata_158200	hacienda_pampata_158200	hacienda_pampata_158200	hacienda_pampata_158200	hacienda_pampata_158200	hacienda_pampata_158200	hacienda_pampata_158200
	ocona_000831	ocona_000831	ocona_000831	ocona_000831	ocona_000831	ocona_000831	ocona_000831
		mollendo_000800	mollendo_000800	mollendo_000800	mollendo_000800	mollendo_000800	mollendo_000800
			ilo_000840	ilo_000840	punta_atico_000830	punta_atico_000830	punta_atico_000830
				chala_000891	pampa_blanca_000837	pampa_blanca_000837	pampa_blanca_000837
				acari_000733	punta_coles_000846	punta_coles_000846	punta_coles_000846
				lomas_000890	ilo_000840	ilo_000840	apla_000833
				copara_000727	chala_000891	chala_000891	ilo_000840
				chaparra_000741	acari_000733	acari_000733	chala_000891
				la_joya_000804	lomas_000890	lomas_000890	atquipa_000734
					copara_000727	copara_000727	lomas_000890
					chaparra_000741	chaparra_000741	huarato_157203
					la_joya_000804	la_joya_000804	copara_000727
					santa_rita_000829	santa_rita_000829	chaparra_000741
					palpa_000731	palpa_000731	palpa_000731
					rio_grande_000698	rio_grande_000698	la_joya_000804
					santa_isabel_de_siguas_158201	santa_isabel_de_siguas_158201	santa_rita_000829
					pampa_de_majes_000805	pampa_de_majes_000805	santa_isabel_de_siguas_158201
						el_carmen_000699	pampa_de_majes_000805
						ocucaje_000730	ocucaje_000730
						hualpoca_156225	hualpoca_156225
						vitor_140803	tacama_000794
						san_camilo_000700	pampa_blanca_157102
						moquegua_000806	vitor_140803
						tacama_000794	moquegua_000806
						pampa_blanca_157102	quinistaquillas_158301
						quinistaquillas_158301	conta_156219
						pampa_de_villacuri_000637	machente_156213
						hacienda_bernales_000650	fonagro_chincha_000791
						huamani_000640	caraveli_000746
						caraveli_000746	anco_156216
						pisco_140600	huancano_000639
							ayo_157313
							chichas_157300
							omate_000850
							tumilaca_158314
							yacango_000852
							huasacache_000799
							challaca_co_006640
							otoca_157201
							socabaya_158205
							pampas_156217
							coalaque_158211
							antiquilla_008791
							colegio_m_francisco_bolognesi_008792
							la_pampilla_000839
							choco_157314
							san_juan_de_castrovirreyrna_156114
							characato_000836
							pausa_000745
							cunyac_156224
							arequipa_140801
							acora_000644
							ticrapo_156117
							otora_158302
							cotahuasi_000749
							llauta_157200
							wayllapampa_000664
							sancos_000740
							chuquibamba_000750
							malluchimpana_157100
							coscori_158303
							lampa_157223
							curahuasi_000677
							chiquata_000847
							abancay_000605
							huanta_000660
							pampacolca_000751
							ocana_157202
							san_miguel_000666
							san_juan_de_yanac_156113
							andahuaylas_000669
							santiago_de_chocorvos_156123
							ayacucho_140654
							huamanga_000661
							huanca_008203
							carumas_000873
							san_lorenzo_000655
							huancaray_156221
							yanacuquia_000864

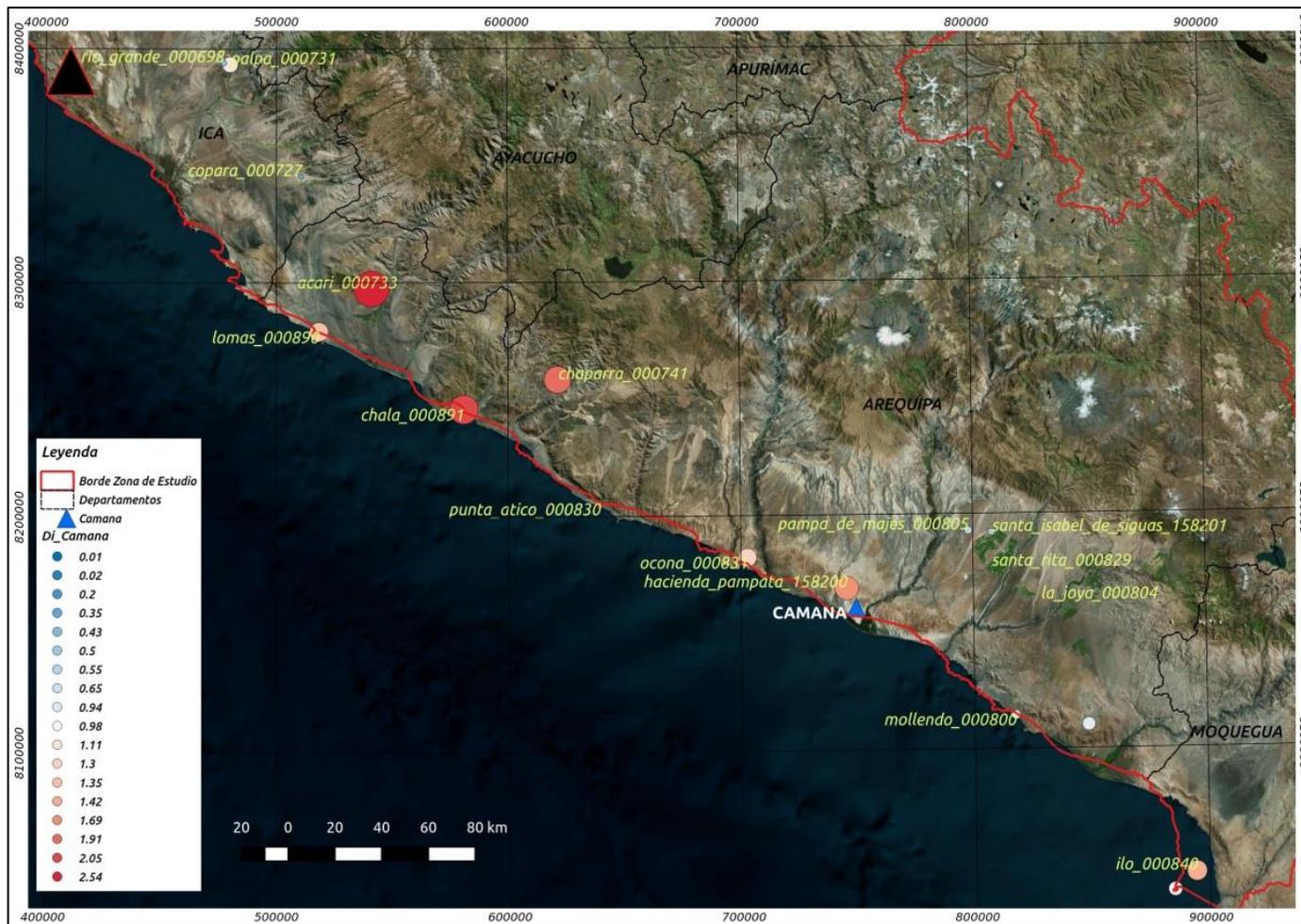


Figura N° 5-17 Región de Influencia (RI) de la estación Camaná para un periodo de retorno de 100 años  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5-16 Cuantiles locales y regionales (mm) para diferentes periodos de retorno en la ubicación de la estación Camaná  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Local	REGIÓN DE INFLUENCIA									
		Distribución	Atributos				Delta (mm)	Delta (%)	H1	H2	H3
			Altitud (Er=0.48, R <sup>2</sup> =0.71)	Altitud, Latitud (Er=0.47, R <sup>2</sup> =0.73)	Altitud, Longitud (Er=0.49, R <sup>2</sup> =0.69)	Altitud, Latitud, Longitud (Er=0.43, R <sup>2</sup> =0.77)					
2	4	GEV	1	1	1	1	-3	-75%	-	-	-
5	8	GEV	1	1	1	1	-7.3	-88%	0.5	0.1	-0.7
10	12	GLO	1	1	1	1	-10.8	-92%	0.1	0.4	0.6
20	15	GNO	1	1	1	2	-13.3	-87%	0.4	0.5	-0.2
50	20	PE3	3	2	3	3	-17.2	-85%	-0.5	0.9	1.0
100	24	PE3	4	4	4	5	-18.9	-79%	0.5	0.9	0.3
200	28	GNO	6	5	6	7	-20.7	-75%	1.8	5.8	4.6
500	33	GEV	4	4	4	5	-27.7	-85%	15.2	14.7	9.2
1000	37								>20		

Según los resultados mostrados en la Tabla N° 5-16, la combinación de atributos Altitud – Latitud y Altitud – Latitud – Longitud son los que mejor predicen el índice de tormenta según los valores de Er y R<sup>2</sup>, sin embargo, en ningún caso los cuantiles obtenidos a partir de estas combinaciones se aproximan a los cuantiles locales de acuerdo a los valores de delta (mostrado para la combinación Altitud – Latitud – Longitud en la Tabla N° 5-16). Con respecto al criterio de homogeneidad ( $H < 2$ ), este se cumple hasta el periodo de retorno de 200 años, siendo las regiones, conformadas por las estaciones agrupadas para los periodos de retorno de 500 y 1000 años, definitivamente heterogéneas ( $H \geq 2$ ).

## **CAPÍTULO VI: ANÁLISIS COMPARATIVO**

En este capítulo se muestra la comparación de los cuantiles obtenidos con los métodos ARF y RI respecto a los valores registrados, los métodos tradicionales como son el método de los momentos y máxima verosimilitud, análisis local con momentos L (ítem 4.4) y el método de regionalización de IILA – SENAMHI – UNI (ítem 1.1). Con respecto a este último, en la Figura N° 6-1 se muestra las estaciones consideradas para la comparación y sub-zonas pluviométrica en la zona de estudio.

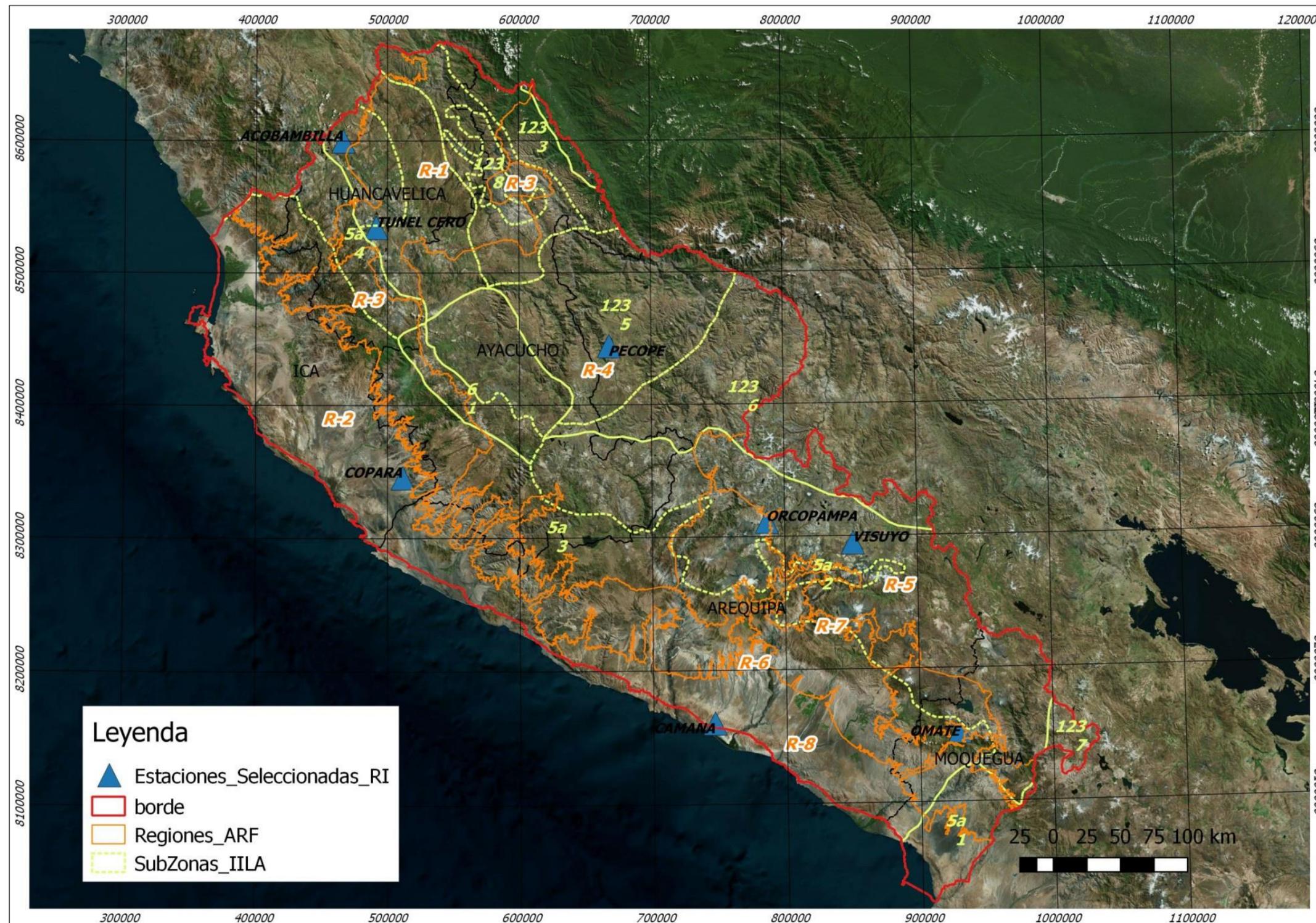


Figura N° 6-1 Zonas y sub-zonas pluviométricas según el método IILA – SENAMHI – UNI para la zona de estudio  
Fuente: Elaboración Propia

## 6.1 Túnel Cero

Según los valores registrados, los cuantiles hallados con el método Local – Momentos L (distribución GNO) son los que presentan menores errores relativos. Los cuantiles hallados con el método RI son los menores del conjunto de resultados siendo estos no confiables para los PR de 100, 200 y 500 años. Esto se debería a que el valor de H1 es mayor o igual a 1.4, por lo cual las estaciones conformarían un grupo heterogéneo, lo cual ya se verificó para un PR de 500 años. Con respecto al método ARF (distribución GNO), sus valores se aproximan a los calculados por los métodos de Momentos e IILA – SENAMHI – UNI (ver Tabla N° 6-1). En la Figura N° 6-2 se muestra la comparación de tendencias, para la cual las distribuciones según los métodos Local – Momentos L e IILA – SENAMHI – UNI tendrían el mejor comportamiento.

Tabla N° 6-1 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Túnel Cero

Fuente: Elaboración Propia

PR	Registrados	Momentos	Máxima Verosimilitud	IILA-SENAMHI-UNI	Local – Momentos L	ARF <sup>(1)</sup> GNO	RI	
							<sup>(2)</sup> Altitud-Latitud-Longitud	<sup>(3)</sup> Distr. de Frecuencias
2	29	29	29	33	34	32	28	GEV
5	37	37	37	40	42	40	33	GEV
10	46	43	43	44	47	44	37	GLO
20	56	49	48	49	52	49	41	GEV
50	58	54	55	55	57	54	50	GLO
100	-	63	60	60	61	58	54	GNO
200	-	69	65	65	65	62	53	GNO
500	-	77	71	71	70	66	71	GLO
1000	-	83	76	76	74	70	-	-

Nota:

- (1) Distribución teórica de frecuencias según el ARF
- (2) Atributos seleccionados para el cálculo del cuantil según la RI
- (3) Distribución teórica de frecuencias para cada periodo de retorno según la RI

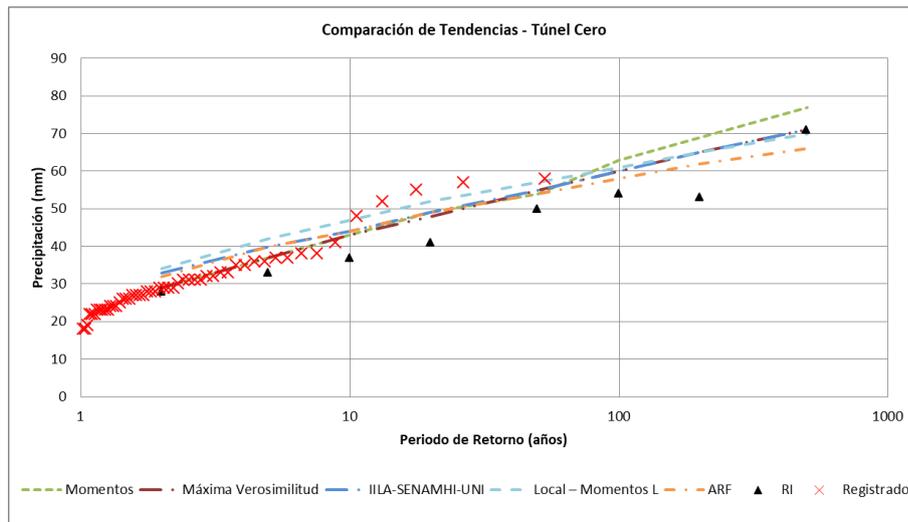


Figura N° 6-2 Comparación gráfica de tendencias – Estación Túnel Cero  
 Fuente: Elaboración Propia

## 6.2 Copará

Según los valores registrados, los cuantiles hallados con el método Local – Momentos L (distribución PE3) son los que presentan menores errores relativos. Sin embargo, ninguno de los métodos produce valores confiables debido, principalmente, al escaso número de estaciones cercana para realizar el análisis de regionalización y al carácter no estacionario de la zona de estudio (Tabla N° 6-2). Cabe señalar que el método IILA – SENAMHI – UNI no presenta coeficientes para el cálculo de las precipitaciones máximas en esta zona. En la Figura N° 6-3 se muestra la comparación de tendencias, para la cual la distribución según el método Local – Momentos L tendría el mejor comportamiento.

Tabla N° 6-2 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Copará  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Registrados	Momentos	Máxima Verosimilitud	IILA-SENAMHI-UNI	Local – Momentos L	ARF PE3	RI	
							Altitud-Latitud-Longitud	Distr. de Frecuencias
2	1	-	-	-	5	9	3	GEV
5	4	-	-	-	8	16	6	GPA
10	6	-	-	-	10	21	12	GNO
20	8	-	-	-	13	26	16	GEV
50	13	-	-	-	16	33	38	GNO
100	-	-	-	-	18	38	52	GNO
200	-	-	-	-	20	42	45	GEV
500	-	-	-	-	24	49	41	GLO
1000	-	-	-	-	26	53	-	-

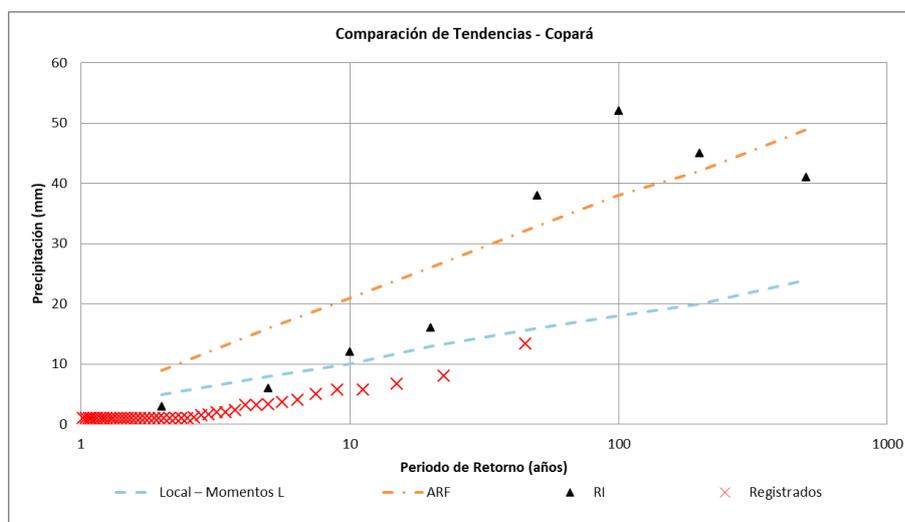


Figura N° 6-3 Comparación gráfica de tendencias – Estación Copará  
Fuente: Elaboración Propia

### 6.3 Acobambilla

Según los valores registrados, los cuantiles hallados con el método ARF (distribución GEV) son los que presentan menores errores relativos. Los cuantiles hallados con el método RI disminuyen respecto a los demás métodos para periodos de retorno superiores a excepción del método IILA – SENAMHI – UNI que presenta los menores valores (ver Tabla N° 6-3). En la Figura N° 6-4 se muestra la comparación de tendencias, para la cual las distribuciones según los métodos Local – Momentos L y ARF tendrían el mejor comportamiento.

Tabla N° 6-3 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Acobambilla  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Registrados	Momentos	Máxima Verosimilitud	IILA-SENAMHI-UNI	Local – Momentos L	ARF GEV	RI	
							Altitud-Latitud-Longitud	Distr. de Frecuencias
2	23	-	25	24	30	34	31	GLO
5	40	-	38	29	41	47	38	GLO
10	51	-	48	32	49	56	43	GLO
20	71	-	55	36	55	63	49	GLO
50	-	-	68	40	64	73	57	GLO
100	-	-	77	44	70	80	61	GNO
200	-	-	85	47	76	86	65	GNO
500	-	-	97	52	83	95	85	GLO
1000	-	-	106	55	88	101	-	-

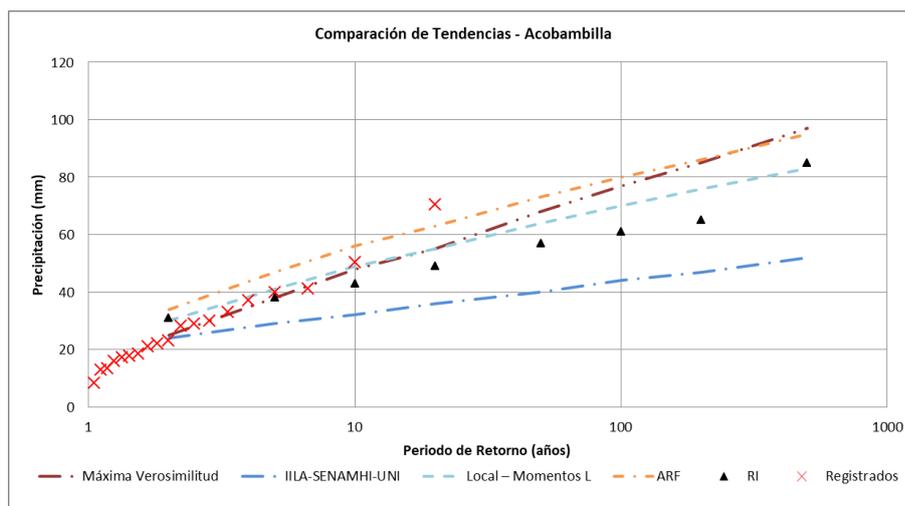


Figura N° 6-4 Comparación gráfica de tendencias – Estación Acobambilla  
Fuente: Elaboración Propia

## 6.4 Pecope

Según los valores registrados, los cuantiles hallados con el método RI son los que presentan menores errores relativos. Los cuantiles hallados con el método ARF (distribución GLO) son los mayores del conjunto de resultados siendo estos, en general, no confiables; sin embargo, se debe tener en cuenta la estación Pecope solo cuenta con un registro de 13 datos. Con respecto al método IILA – SENAMHI – UNI, sus predicciones son los menores del conjunto de resultados (ver Tabla N° 6-4). En la Figura N° 6-5 se muestra la comparación de tendencias, para la cual las distribuciones según los métodos RI y Local – Momentos L (distribución GLO) tendrían el mejor comportamiento.

Tabla N° 6-4 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Pecope  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Registrados	Momentos	Máxima Verosimilitud	IILA-SENAMHI-UNI	Local – Momentos L	ARF GLO	RI	
							Altitud-Latitud-Longitud	Distr. de Frecuencias
2	25	23	23	28	27	38	29	GPA
5	30	32	32	33	34	48	38	GLO
10	43	37	38	37	39	55	44	GLO
20	-	42	43	41	44	62	50	GLO
50	-	50	51	47	51	72	56	GLO
100	-	55	56	51	57	80	62	GEV
200	-	60	61	55	64	89	65	GEV
500	-	68	69	60	73	103	81	GLO
1000	-	74	75	64	82	115	-	-

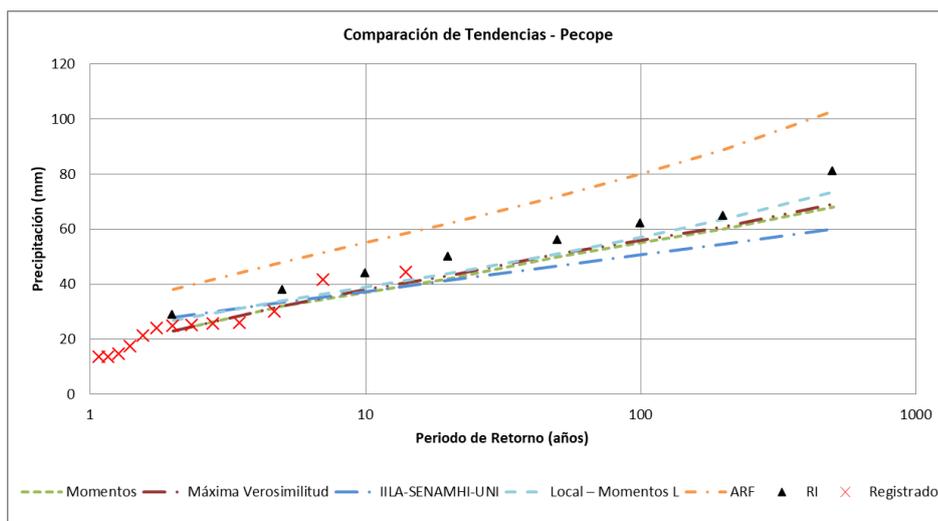


Figura N° 6-5 Comparación gráfica de tendencias – Estación Pecope  
Fuente: Elaboración Propia

### 6.5 Visuyo

Según los valores registrados, los cuantiles hallados con el método ARF (distribución GLO) son los que presentan menores errores relativos. Los cuantiles hallados con el método RI, momentos e IILA – SENAMHI – UNI son los menores del conjunto de resultados (ver Tabla N° 6-5). En la Figura N° 6-6 se muestra la comparación de tendencias, para la cual las distribuciones según los métodos ARF y Local – Momentos L (distribución GLO) tendrían el mejor comportamiento.

Tabla N° 6-5 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Visuyo  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Registrados	Momentos	Máxima Verosimilitud	IILA-SENAMHI-UNI	Local – Momentos L	ARF GLO	RI	
							Altitud-Latitud-Longitud	Distr. de Frecuencias
2	32	34	33	36	38	37	31	GEV
5	46	42	41	43	47	46	36	GEV
10	51	47	47	49	53	52	42	GLO
20	-	52	53	54	60	58	48	GLO
50	-	58	61	61	70	68	57	GLO
100	-	62	67	67	78	76	65	GLO
200	-	68	75	72	87	85	75	GLO
500	-	72	81	80	102	99	88	GLO
1000	-	76	88	85	114	111	-	-

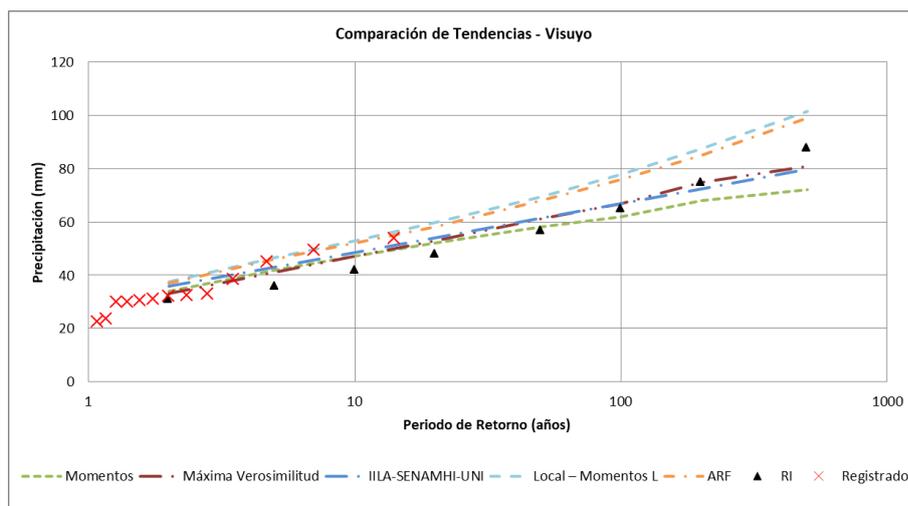


Figura N° 6-6 Comparación gráfica de tendencias – Estación Visuyo  
Fuente: Elaboración Propia

### 6.6 Omate

Según los valores registrados, los cuantiles hallados con el método ARF (distribución GNO) son los que presentan menores errores relativos. Los cuantiles hallados con el método RI son superiores a los registrados (hasta por 10 mm) siendo solo superados por los valores del método Local – Momentos L (ver Tabla N° 6-6). Cabe señalar que el método IILA – SENAMHI – UNI no presenta coeficientes para el cálculo de las precipitaciones máximas en esta zona. En la Figura N° 6-7 se muestra la comparación gráfica de tendencias, para la cual las distribuciones según los métodos ARF y Máxima Verosimilitud tendrían el mejor comportamiento.

Tabla N° 6-6 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Omate  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Registrados	Momentos	Máxima Verosimilitud	IILA-SENAMHI-UNI	Local – Momentos L	ARF GNO	RI	
							Altitud-Latitud-Longitud	Distr. de Frecuencias
2	15	15	15	-	16	15	15	PE3
5	24	23	25	-	28	26	25	PE3
10	33	30	32	-	38	34	40	GPA
20	38	36	39	-	49	44	48	PE3
50	55	47	52	-	64	57	63	GPA
100	-	55	61	-	77	69	72	GNO
200	-	62	70	-	91	81	84	GEV
500	-	76	86	-	112	99	75	GLO
1000	-	86	98	-	129	114	-	-

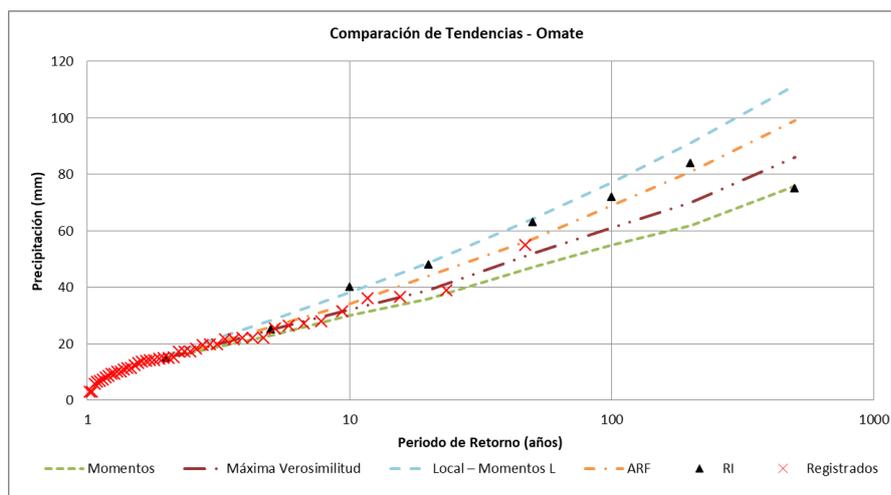


Figura N° 6-7 Comparación gráfica de tendencias – Estación Omate  
Fuente: Elaboración Propia

### 6.7 Orcopampa

Según los valores registrados, los cuantiles hallados con el método de los Momentos (distribución Log-Pearson Tipo III) son los que presentan menores errores relativos. Los cuantiles hallados con el método RI presentan un buen comportamiento hasta el PR de 20 años, sin embargo, para un PR de 50 años se presentaría un valor atípico para el cual no se pueden ajustar los modelos utilizados (ver Tabla N° 6-7). En la Figura N° 6-8 se muestra la comparación de tendencias, para la cual la distribución de los Momentos tendría el mejor comportamiento.

Tabla N° 6-7 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Orcopampa  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Registrados	Momentos	IILA- SENAMHI- UNI	Local – Momentos L	ARF GEV	RI	
						Altitud- Latitud- Longitud	Distr. de Frecuencias
2	25	24	30	28	28	24	GLO
5	31	33	37	39	38	32	GLO
10	38	40	43	46	45	37	GLO
20	46	47	48	52	51	42	GLO
50	80	60	55	60	59	51	GLO
100	-	71	61	66	65	55	GLO
200	-	80	66	72	71	62	GLO
500	-	101	73	80	79	71	GLO
1000	-	117	78	86	84	-	-

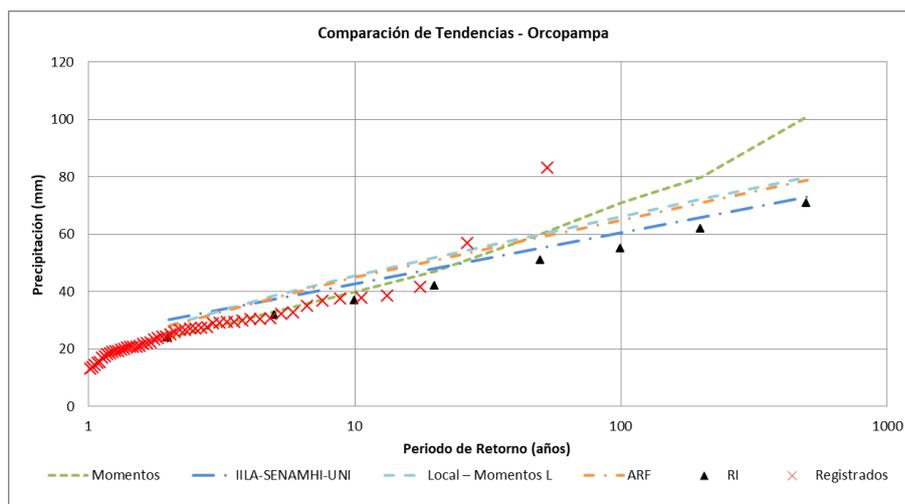


Figura N° 6-8 Comparación gráfica de tendencias – Estación Orcopampa  
Fuente: Elaboración Propia

### 6.8 Camaná

Según los valores registrados, los cuantiles hallados con el método de los Momentos (Lognormal 2P) son los que presentan menores errores relativos. Los cuantiles hallados con los métodos RI y ARF son los menores del grupo de resultados (ver Tabla N° 6-8). Esto se debe a que el número de estaciones cercanas a la zona de estudio es muy escaso para la implementación de un método de regionalización, teniendo en cuenta además la falta de similitud respecto a los atributos geográficos con otras estaciones consideradas. En la Figura N° 6-9 se muestra la comparación de tendencias, para la cual las distribuciones según los métodos de Momentos y Máxima Verosimilitud tendrían el mejor comportamiento.

Tabla N° 6-8 Cuantiles registrados y estimados (mm) para diferentes periodos de retorno y métodos para la estación Camaná  
Fuente: Elaboración Propia

PR	Registrados	Momentos	Máxima Verosimilitud	IILA-SENAMHI-UNI	Local – Momentos L	ARF PE3	RI	
							Altitud-Latitud-Longitud	Distr. de Frecuencias
2	2	2	2	-	4	2	1	GEV
5	5	5	5	-	8	4	1	GEV
10	10	7	7	-	12	5	1	GLO
20	13	10	10	-	15	6	2	GNO
50	17	15	14	-	20	8	3	PE3
100	-	18	18	-	24	10	5	PE3
200	-	22	22	-	28	11	7	GNO
500	-	29	28	-	33	13	5	GEV
1000	-	35	34	-	37	15	-	-

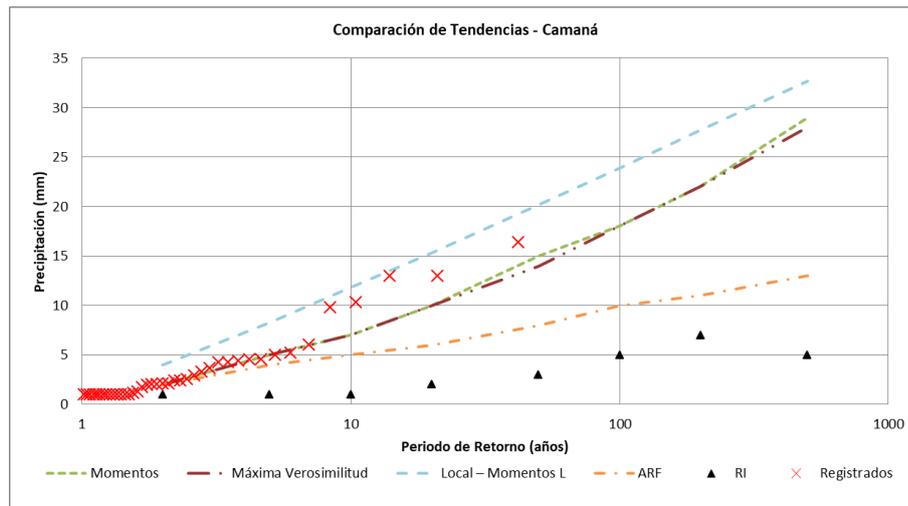


Figura N° 6-9 Comparación gráfica de tendencias – Estación Camaná  
 Fuente: Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la escasa cantidad de estaciones pluviométricas, su limitada longitud de registro en muchos casos y su confiabilidad, el uso de métodos de regionalización hidrológica resulta de especial interés y aplicación, ya que se aprovecha de un mayor número de registros al incluir los datos de estaciones vecinas y permitir, de este modo, la transferencia de información de un sitio a otro en zonas hidrológicamente semejantes.

En lo concerniente a esta problemática, la regionalización hidrológica de precipitaciones máximas diarias se realizó con el fin de estimar sus respectivos valores para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años en áreas sin instrumentación pluviométrica o limitada información al respecto. La regionalización hidrológica se efectuó a través de dos métodos basados en los Momentos L: el Análisis Regional de Frecuencia (ARF) y la Región de Influencia (RI). El área de estudio es la zona Sur – Occidental del Perú correspondiente a seis (06) departamentos: Huancavelica, Ica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa y Moquegua.

Se empleó la tecnología SIG (PostGIS y QGIS) y software estadístico (R) para el manejo del gran volumen de datos (368 estaciones pluviométricas distribuidas en un área de 1.29 millones de km<sup>2</sup>) a través de la elaboración de una base de datos espacial y su procesamiento. Con el Análisis Regional de Frecuencia (ARF) se determinó grupos de estaciones hidrológicamente similares, los cuales conformaron regiones con estaciones cuyos datos comparten la misma distribución de frecuencias, logrando así delinear regiones homogéneas. Por su parte, a través del método de Región de Influencia (RI) se formaron regiones a partir de una sola zona de interés, para lo cual se evaluaron datos de posibles estaciones hidrológicamente similares. Para ambos métodos se usó los Momentos L para la estimación de las distribuciones de frecuencia regional y se analizó la similitud entre estaciones basada en características geográficas como la altitud, longitud y latitud. Teniendo en cuenta estas tres consideraciones: el manejo de datos, el ARF y la RI, las conclusiones de indican a continuación:

### **Manejo de Datos**

- Con el fin de manejar adecuadamente el volumen de información disponible, se recurrió a una base de datos SIG y al uso de un lenguaje de programación con el fin de elaborar el reporte automático de resultados y gráficos, para lo cual el programa R (software libre) demostró ser un programa muy versátil para el procesamiento de la data en el campo de la hidrología, contando con varias herramientas de cálculo y paquetes orientados al análisis hidrológico como el ImomRFA, usado en la presente tesis;
- Preliminarmente, la selección de estaciones es tal que la estación cuente con al menos 10 años de registro disponible. La elección de 10 años es subjetiva, considerando que al usar un registro mínimo más largo se disminuiría considerablemente el número de estaciones disponibles en el área de estudio, el cual ya tiene una cobertura de datos limitada, además, con un registro de 10 años se tiene una noción de las precipitaciones en años secos y húmedos. Teniendo en cuenta este criterio se tendría un total de 213 estaciones (una reducción del 42% del número de estaciones);
- Según el análisis exploratorio de datos, basado en el análisis de consistencia (tendencia y homogeneidad), inspección visual y discordancia (en función de los Momentos L) permanecieron 173 estaciones de las 368 estaciones iniciales, es decir, solo un 47%, resultando una densidad de estaciones pluviométricas de 1 estación cada 1340 km<sup>2</sup>;

### **Regionalización ARF**

- El uso de métodos de agrupación preliminar tales como el de Ward y K-means sirvieron de fundamento para hallar una delineación patrón que permitió hallar 10 (diez) grupos a partir de las características geográficas de 173 estaciones (disponibles luego de la depuración);

- Debido a la limitada densidad de estaciones pluviométricas en la zona de estudio, se asumió que los grupos formados cuya medida de heterogeneidad sea  $H < 2$  (posiblemente heterogénea), basado en los Momentos L, cumplen suficientemente con el criterio de homogeneidad para la formación de regiones hidrológicas en el presente estudio;
- A partir de la base de 10 (diez) grupos formados, y luego de realizar los cálculos de discordancia y homogeneidad hasta alcanzar los criterios o restricciones ( $D < 3$  y  $1 H < 2$ ), se obtuvo como resultado 8 (ocho) regiones hidrológicas según se muestra a continuación:

Parámetro/Región	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
Número de Estaciones	20	16	28	44	19	22	20	4
D	2.29	2.22	2.64	2.44	2.15	2.36	2.70	1.00
H1	1.43	1.69	1.68	1.54	1.91	1.18	1.69	-0.18
H2	1.06	1.18	-0.16	-1.09	1.61	0.33	0.31	-0.79
H3	0.59	0.36	0.33	0.46	1.53	0.21	-0.42	-0.52

- Según la prueba de bondad de ajuste para el análisis regional, las distribuciones de mejor ajuste corresponden a:

R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
GNO	PE3	GEV	GLO	GLO	GNO	GEV	PE3

- Para el cálculo de los índices de tormenta (o momentos  $I_1$ ) en toda la extensión del área de estudio fue necesario recurrir a métodos de interpolación. En este caso se compararon los métodos Kriging Ordinario y Co-Kriging a través de técnicas de validación, resultando el segundo ser el de mejor desempeño.
- El método presenta resultados satisfactorios en cinco casos: Túnel Cero, Acobambilla, Visuyo, Omate y Orcopampa, teniendo en cuenta el carácter “posiblemente heterogéneo” de la regiones y la falta de similitud de atributos geográficos con otras estaciones con registros como en el

caso de Copará y Camaná. Cabe resaltar que el desempeño del método fue sobresaliente en los casos de Acobambilla, Visuyo y Omate.

### **Regionalización RI**

- Se asumió que los grupos formados cuya medida de heterogeneidad sea  $1 \leq H \leq 2$  (posiblemente heterogénea) cumplen suficientemente con el criterio de homogeneidad para la formación de regiones hidrológicas en el presente estudio.
- Los grupos formados están conformados por estaciones ubicadas a una distancia de más de 300 km, aproximadamente, del punto de análisis (ver Figuras en ítem 5.3), por lo tanto, una distancia importante entre el punto de análisis y estaciones con data disponible no es restrictivo para la formación de regiones hidrológicas.
- De los ocho puntos de análisis, cinco cumplen suficientemente con el criterio de homogeneidad y la regla 5T hasta un PR de 200 años (Túnel Cero, Acobambilla, Pecope, Visuyo y Camaná), dos lo cumplen hasta un PR de 100 años (Copará y Orcopampa) y uno hasta un PR de 50 años (Omate).
- Los atributos geográficos o descriptores con mejor desempeño para la predicción de cuantiles, de acuerdo a los errores estándar residuales ( $E_r$ ) y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) son las combinaciones Altitud – Latitud y Altitud – Latitud – Longitud según:

Punto de Análisis	Altitud - Latitud		Altitud - Latitud - Longitud	
	$E_r$	$R^2$	$E_r$	$R^2$
Túnel Cero	0.50	0.71	0.46	0.76
Copará	0.46	0.71	0.44	0.74
Acobambilla	0.51	0.72	0.46	0.77
Pecope	0.51	0.71	0.46	0.77
Visuyo	0.51	0.70	0.47	0.75
Omate	0.50	0.71	0.46	0.76
Orcopampa	0.50	0.71	0.45	0.76
Camaná	0.47	0.73	0.43	0.77

- El método presenta resultados satisfactorios en cuatro casos: Pecope, Visuyo, Omate y Orcopampa, teniendo en cuenta el carácter “posiblemente heterogéneo” de la región y la falta de similitud de atributos geográficos con otras estaciones con registros como en el caso de Copará y Camaná.
- Los métodos de regionalización ARF y RI tienden a describir una curva más pronunciada para periodos de retorno mayores tales como 50, 100 o 500 años, a excepción de aquellas estaciones con una longitud de registro mayor a 50 años. Esto debido a que consideran un mayor número de datos, con respecto al análisis local, tomados a partir de estaciones vecinas y, por lo tanto, describir mejor la tendencia de la curva para periodos de retorno considerables.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de atributos climáticos tales como la precipitación anual o la precipitación total en temporada húmeda para evaluar el desempeño del método.
- Se recomienda extender la base de datos actual a través de un sistema soportado en una base de datos en la web con la finalidad de hacer más dinámico el manejo de datos, incrementar la data y reducir la incertidumbre de los resultados.
- Se recomienda la implementación de métodos de predicción de precipitaciones extremas a través del análisis regional con ARF o RI para zonas sin registros o con un registro limitado (< 30 años), para estudios hidrológicos con carácter de factibilidad o definitivo debido a que se disminuye el riesgo de subestimar las precipitaciones de diseño para periodos de retorno considerables, como en el caso de diseño de cimentaciones de puentes o canales de aliviaderos (PR= 500 años).

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Bedient P., Huber W., Vieux B., Hydrology and Floodplain Analysis, Prentice Hall (Fourth Edition), USA, 2008.
- Castellarin A., Vogel R., Matalas N., Multivariate Probabilistic Regional Envelopes of Extreme Floods, Elsevier, Amsterdam, 2007.
- Crawley M., The R Book (First Edition), Wiley, Londres, 2007.
- Di Baldassarre G., Castellarin A., Brath A., Relationships between Statistics of Rainfall Extremes and Mean Annual Precipitation: An Application for Design – Storm Estimation in Northern Central Italy, Hydrology and Earth System Sciences, Göttingen, 2006.
- Fernández C., Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola - Mapeo del Análisis Regional de Frecuencia de Precipitaciones Máximas para la Cuenca Hidrográfica del Lago Titicaca empleando L – Momentos, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, 2014.
- Gaál L., Kysely J., Szolgay J., Region-of-Influence Approach to a Frequency Analysis of Heavy Precipitation in Slovakia, Hydrology and Earth System Sciences, Göttingen, 2008.
- García E., Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Instituto de Geografía – Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2004.
- Greenwood J., Landwehr J., Matalas N., Wallis J., Probability Weighted Moments: Definition and Relation to Parameters of Several Distributions Expressible in Inverse Form, Water Resources Research, Nueva York, 1979.

- Hosking, J. R. M., L – Moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics, Royal Statistical Society, Londres, 1990.
- Hosking J. R. M., Wallis J. R., Regional Frequency Analysis: An approach Based on L – Moments, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- IILA – UNI – SENAMHI, Estudio de la Hidrología del Perú, ”, Convenio de Cooperación Técnica del Instituto Ítalo-Latino Americano, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y Universidad Nacional de Ingeniería, Roma, 1983.
- Irwin S., Assessment of the Regionalization of Precipitation in Two Canadian Climate Regions: A Fuzzy Clustering Approach, Ontario, 2015.
- Kite G. W., Frequency and Risk Analyses in Hydrology (First Edition), Water Resources Publications, Colorado, 1988.
- Lujano E., Felipe O., Análisis de Frecuencia Regional de las Precipitaciones Máximas Diarias en la Región Hidrográfica del Titicaca, Revista de Investigaciones Altoandinas, Puno, 2015.
- Luna J., Domínguez R., Un Método para el Análisis de Frecuencia Regional de Lluvias Máximas Diarias: Aplicación en los Andes Bolivianos, Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, vol. 21 N°1, pp. 111-124, 2013.
- MacQueen J., Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations, Universidad de California, Los Angeles, 1967.
- Myers J., Dell T., Reich R., Theory and Derivation for Weibull Parameter Probability Weighted Moment Estimators, United States Department of Agriculture, 1990.
- Obe R., Hsu L., PostgreSQL: Up and Running (First Edition), O’Reilly, California, 2012.

- Pareja J., El Clima del Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 1936.
- Pettitt A., A Non-Parametric Approach to the Change-point Problem, University of Technology, Loughborough, Leicestershire, 1979.
- Rao S., Bhabani S., Moment Analysis for Subsurface Hydrologic Applications (First Edition), Springer, Dordrecht, 2007
- Rau P., Bourrel L., Labat D., Lavado W., Melo P., Dewitte B., Felipe O., Frappart F., Regionalization of rainfall over the peruvian pacific slope and coast, Royal Meteorological Society, Oxford, 2016.
- Salaverry J., Macro-ecología de los Andes Peruanos (Primera Edición), Instituto Francés de Estudios Andino, Lima, 2006.
- Solomon S., Denouvilliez J., Chart E., Wooley J., Cadou C., The use of a square grid system for computer estimation of precipitation, temperature and runoff, Water Resources Research, Bologna, 1968.
- Stedinger J. R., Vogel R. M., Foufoula-Georgiou E., Frequency analysis of extreme events, Handbook of Hydrology, New York, 1993.
- Szolgay, J., Parajka, J., Kohnová, S., Hlavčová, K., Comparison of mapping approaches of design annual maximum daily precipitation, Elsevier, Amsterdam, 2009.
- Ward J., Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function, Journal of the American Statistical Association, 1963.
- Wouter B., Lavado W., Avalos G., Interpolación de Información Climática a Nivel Nacional, SENMAHI – Imperial College London, Lima, 2011.

- Yue S., Pilon P., Phinney B., Cavadias G., The Influence of Autocorrelation on the Ability to Detect Trend in Hydrological Series, Wiley InterScience, Ontario, 2002.
- Yurekli K., Modarres R., Ozturk F., Regional daily maximum rainfall estimation for Cekerek Watershed by L-moments, Royal Meteorological Society, Oxford, 2009.

## ANEXOS

ANEXO A: INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA	173
Anexo A.1: Estaciones Meteorológicas	174
Anexo A.2: Mapas de Ubicación de Las Estaciones	185
ANEXO B: ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	192
Anexo B.1: Gráficas de Series de Tiempo de Precipitaciones	
Máximas Diarias Anuales	193
Anexo B.2: Diagramas de Caja de Precipitaciones Máximas	
Diarias Anuales	201
Anexo B.3: Análisis de Tendencia	205
Anexo B.4: Análisis de Homogeneidad	215
ANEXO C: CUANTILES LOCALES	221
ANEXO D: REGIÓN DE INFLUENCIA	254

## **ANEXO A: INFORMACIÓN PLUVIÓMETRICA**

## **ANEXO A.1: ESTACIONES METEOROLÓGICAS**

	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud de registro (años)	Promedio	Desviación Estándar	Se Excluye
1	ABANCAY	000605	-13.608	-72.870	2776	APURIMAC	ABANCAY	TAMBURCO	36	29	8	
2	ANDAHUAYLAS	000669	-13.657	-73.371	2865	APURIMAC	ANDAHUAYLAS	ANDAHUAYLAS	41	26	7	
3	ANDARAPA	156222	-13.517	-73.367	2819	APURIMAC	ANDAHUAYLAS	ANDARAPA	16	18	7	√
4	ANTABAMBA	000748	-14.367	-72.883	3817	APURIMAC	ANTABAMBA	ANTABAMBA	12	33	9	
5	CHALHUANCA	000747	-14.392	-73.179	3358	APURIMAC	AYMARAES	COTARUSE	12	37	10	
6	CHALHUANCA II	007747	-14.333	-73.167	3548	APURIMAC	AYMARAES	CHALHUANCA	25	29	7	
7	CUNYAC	156224	-13.550	-72.574	2345	APURIMAC	ABANCAY	CURAHUASI	12	19	6	
8	CURAHUASI	000677	-13.552	-72.735	2763	APURIMAC	ABANCAY	CURAHUASI	50	29	10	
9	HUANCABAMBA	156223	-13.733	-73.036	3925	APURIMAC	ABANCAY	PICHIRHUA	18	27	7	
10	HUANCARAY	156221	-13.750	-73.533	2959	APURIMAC	ANDAHUAYLAS	HUANCARAY	18	30	8	
11	PAMPACHIRI	000728	-14.183	-73.550	3364	APURIMAC	ANDAHUAYLAS	PAMPACHIRI	13	28	9	
12	PAMPAS	156217	-13.433	-73.828	2031	APURIMAC	CHINCHEROS	HUACCANA	18	25	7	
13	PECOPE	157221	-14.067	-73.450	4188	APURIMAC	ANDAHUAYLAS	TUMAY HUARACA	13	25	10	
14	TAMBOBAMBA	000811	-13.946	-72.176	3317	APURIMAC	COTABAMBAS	TAMBOBAMBA	19	39	10	
15	ACARI	000733	-15.400	-74.617	228	AREQUIPA	CARAVELI	ACARI	21	2	3	√
16	AGUADA BLANCA	000797	-16.233	-71.345	3765	AREQUIPA	AREQUIPA	CAYMA	10	20	7	√
17	ANDAHUA	157310	-15.483	-72.350	3587	AREQUIPA	CASTILLA	ANDAGUA	46	25	10	
18	ANTIQUILLA	008791	-16.400	-71.567	2322	AREQUIPA	AREQUIPA	CERRO COLORADO	27	15	9	
19	APLAO	000833	-16.069	-72.490	645	AREQUIPA	CASTILLA	APLAO	50	3	3	
20	AREQUIPA	140801	-16.350	-71.567	2525	AREQUIPA	AREQUIPA	CERRO COLORADO	35	17	16	
21	ATIQUIPA	000734	-15.783	-74.367	518	AREQUIPA	CARAVELI	ATIQUIPA	14	13	10	
22	AYO	157313	-15.679	-72.270	1956	AREQUIPA	CASTILLA	AYO	55	14	11	
23	CABANACONDE	000795	-15.618	-71.968	3331	AREQUIPA	CAYLLOMA	CABANACONDE	55	30	14	
24	CAMANA	000832	-16.625	-72.699	9	AREQUIPA	CAMANA	SAMUEL PASTOR	41	4	4	

	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud de registro (años)	Promedio	Desviación Estándar	Se Excluye
25	CARAVELI	000746	-15.771	-73.361	1758	AREQUIPA	CARAVELI	CARAVELI	48	10	8	
26	CAYLLOMA	000753	-15.185	-71.768	4327	AREQUIPA	CAYLLOMA	CAYLLOMA	31	35	6	
27	CHACHAS	157312	-15.499	-72.267	3130	AREQUIPA	CASTILLA	CHACHAS	51	22	8	
28	CHALA	000891	-15.865	-74.245	140	AREQUIPA	CARAVELI	CHALA	15	2	3	√
29	CHAPARRA	000741	-15.750	-73.867	1140	AREQUIPA	CARAVELI	CHAPARRA	32	3	3	
30	CHARACATO	000836	-16.450	-71.483	2483	AREQUIPA	AREQUIPA	SABANDIA	15	31	26	
31	CHICHAS	157300	-15.544	-72.916	2161	AREQUIPA	CONDESUYOS	CHICHAS	51	17	8	
32	CHIGUATA	000847	-16.400	-71.400	2902	AREQUIPA	AREQUIPA	CHIGUATA	50	22	11	
33	CHINCHAYLLAPA	157305	-14.917	-72.733	4497	AREQUIPA	LA UNION	HUAYNACOTAS	45	25	8	
34	CHIVAY	000758	-15.638	-71.597	3644	AREQUIPA	CAYLLOMA	CHIVAY	49	26	7	
35	CHOCO	157314	-15.567	-72.117	2428	AREQUIPA	CASTILLA	CHOCO	47	17	7	
36	CHUQUIBAMBA	000750	-15.838	-72.648	2858	AREQUIPA	CONDESUYOS	CHUQUIBAMBA	44	25	15	
37	COLEGIO M. FRANCISCO BOLOGNESI	008792	-16.400	-71.533	2359	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	17	30	10	√
38	CONDOROMA	000710	-15.400	-71.300	4160	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALLI	20	33	8	
39	COTAHUASI	000749	-15.208	-72.891	2683	AREQUIPA	LA UNION	COTAHUASI	43	22	9	
40	EL FRAYLE	000849	-16.155	-71.189	4121	AREQUIPA	AREQUIPA	SAN JUAN DE TARUCANI	44	24	8	
41	HACIENDA MOROCAQUI	157330	-15.617	-71.050	4438	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALLI	33	28	8	
42	HACIENDA PAMPATA	158200	-16.550	-72.700	100	AREQUIPA	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA	18	2	1	√
43	HUAMBO	157315	-15.732	-72.102	3319	AREQUIPA	CAYLLOMA	HUAMBO	49	24	9	
44	HUANCA	008203	-16.031	-71.878	3058	AREQUIPA	CAYLLOMA	HUANCA	37	24	16	
45	HUARATO	157203	-15.283	-74.567	353	AREQUIPA	CARAVELI	ACARI	21	6	5	
46	HUASACACHE	000799	-16.467	-71.550	2207	AREQUIPA	AREQUIPA	JACOBO HUNTER	22	14	11	
47	IMATA	000765	-15.836	-71.088	4519	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	56	30	9	

	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud de registro (años)	Promedio	Desviación Estándar	Se Excluye
48	JANACANCHA (CAYLLOMA)	157318	-15.184	-71.767	4299	AREQUIPA	CAYLLOMA	CAYLLOMA	39	36	10	
49	LA ANGOSTURA	000754	-15.179	-71.649	4265	AREQUIPA	CAYLLOMA	CAYLLOMA	53	37	8	
50	LA CALERA	157323	-15.283	-72.017	4370	AREQUIPA	CAYLLOMA	CAYLLOMA	14	28	5	
51	LA JOYA	000804	-16.592	-71.919	1276	AREQUIPA	AREQUIPA	VITOR	48	3	3	√
52	LA PAMPILLA	000839	-16.405	-71.523	2365	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	52	17	18	
53	LA PULPERA	157327	-15.617	-71.450	4377	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALLI	33	28	18	
54	LAS SALINAS	158209	-16.318	-71.148	4378	AREQUIPA	AREQUIPA	CHIGUATA	50	19	9	
55	LOMAS	000890	-15.567	-74.829	20	AREQUIPA	CARAVELI	LOMAS	15	2	2	√
56	MACHAGUAY	007308	-15.645	-72.502	3150	AREQUIPA	CASTILLA	MACHAGUAY	47	23	10	
57	MADRIGAL	157317	-15.616	-71.811	3276	AREQUIPA	CAYLLOMA	MADRIGAL	46	25	8	
58	MOLLENDO	000800	-17.033	-72.017	13	AREQUIPA	ISLAY	MOLLENDO	15	3	3	√
59	OCONA	000831	-16.433	-73.100	58	AREQUIPA	CAMANA	OCONA	14	3	5	√
60	ORCOPAMPA	157311	-15.261	-72.339	3779	AREQUIPA	CASTILLA	ORCOPAMPA	52	27	11	
61	PAMPA BLANCA	000837	-17.068	-71.723	106	AREQUIPA	ISLAY	COCACHACRA	49	3	3	
62	PAMPA DE ARRIEROS	158204	-16.063	-71.589	3715	AREQUIPA	AREQUIPA	YURA	47	21	14	
63	PAMPA DE MAJES	000805	-16.328	-72.211	1434	AREQUIPA	AREQUIPA	SANTA ISABEL DE SIGUAS	46	3	4	
64	PAMPACOLCA	000751	-15.714	-72.567	2950	AREQUIPA	CASTILLA	PAMPACOLCA	44	22	10	
65	PILLONES	158208	-15.979	-71.213	4455	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	52	26	9	
66	PORPERA	157329	-15.350	-71.317	4195	AREQUIPA	CAYLLOMA	TISCO	50	31	15	
67	PUICA	157307	-15.067	-72.692	3661	AREQUIPA	LA UNION	PUYCA	28	24	10	
68	PULLHUAY	157309	-15.136	-72.753	3455	AREQUIPA	LA UNION	ALCA	44	26	9	
69	PUNTA ATICO	000830	-16.228	-73.694	20	AREQUIPA	CARAVELI	ATICO	38	3	3	√
70	PUSA PUSA	157322	-15.217	-71.650	4226	AREQUIPA	CAYLLOMA	CAYLLOMA	17	35	6	√
71	SALAMANCA	000801	-15.500	-72.833	3203	AREQUIPA	CONDESUYOS	SALAMANCA	52	22	8	

	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud de registro (años)	Promedio	Desviación Estándar	Se Excluye
72	SANTA ISABEL DE SIGUAS	158201	-16.333	-72.117	1363	AREQUIPA	AREQUIPA	SANTA ISABEL DE SIGUAS	19	4	5	√
73	SANTA RITA	000829	-16.467	-72.117	1297	AREQUIPA	AREQUIPA	SANTA RITA DE SIGUAS	13	3	4	√
74	SIBAYO	000755	-15.485	-71.453	3806	AREQUIPA	CAYLLOMA	SIBAYO	55	33	8	
75	SOCABAYA	158205	-16.467	-71.533	2277	AREQUIPA	AREQUIPA	SOCABAYA	33	15	12	
76	SUMBAY	157328	-15.979	-71.358	4294	AREQUIPA	AREQUIPA	YURA	41	28	12	
77	TISCO	157325	-15.350	-71.450	4175	AREQUIPA	CAYLLOMA	TISCO	50	38	14	
78	URASQUI	158100	-16.033	-73.167	330	AREQUIPA	CAMANA	MARIANO NICOLAS VALCARCEL	15	1	0	√
79	VISUYO	157319	-15.400	-71.733	4814	AREQUIPA	CAYLLOMA	LARI	13	35	9	
80	VITOR	140803	-16.417	-71.833	1594	AREQUIPA	AREQUIPA	VITOR	15	5	6	
81	YANAQUIHUA	000864	-15.783	-72.883	3130	AREQUIPA	CONDESUYOS	YANAQUIHUA	50	23	15	
82	YANQUE	157321	-15.650	-71.583	4104	AREQUIPA	CAYLLOMA	CHIVAY	36	25	11	
83	ALLPACHACA	000662	-13.383	-74.267	3600	AYACUCHO	HUAMANGA	CHIARA	24	33	8	
84	ANCO	156216	-12.967	-73.567	1379	AYACUCHO	LA MAR	ANCO	19	28	6	
85	ANDAMARCA	000737	-14.383	-73.967	3509	AYACUCHO	LUCANAS	CARMEN SALCEDO	18	28	8	
86	AUCARA	157212	-14.283	-73.967	3157	AYACUCHO	LUCANAS	CABANA	22	28	8	
87	AYACUCHO	140654	-13.150	-74.200	2761	AYACUCHO	HUAMANGA	TAMBILLO	28	27	14	√
88	CARHUANCA	156214	-13.733	-73.783	3278	AYACUCHO	VILCAS HUAMAN	CARHUANCA	18	32	13	
89	CARHUANILLAS	157220	-15.133	-73.733	3479	AYACUCHO	PARINACOCAS	CHUMPI	19	31	18	√
90	CCECCANA	157215	-14.600	-74.000	4406	AYACUCHO	LUCANAS	PUQUIO	15	35	13	
91	CECCHAPAMPA	000738	-14.833	-74.000	3900	AYACUCHO	LUCANAS	SAN PEDRO	15	33	6	
92	CERRO CONDORILLO	157209	-14.600	-74.267	3256	AYACUCHO	LUCANAS	LUCANAS	28	27	10	
93	CHAVINA	000742	-14.983	-73.833	3207	AYACUCHO	LUCANAS	CHAVICA	17	34	10	
94	CHILCAYOC	156212	-13.883	-73.726	3410	AYACUCHO	SUCRE	CHILCAYOC	50	27	9	

	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud de registro (años)	Promedio	Desviación Estándar	Se Excluye
95	CHIPAO	157214	-14.367	-73.883	3342	AYACUCHO	LUCANAS	CHIPAO	18	28	26	√
96	CHUNGUI	156220	-13.217	-73.617	3645	AYACUCHO	LA MAR	CHUNGUI	15	48	15	
97	CHUSCHI	156206	-13.583	-74.350	3160	AYACUCHO	CANGALLO	CHUSCHI	17	36	10	
98	CORACORA	000743	-15.012	-73.779	3200	AYACUCHO	PARINACOCHAS	CORACORA	44	28	10	
99	HACIENDA COCHAS	156215	-13.033	-73.883	3323	AYACUCHO	LA MAR	SAN MIGUEL	10	76	58	√
100	HUACANA	157213	-14.167	-73.883	3120	AYACUCHO	SUCRE	HUACANA	18	26	6	√
101	HUAC-HUAS	151602	-14.132	-74.941	3180	AYACUCHO	LUCANAS	HUAC-HUAS	33	36	16	
102	HUAMANGA	000661	-13.150	-74.217	2761	AYACUCHO	HUAMANGA	JESUS NAZARENO	33	29	8	
103	HUANCAPI	000665	-13.749	-74.068	3120	AYACUCHO	VICTOR FAJARDO	HUANCAPI	39	34	10	
104	HUANCASANCOS	156218	-13.917	-74.333	3440	AYACUCHO	HUANCA SANCOS	SANCOS	18	30	9	
105	HUANTA	000660	-12.946	-74.239	2610	AYACUCHO	HUANTA	HUANTA	25	29	9	
106	INCUYO	000744	-15.250	-73.567	3296	AYACUCHO	PARINACOCHAS	PUYUSCA	18	31	15	
107	LA QUINUA	000663	-13.055	-74.141	3240	AYACUCHO	HUAMANGA	QUINUA	46	32	7	
108	LAMPA	157223	-15.183	-73.350	2880	AYACUCHO	PAUCAR DEL SARA SARA	LAMPA	48	16	11	√
109	LARAMATE	151603	-14.300	-74.833	3340	AYACUCHO	LUCANAS	LARAMATE	11	24	12	
110	LLAUTA	157200	-14.246	-74.926	2445	AYACUCHO	LUCANAS	LLAUTA	46	20	8	
111	LUCANAS	157206	-14.620	-74.232	3200	AYACUCHO	LUCANAS	LUCANAS	50	30	13	
112	LURICOCHA	156209	-12.817	-74.234	3790	AYACUCHO	HUANTA	LURICOCHA	31	26	8	
113	MACHENTE	156213	-12.684	-73.873	1080	AYACUCHO	LA MAR	AYNA	17	49	17	
114	OCANA	157202	-14.400	-74.817	2760	AYACUCHO	LUCANAS	OCANA	24	18	7	
115	OTOCA	157201	-14.483	-74.683	2055	AYACUCHO	LUCANAS	OTOCA	35	14	8	
116	PAICO	157217	-14.033	-73.667	3589	AYACUCHO	SUCRE	PAICO	33	32	14	
117	PALCACHACRA	000735	-14.533	-74.283	3300	AYACUCHO	LUCANAS	LUCANAS	12	28	5	
118	PAMPA GALERAS	000739	-14.667	-74.400	3950	AYACUCHO	LUCANAS	LEONCIO PRADO	31	33	10	

	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud de registro (años)	Promedio	Desviación Estándar	Se Excluye
119	PAMPAHUASI	157205	-14.483	-74.250	3722	AYACUCHO	LUCANAS	LUCANAS	17	36	11	
120	PAMPAMARCA	157207	-14.233	-74.200	4222	AYACUCHO	LUCANAS	AUCARA	33	28	10	
121	PARAS	156203	-13.550	-74.633	3330	AYACUCHO	CANGALLO	PARAS	17	35	22	
122	PAUCACORRAL	157210	-14.667	-74.100	3398	AYACUCHO	LUCANAS	PUQUIO	32	23	9	
123	PAUCARAY	000792	-14.044	-73.638	3280	AYACUCHO	SUCRE	SANTIAGO DE PAUCARAY	35	34	8	
124	PAUSA	000745	-15.267	-73.333	2484	AYACUCHO	PAUCAR DEL SARA SARA	PAUSA	46	26	22	
125	PUQUIO	000736	-14.699	-74.131	3052	AYACUCHO	LUCANAS	PUQUIO	51	25	9	
126	PUTACCASA	157204	-14.117	-74.200	4100	AYACUCHO	HUANCA SANCOS	SACSAMARCA	11	25	13	√
127	QUEROBAMBA	000667	-14.017	-73.833	3502	AYACUCHO	SUCRE	QUEROBAMBA	15	35	22	√
128	RAYUSCA	156207	-13.883	-74.417	3924	AYACUCHO	HUANCA SANCOS	SANTIAGO DE LUCANAMARCA	26	17	9	√
129	SAN MIGUEL	000666	-13.017	-73.983	2720	AYACUCHO	LA MAR	SAN MIGUEL	17	25	7	
130	SAN PEDRO DE CACHI	156205	-13.065	-74.359	2990	AYACUCHO	HUAMANGA	SANTIAGO DE PISCHA	37	84	117	
131	SAN PEDRO DE CECCHA	157211	-14.767	-74.100	3100	AYACUCHO	LUCANAS	SAN PEDRO	31	22	11	√
132	SANCOS	000740	-15.067	-73.950	2721	AYACUCHO	LUCANAS	SANCOS	16	36	15	
133	URAYHUMA	157219	-14.600	-73.567	4267	AYACUCHO	PARINACOCHAS	CORACORA	16	34	19	√
134	VILCASHUAMAN	156211	-13.660	-73.934	3656	AYACUCHO	VILCAS HUAMAN	VILCAS HUAMAN	45	31	8	
135	VISCHONGO	156210	-13.583	-74.000	3278	AYACUCHO	VILCAS HUAMAN	VISCHONGO	16	37	11	
136	WAYLLAPAMPA	000664	-13.076	-74.217	2470	AYACUCHO	HUAMANGA	PACAYCASA	33	32	14	
137	ACNOCOCHA	000646	-13.217	-75.083	4520	HUANCAVELICA	HUAYTARA	PILPICHACA	29	26	4	
138	ACOBAMBA	000659	-12.838	-74.568	3236	HUANCAVELICA	ACOBAMBA	ACOBAMBA	43	27	8	
139	ACOBAMBILLA	156118	-12.667	-75.317	3935	HUANCAVELICA	HUANCAVELICA	ACOBAMBILLA	19	28	15	
140	ACORA	000644	-13.783	-75.367	2114	HUANCAVELICA	HUAYTARA	SAN FRANCISCO DE SANGAYAICO	16	14	9	
141	ACOSTAMBO	000625	-12.366	-75.056	3675	HUANCAVELICA	TAYACAJA	ACOSTAMBO	26	30	9	

	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud de registro (años)	Promedio	Desviación Estándar	Se Excluye
142	CHALLACA CO	006640	-13.788	-75.401	1712	HUANCVELICA	HUAYTARA	SAN FRANCISCO DE SANGAYAICO	16	16	8	
143	CHOCLOCOCHA	156130	-13.100	-75.074	4583	HUANCVELICA	CASTROVIRREYNA	SANTA ANA	37	34	14	
144	COCAS	000643	-13.267	-75.367	3461	HUANCVELICA	CASTROVIRREYNA	COCAS	17	21	10	
145	COLCABAMBA	006620	-12.415	-74.667	3055	HUANCVELICA	TAYACAJA	COLCABAMBA	12	33	6	
146	CORDOVA	157101	-14.033	-75.167	3170	HUANCVELICA	HUAYTARA	CORDOVA	51	28	17	
147	CUSICANCHA	156121	-13.504	-75.296	3272	HUANCVELICA	HUAYTARA	SAN ANTONIO DE CUSICANCHA	47	20	9	
148	HACIENDA TOCAZ	000656	-12.450	-74.650	3096	HUANCVELICA	TAYACAJA	COLCABAMBA	13	31	6	
149	HORNADA	151509	-13.433	-75.100	4530	HUANCVELICA	HUAYTARA	PILPICHACA	14	26	9	
150	HUACHOS	151503	-13.217	-75.533	2756	HUANCVELICA	CASTROVIRREYNA	HUACHOS	34	26	7	
151	HUANCALPI	156126	-12.539	-75.237	3450	HUANCVELICA	HUANCVELICA	VILCA	48	31	12	
152	HUANCVELICA	000649	-12.771	-75.012	3860	HUANCVELICA	HUANCVELICA	ASCENSION	40	25	9	
153	LAGUNA HUICHINGA AURAHUA	151504	-13.033	-75.567	3451	HUANCVELICA	CASTROVIRREYNA	AURAHUA	15	58	39	√
154	LARAMARCA	156128	-13.950	-75.033	3350	HUANCVELICA	HUAYTARA	LARAMARCA	26	33	15	
155	LIRCAY	000657	-12.982	-74.718	3360	HUANCVELICA	ANGARAES	LIRCAY	49	30	7	
156	LOS LIBERTADORES	156139	-13.333	-74.967	4024	HUANCVELICA	HUAYTARA	PILPICHACA	11	31	7	
157	MANTA	156125	-12.617	-75.200	4050	HUANCVELICA	HUANCVELICA	MANTA	13	35	33	√
158	PAMPAS	000508	-12.393	-74.866	3240	HUANCVELICA	TAYACAJA	PAMPAS	25	26	7	
159	PARIONA	156131	-13.533	-75.067	4425	HUANCVELICA	HUAYTARA	SANTO DOMINGO DE CAPILLAS	16	31	8	
160	PAUCARBAMBA	000658	-12.467	-74.567	3000	HUANCVELICA	CHURCAMP	CHINCHIHUASI	38	32	13	
161	PILCHACA	000648	-12.411	-75.092	3880	HUANCVELICA	HUANCVELICA	PILCHACA	48	31	8	
162	SALCABAMBA	006200	-12.199	-74.786	3280	HUANCVELICA	TAYACAJA	SALCABAMBA	39	26	10	
163	SAN JUAN DE CASTROVIREY	156114	-13.212	-75.629	1871	HUANCVELICA	CASTROVIRREYNA	SAN JUAN	46	19	8	

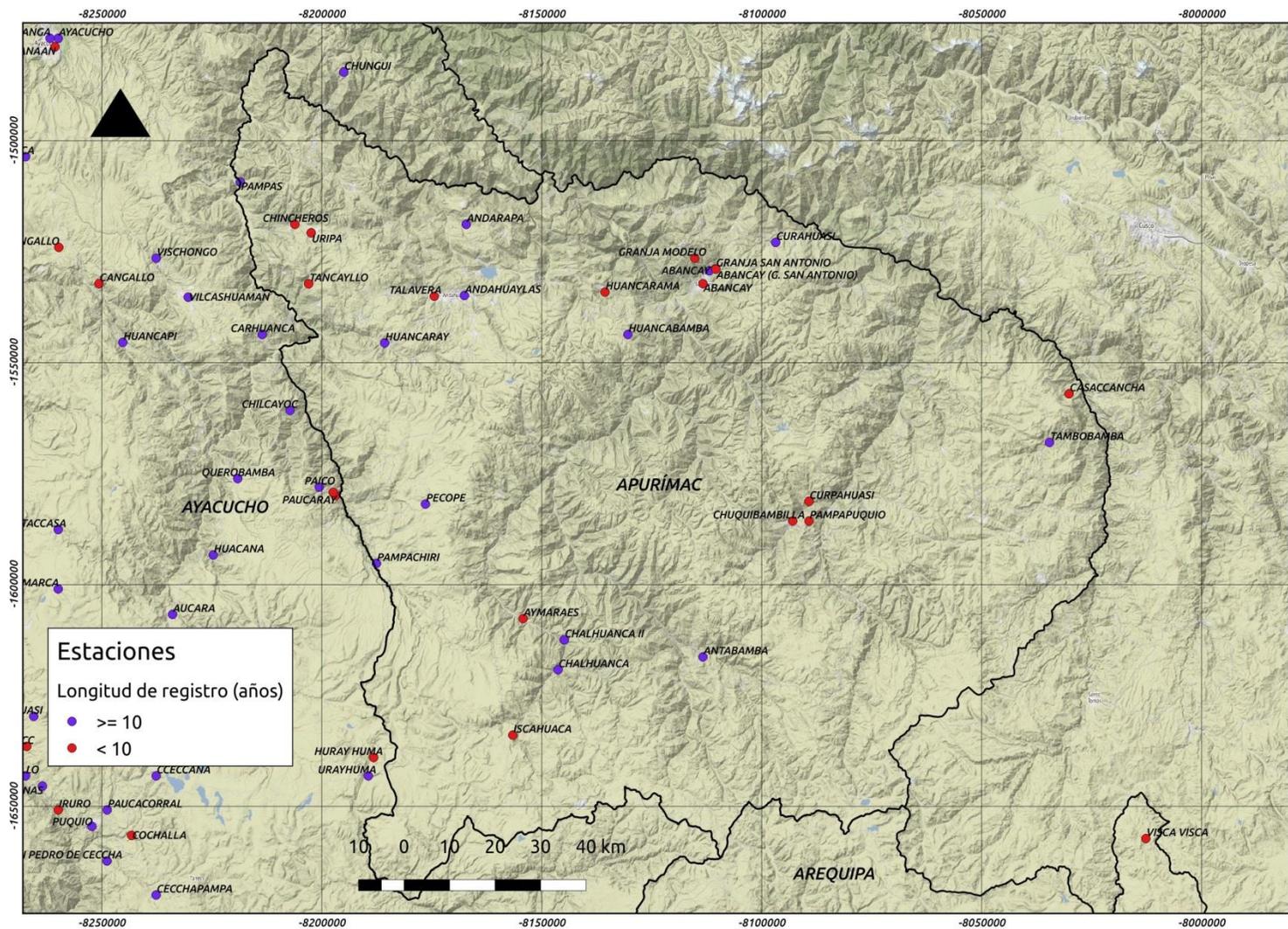
	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud de registro (años)	Promedio	Desviación Estándar	Se Excluye
	NA											
164	SAN JUAN DE HUIRPACANCHA	151506	-13.950	-75.234	3650	HUANCAVELICA	HUAYTARA	SAN ISIDRO	20	25	9	
165	SAN LORENZO	000655	-12.283	-74.833	2600	HUANCAVELICA	TAYACAJA	COLCABAMBA	26	31	10	
166	SANTA ROSA LLIHUA	151505	-13.750	-74.984	4267	HUANCAVELICA	HUAYTARA	SANTIAGO DE CHOCORVOS	14	12	11	√
167	SANTIAGO DE CHOCORVOS	156123	-13.833	-75.250	2700	HUANCAVELICA	HUAYTARA	SANTIAGO DE CHOCORVOS	50	17	11	
168	SINTO	000645	-13.333	-75.333	4039	HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	CASTROVIRREYNA	18	25	7	
169	TAMBO	156122	-13.691	-75.274	3144	HUANCAVELICA	HUAYTARA	TAMBO	47	27	9	
170	TANTARA	151507	-13.067	-75.633	3190	HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	TANTARA	14	25	11	
171	TELEPACCHA	156120	-12.750	-75.300	4367	HUANCAVELICA	HUANCAVELICA	ACOBAMBILLA	18	20	6	√
172	TICRAPO	156117	-13.383	-75.433	2174	HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	TICRAPO	23	22	10	
173	TOTORA	156119	-13.117	-75.317	3966	HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	CASTROVIRREYNA	25	24	6	
174	TUNEL CERO	000647	-13.259	-75.086	4512	HUANCAVELICA	HUAYTARA	PILPICHACA	52	31	9	
175	VILLA DE ARMAS	000641	-13.133	-75.550	3280	HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	ARMA	31	28	14	
176	CONTA	156219	-13.433	-75.967	289	ICA	CHINCHA	ALTO LARAN	12	2	2	
177	COPARA	000727	-14.967	-74.900	586	ICA	NAZCA	VISTA ALEGRE	44	2	2	√
178	EL CARMEN	000699	-14.467	-75.233	570	ICA	PALPA	SANTA CRUZ	10	3	5	√
179	FONAGRO (CHINCHA)	000791	-13.463	-76.133	71	ICA	CHINCHA	CHINCHA BAJA	23	2	1	√
180	HACIENDA BERNALES	000650	-13.741	-75.950	305	ICA	PISCO	HUMAY	43	3	5	√
181	HUALLPOCA	156225	-14.633	-74.956	1050	ICA	NAZCA	EL INGENIO	16	2	2	
182	HUAMANI	000640	-13.833	-75.583	804	ICA	ICA	SAN JOSE DE LOS MOLINOS	41	2	2	
183	HUANCANO	000639	-13.600	-75.617	1019	ICA	PISCO	HUANCANO	35	7	5	
184	LETRAYOC	156132	-13.650	-75.717	776	ICA	PISCO	HUANCANO	15	5	3	

	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud de registro (años)	Promedio	Desviación Estándar	Se Excluye
185	MALLUCHIMPAN A	157100	-14.100	-75.283	2525	ICA	ICA	YAUCA DEL ROSARIO	34	13	8	
186	OCUCAJE	000730	-14.383	-75.667	330	ICA	ICA	OCUCAJE	39	2	2	√
187	PALPA	000731	-14.533	-75.187	349	ICA	PALPA	PALPA	32	5	9	
188	PAMPA BLANCA	157102	-14.237	-75.104	1009	ICA	PALPA	RIO GRANDE	49	10	7	
189	PAMPA DE VILLACURI	000637	-13.875	-75.947	430	ICA	ICA	SALAS	26	2	3	√
190	PISCO	140600	-13.733	-76.217	6	ICA	PISCO	SAN ANDRES	28	1	1	√
191	RIO GRANDE	000698	-14.526	-75.213	336	ICA	PALPA	RIO GRANDE	25	4	6	
192	SAN CAMILO	000700	-14.073	-75.711	419	ICA	ICA	PARCONA	51	4	5	
193	SAN JUAN DE YANAC	156113	-13.208	-75.792	2502	ICA	CHINCHA	SAN JUAN DE YANAC	29	12	8	
194	SAN PEDRO DE HUACARPANA	156115	-13.050	-75.650	3763	ICA	CHINCHA	SAN PEDRO DE HUACARPANA	25	21	7	
195	SAN PEDRO DE HUACARPANA	000857	-13.049	-75.648	3794	ICA	CHINCHA	SAN PEDRO DE HUACARPANA	19	22	6	√
196	TACAMA	000794	-14.000	-75.721	440	ICA	ICA	SALAS	17	3	2	
197	ISLA CHINCHA NORTE	000632	-13.633	-76.400	20	ICA	PISCO	PARACAS	23	27	12	√
198	CALACOA	158308	-16.735	-70.682	3260	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	SAN CRISTOBAL	49	32	27	
199	CARUMAS	000873	-16.812	-70.691	2976	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	CARUMAS	36	14	8	
200	COALAQUE	158211	-16.650	-71.017	2250	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	COALAQUE	34	16	17	
201	COSCORI	158303	-17.117	-70.767	2755	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	TORATA	17	33	13	
202	ICHUNA	158310	-16.133	-70.550	3800	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	ICHUNA	50	1	1	
203	ILO	000840	-17.629	-71.286	75	MOQUEGUA	ILO	EL ALGARROBAL	49	2	1	√
204	MOQUEGUA	000806	-17.175	-70.931	1450	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	MOQUEGUA	50	6	6	
205	OMATE	000850	-16.675	-70.979	2080	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	OMATE	46	17	10	
206	OTORA	158302	-17.000	-70.850	2580	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	TORATA	19	12	7	

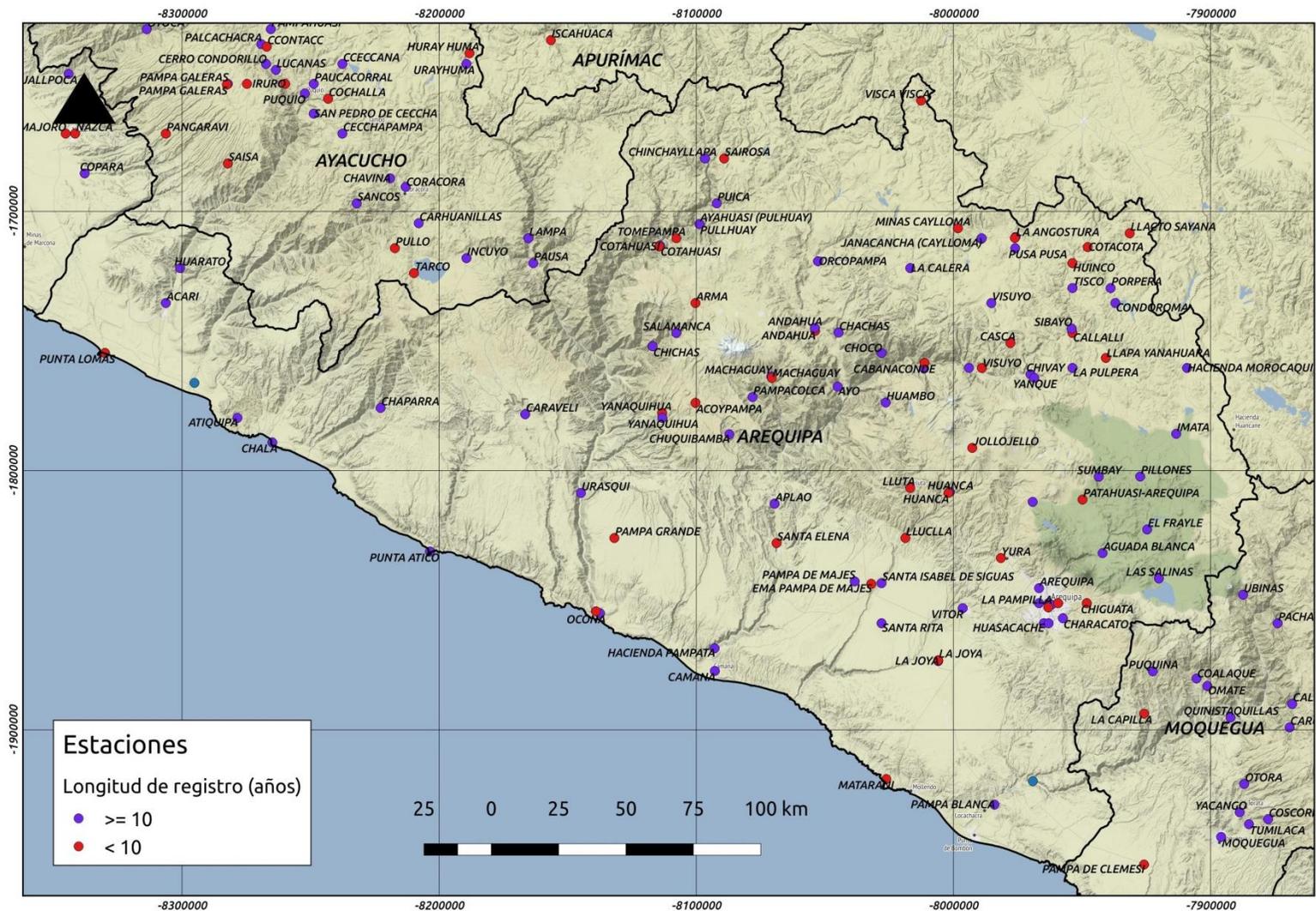
	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud de registro (años)	Promedio	Desviación Estándar	Se Excluye
207	PACHAS	158305	-16.467	-70.733	3857	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	CHOJATA	19	19	7	
208	PUNTA COLES	000846	-17.698	-71.373	25	MOQUEGUA	ILO	ILO	28	3	5	
209	PUQUINA	000848	-16.626	-71.169	3284	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	PUQUINA	21	24	9	
210	QUINISTAQUILLAS	158301	-16.779	-70.898	1590	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	CARUMAS	50	15	12	
211	TUMILACA	158314	-17.133	-70.833	2057	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	SAMEGUA	16	8	8	
212	UBINAS	000851	-16.372	-70.854	3380	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	UBINAS	52	23	7	
213	YACANGO	000852	-17.094	-70.866	2091	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	TORATA	39	11	11	

## **ANEXO A.2: MAPAS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES**

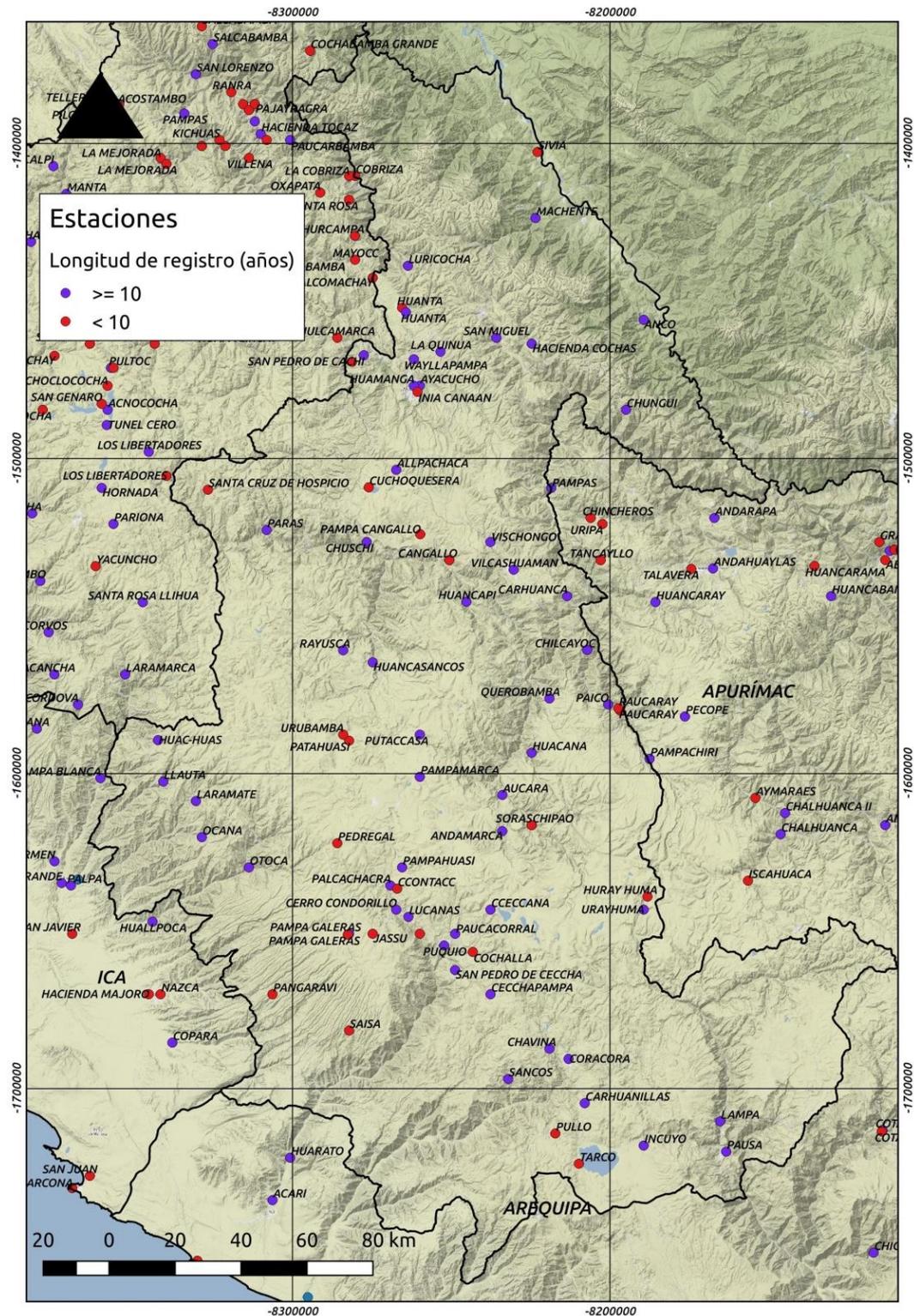
Departamento de Apurímac



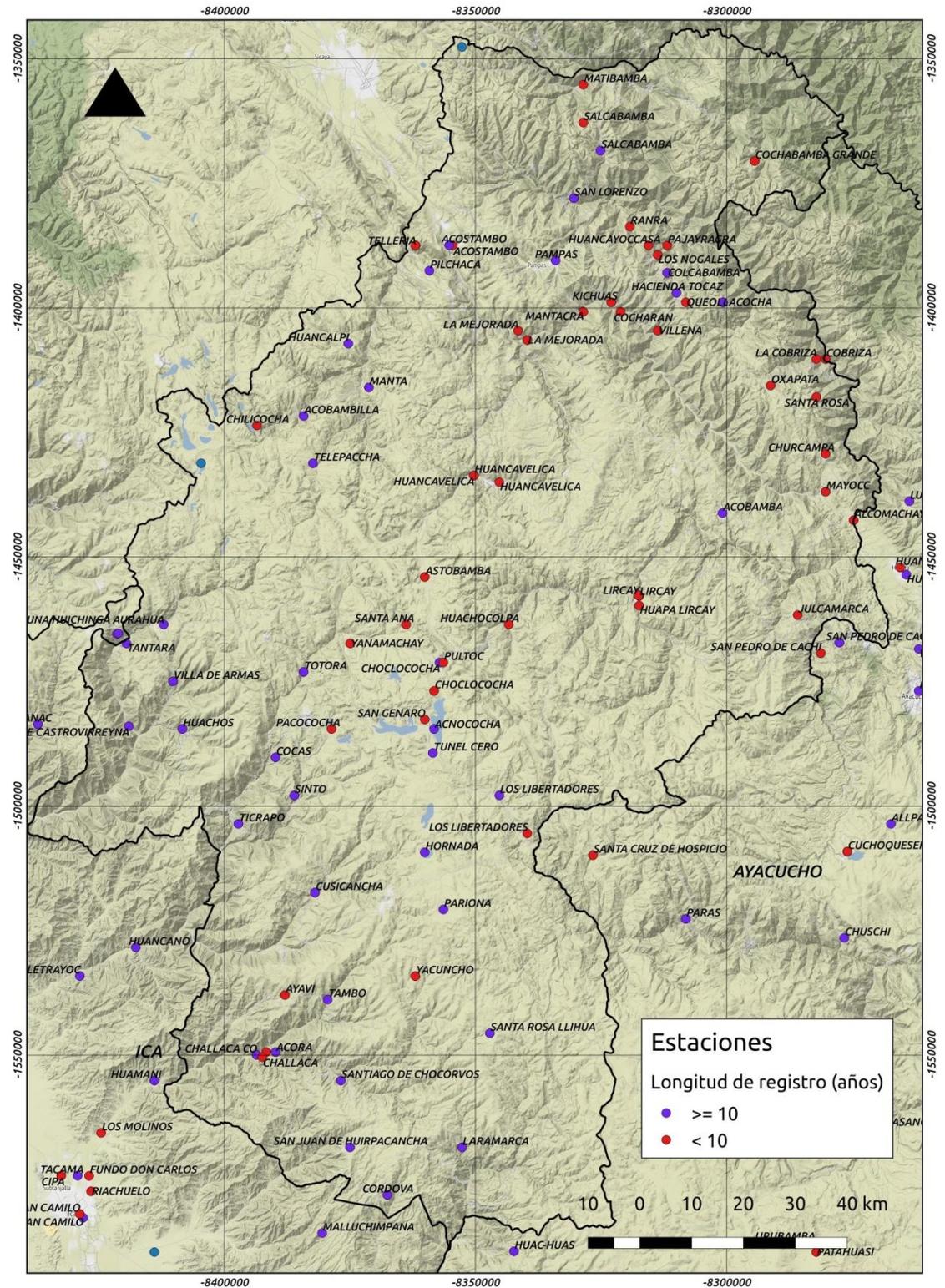
Departamento de Arequipa



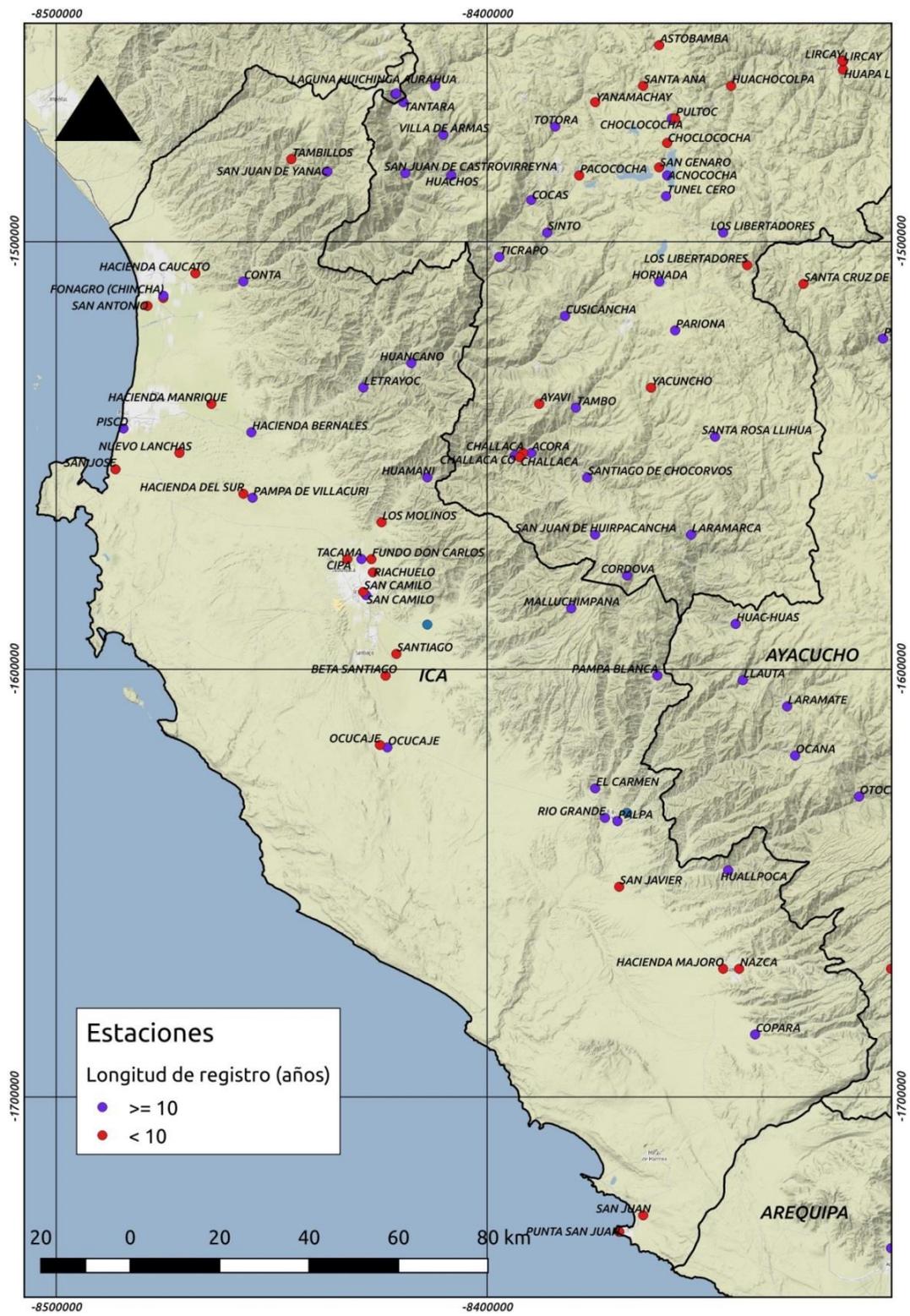
Departamento de Ayacucho



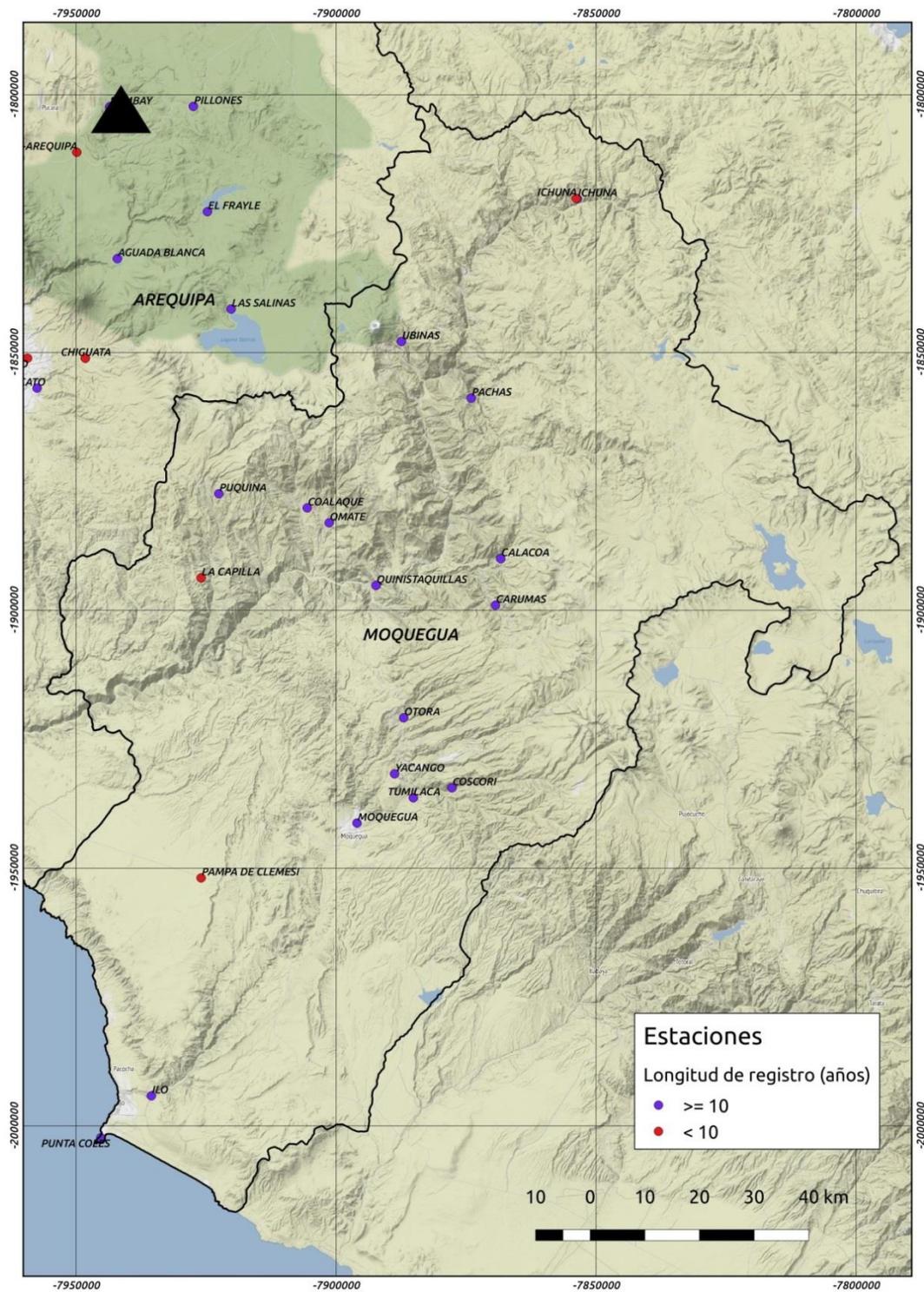
Departamento de Huancavelica



Departamento de Ica

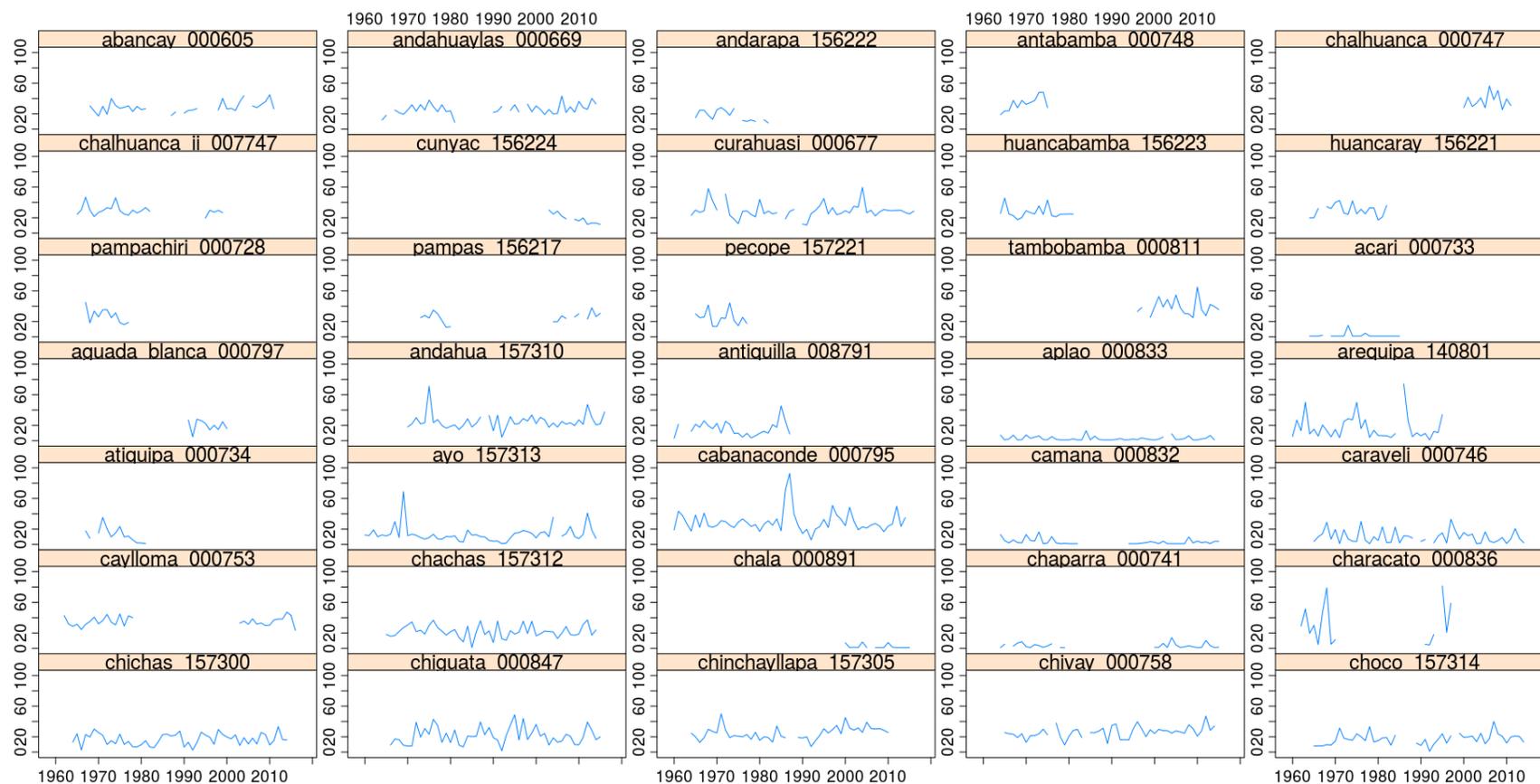


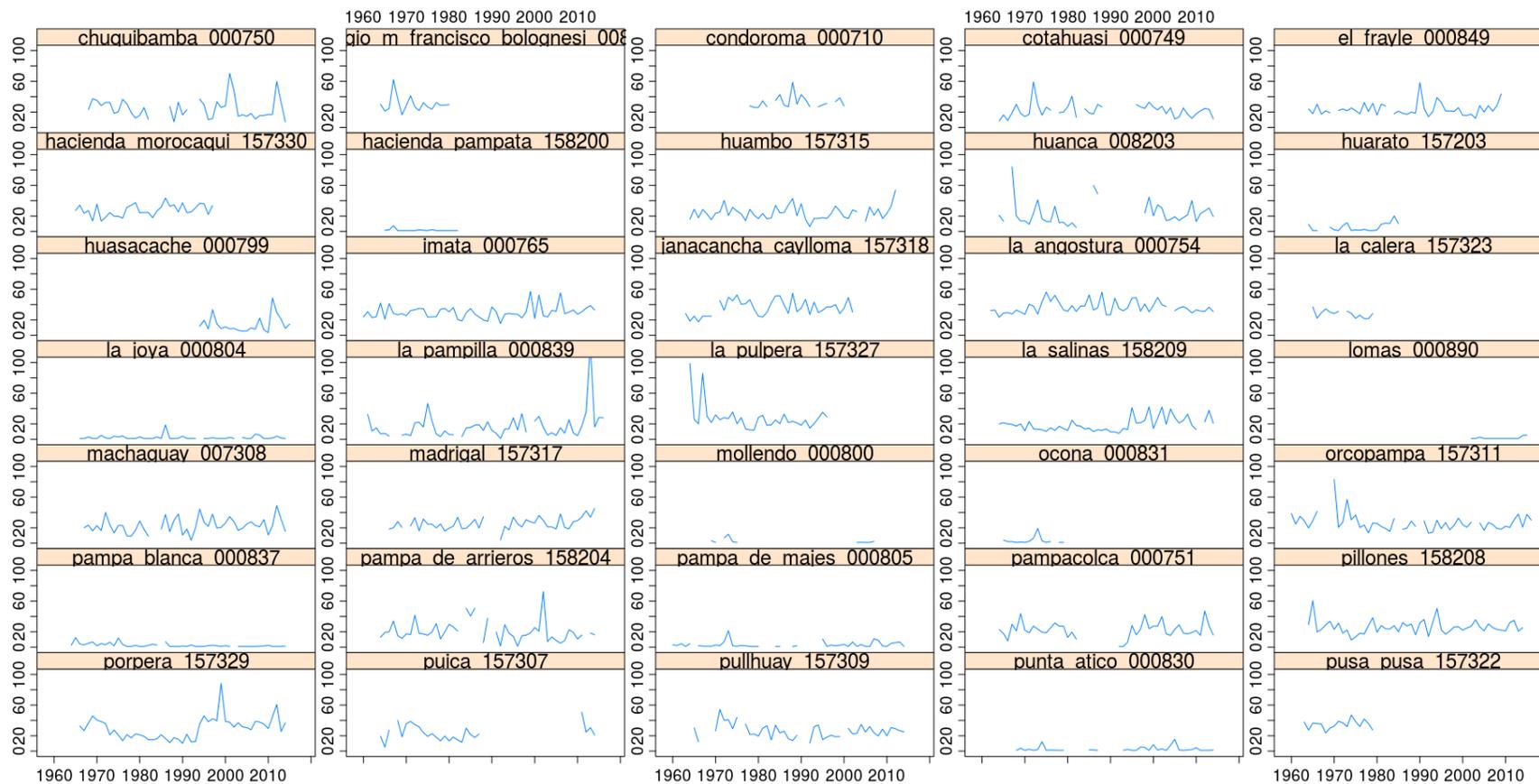
Departamento de Moquegua

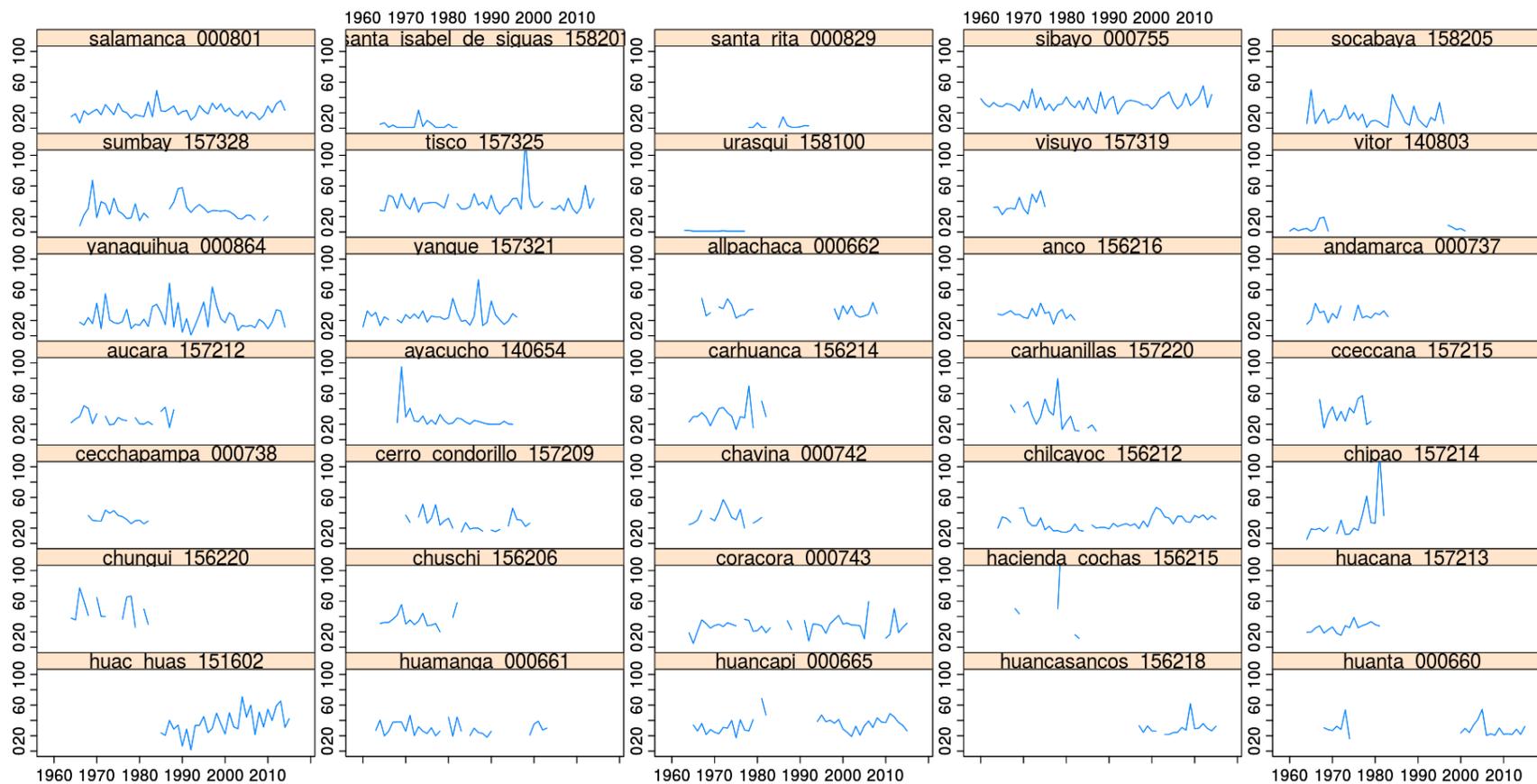


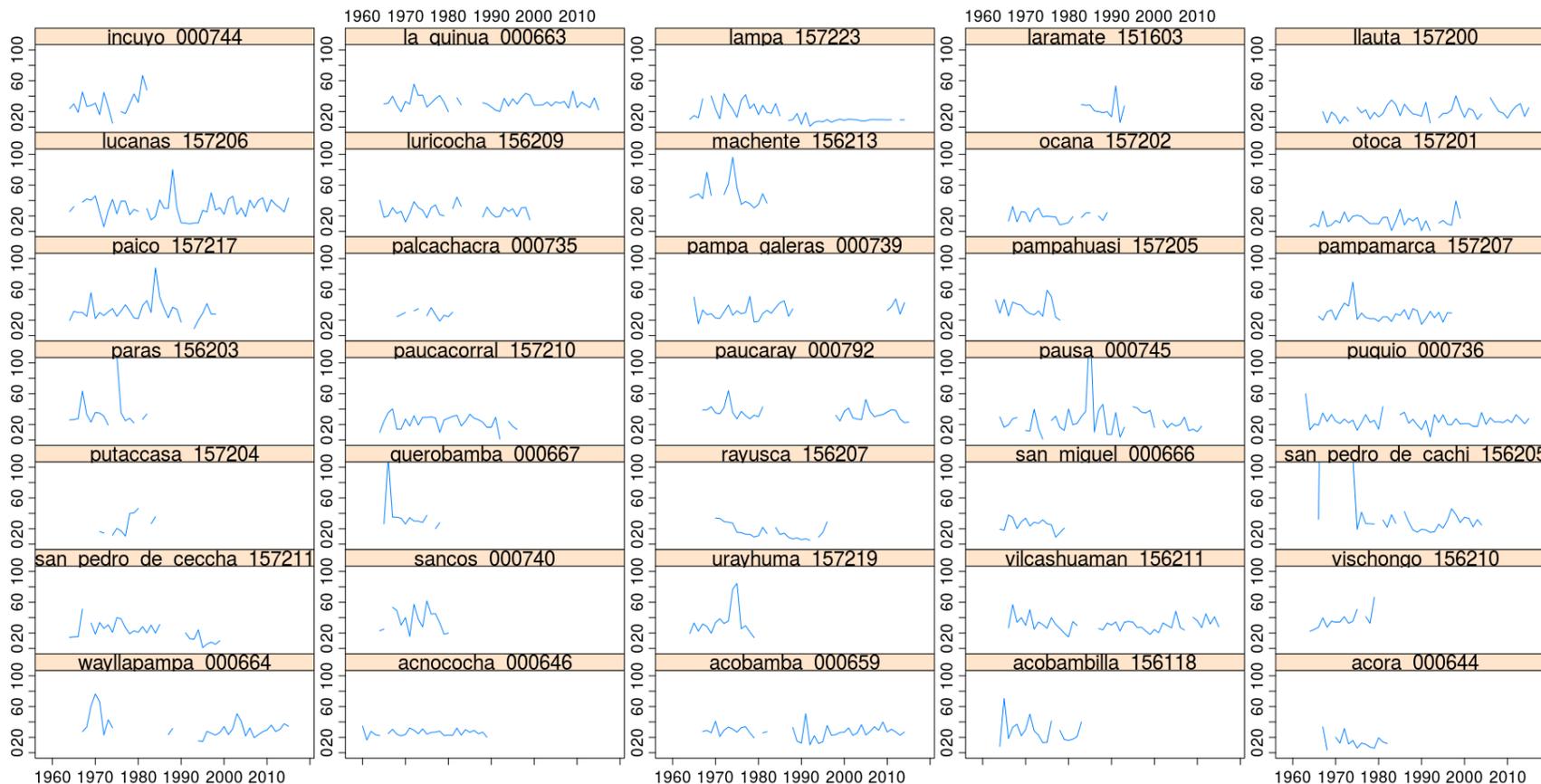
## **ANEXO B: ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS**

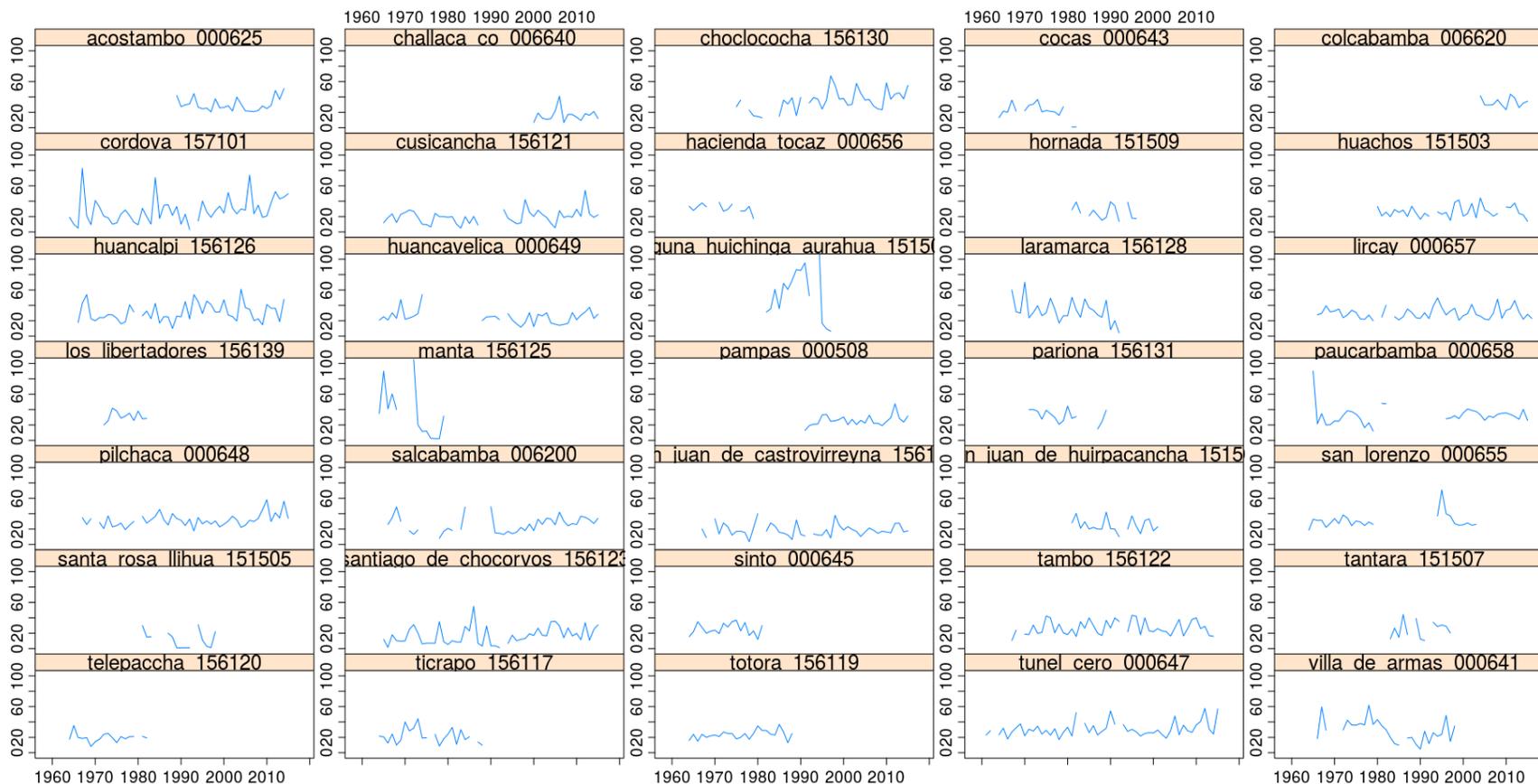
**ANEXO B.1:  
GRÁFICAS DE SERIES DE TIEMPO DE  
PRECIPITACIONES DIARIAS MÁXIMAS  
ANUALES**

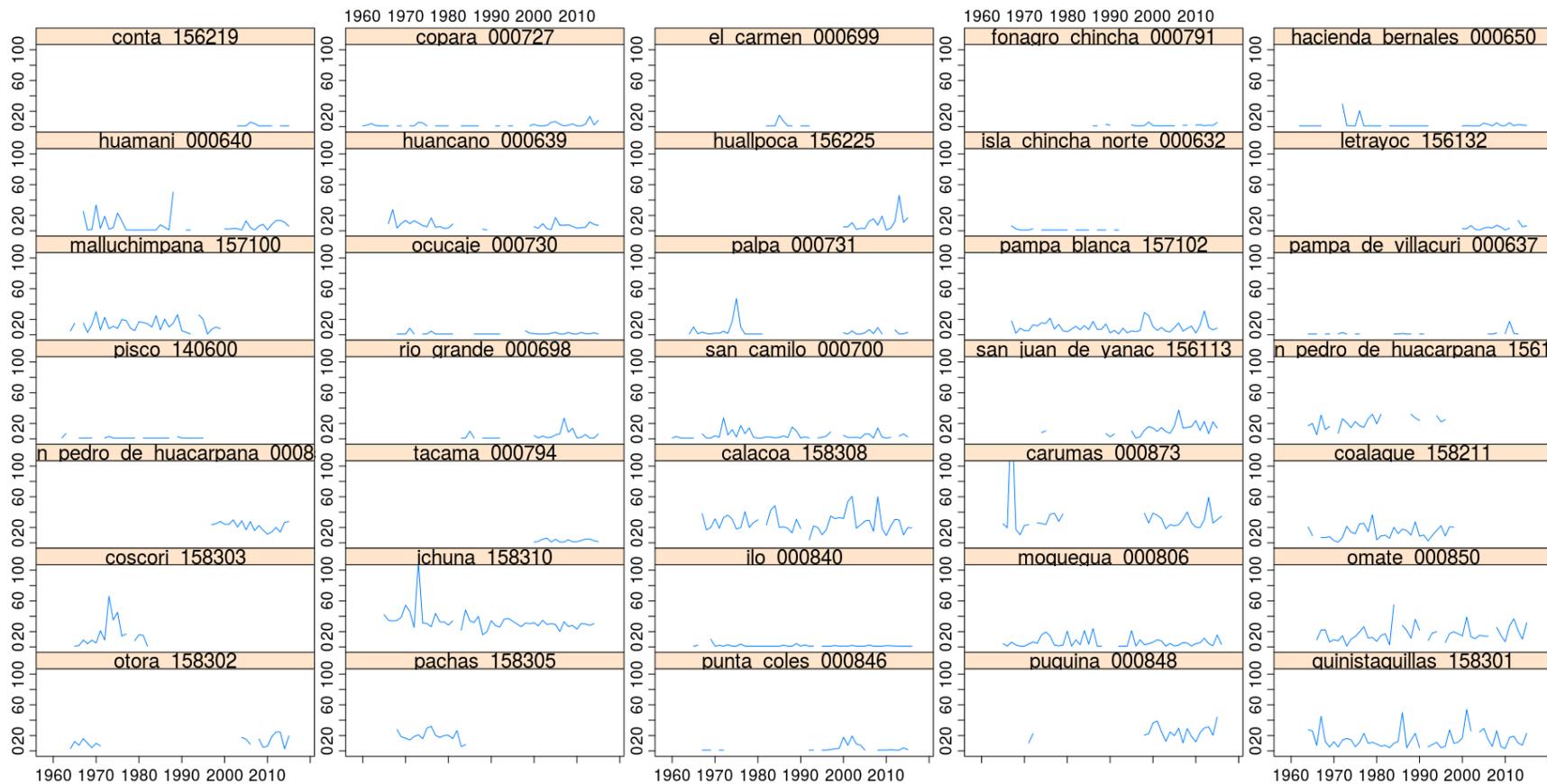


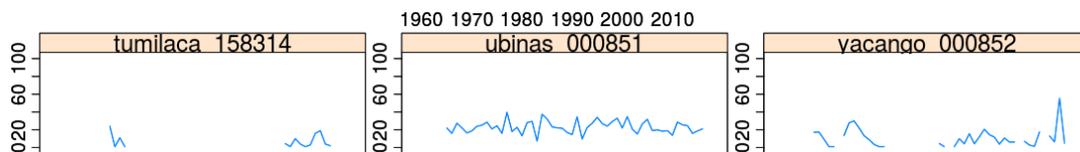




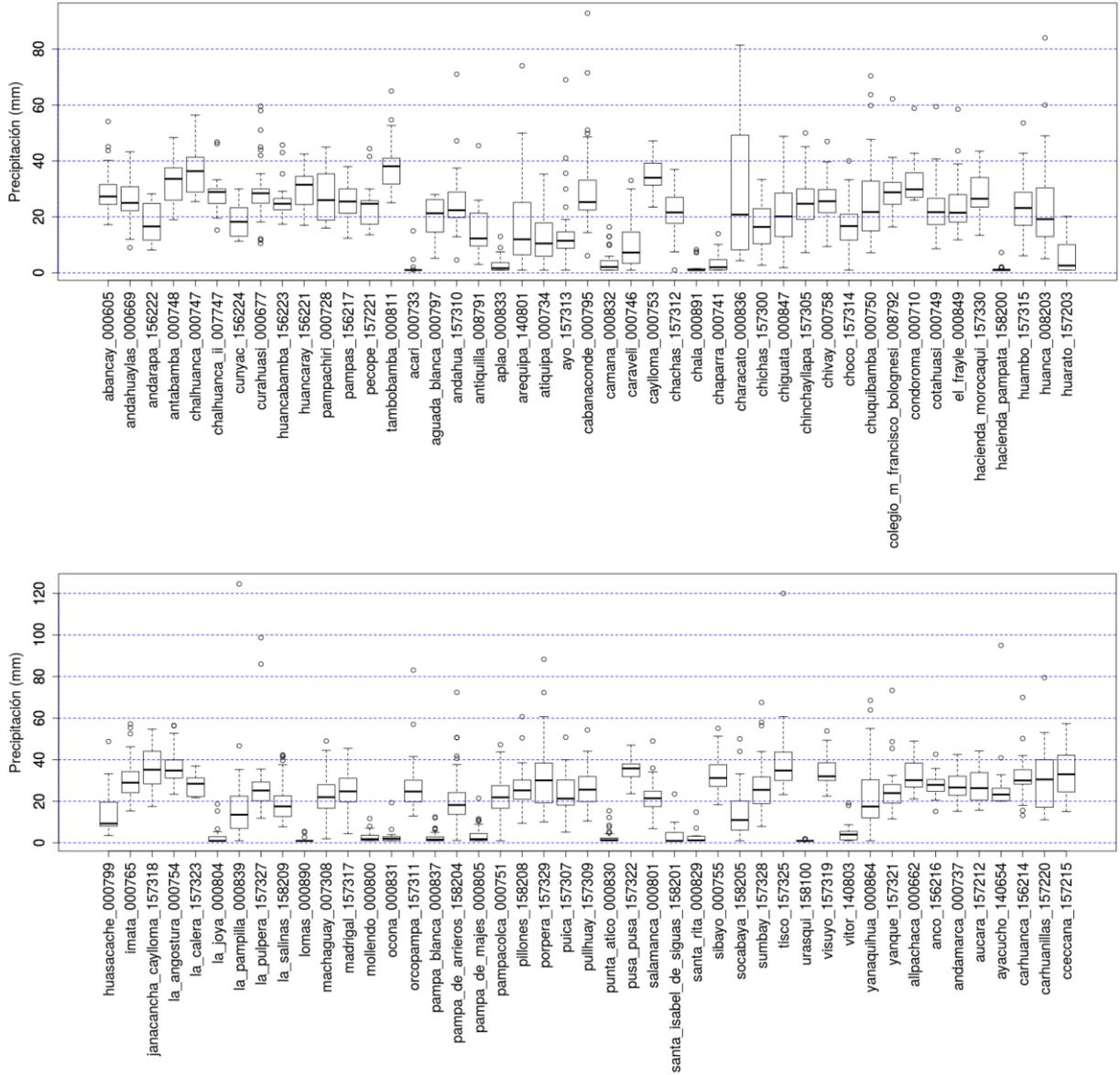


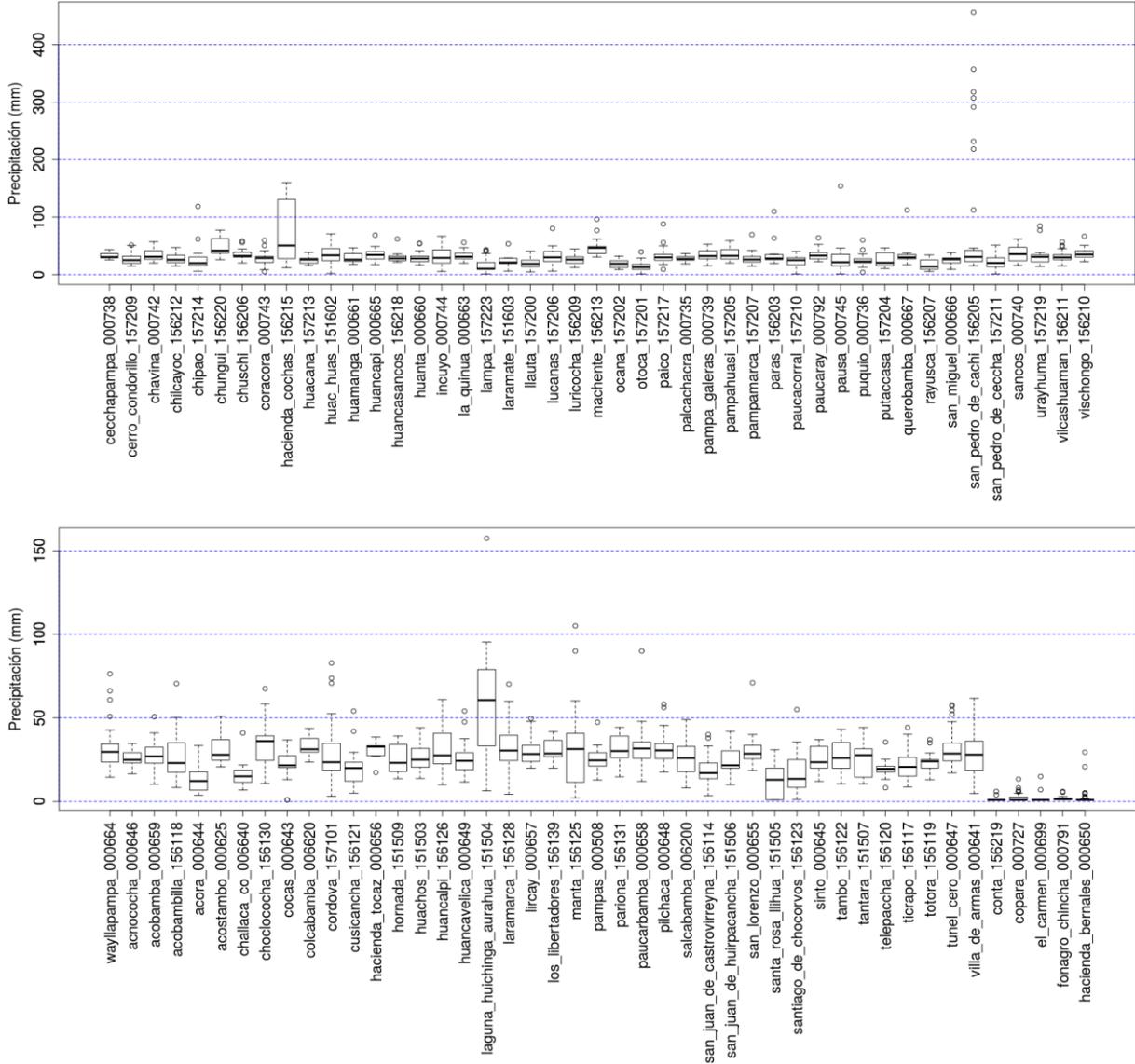


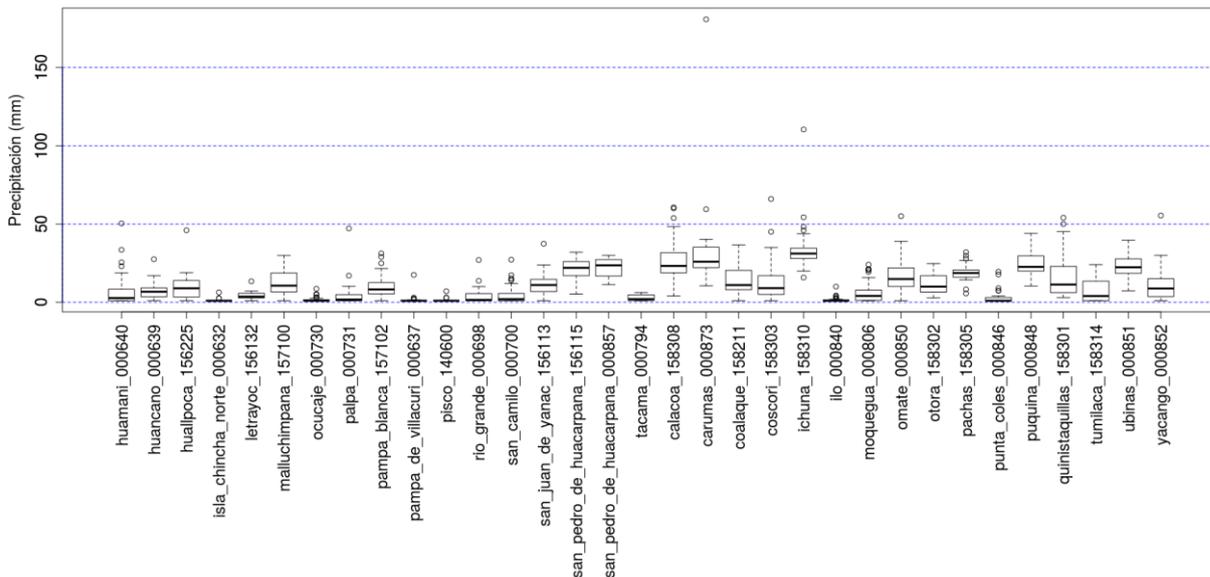




**ANEXO B.2:**  
**DIAGRAMAS DE CAJA DE PRECIPITACIONES DIARIAS**  
**MÁXIMAS ANUALES**







## **ANEXO B.3: ANÁLISIS DE TENDENCIA**

Estadístico	abancay_000605	andahuaylas_000669	andarapa_156222	antabamba_000748	chalhuanca_000747	chalhuanca_ii_007747	cunyac_1_56224	curahuasi_000677	huancabamba_156223	huancaray_156221	pampachiri_000728
lbound	0.05385	0.00000	-1.35000	0.43000	-1.43333	-0.37500	-2.00000	-0.07778	-0.55000	-0.91667	-2.51429
trend	0.21197	0.12129	-0.71964	2.23333	0.20505	-0.10000	-1.40833	0.03077	-0.02222	0.00000	-0.45462
trendp	12.29402	7.03473	-41.73929	129.53333	11.89293	-5.80000	-81.68333	1.78462	-1.28889	0.00000	-26.36769
ubound	0.40667	0.27500	-0.13333	3.03750	2.40000	0.05625	-0.95000	0.13333	0.36000	0.88889	0.90000
tau	0.25397	0.14286	-0.43590	0.56364	0.05455	-0.11429	-0.86667	0.02609	-0.08824	-0.08333	-0.37778
sig	0.06054	0.23290	0.04408	0.01952	0.87627	0.48735	0.00068	0.80555	0.65046	0.68533	0.15241
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	-0.00746	-0.06956	0.25383	-0.21498	-0.43983	0.08473	-0.40760	0.21210	-0.07778	0.08693	-0.12874
valid_frac	0.62069	0.70690	0.27586	0.20690	0.20690	0.43103	0.20690	0.86207	0.31034	0.31034	0.22414
linear	0.25045	0.13784	-0.79427	1.76399	0.30070	-0.19113	-1.46283	-0.01709	-0.19195	-0.02751	-0.33892
intercept	21.41453	21.45294	26.95268	8.36667	26.91768	30.80000	88.78333	27.46923	25.06667	31.50000	31.36462
Estadístico	pampas_156217	pecope_157_221	tamboba_mba_000	acari_00073_3	aguada_blanca_000797	andahua_1573_10	antiquilla_008791	aplao_0008_33	arequipa_1408_01	atiquipa_00_0734	ayo_157313
lbound	-0.12121	-2.10000	-1.01538	0.00000	-2.56000	-0.06053	-0.56818	-0.02105	-0.46875	-2.60000	-0.07059
trend	0.09677	-0.67403	-0.07273	0.00000	-1.13333	0.07143	-0.12778	0.00000	-0.10714	-1.31667	0.03030
trendp	5.61290	-39.09351	-4.21818	0.00000	-65.73333	4.14286	-7.41111	0.00000	-6.21429	-76.36667	1.75758
ubound	0.40000	0.54286	0.63750	0.00000	0.60000	0.22941	0.26000	0.01765	0.18333	-0.54545	0.12273
tau	0.14286	-0.15152	-0.17647	-0.16653	-0.11111	0.08879	-0.18841	-0.02143	-0.15530	-0.57576	0.05882
sig	0.51122	0.53713	0.34342	0.39305	0.75445	0.40120	0.20586	0.83784	0.20946	0.01117	0.54344
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.36399	-0.12072	-0.17588	-0.09423	-0.26600	-0.06053	0.31008	-0.16010	0.11441	0.13917	0.05388
valid_frac	0.31034	0.22414	0.32759	0.36207	0.17241	0.79310	0.46552	0.86207	0.60345	0.24138	0.94828
linear	0.09164	-0.58571	-0.00524	-0.03029	-0.34182	0.03203	-0.00703	-0.01545	-0.09535	-1.27580	0.01618
intercept	22.05645	31.31039	40.96364	1.00000	63.16667	20.13571	15.11111	1.65000	14.16429	30.49167	11.16667
Estadístico	cabanac_00_00	camana_000_832	caraveli_000746	caylloma_00_0753	chachas_157_312	chala_000891	chaparra_000741	characato_000836	chichas_15730_0	chiguata_00_0847	chinchayllapa_157305
lbound	-0.16571	-0.05556	-0.18710	-0.08125	-0.15000	-0.07143	-0.06000	-0.95308	-0.13333	-0.17727	0.02368
trend	-0.02174	-0.01111	-0.05140	0.04390	-0.00882	0.00000	-0.00308	0.00800	0.02500	0.04118	0.19271
trendp	-1.26087	-0.64444	-2.98112	2.54634	-0.51176	0.00000	-0.17838	0.46400	1.45000	2.38824	11.17692
ubound	0.12500	0.00000	0.07333	0.17021	0.11818	0.00000	0.01176	1.52500	0.18824	0.23750	0.34474
tau	-0.02306	-0.08667	-0.14545	0.14286	-0.05272	-0.37349	-0.18769	-0.03030	0.01551	0.03912	0.24031
sig	0.81131	0.45108	0.16185	0.28498	0.59902	0.10078	0.18600	0.94533	0.88032	0.69810	0.02379
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.32584	0.00166	-0.22738	0.01457	-0.05977	-0.21827	-0.04347	-0.04377	0.10875	0.13561	0.27718
valid_frac	0.94828	0.70690	0.82759	0.53448	0.87931	0.25862	0.55172	0.25862	0.87931	0.86207	0.77586
linear	-0.00343	-0.07063	-0.07635	0.01280	-0.00242	-0.17376	-0.00594	0.08445	0.05383	0.04826	0.18076
intercept	26.32174	2.30000	9.51434	33.38537	21.79706	1.00000	2.15070	20.50400	15.05000	18.80294	18.60942

Estadístico	chivay_0 00758	choco_1573 14	chuquib amba_00 0750	colegio_m_franci sco_bolognesi_00 8792	condoroma _000710	cotahuasi _000749	el_frayle_ 000849	hacienda_moroc aqui_157330	hacienda_pamp ata_158200	huambo_ 157315	huanca_ 008203
lbound	0.03667	0.04167	-0.30000	-0.87000	-0.20909	-0.14688	-0.12353	0.00000	-0.03333	-0.10833	-0.17949
trend	0.15528	0.14000	-0.02817	0.10889	0.12679	-0.00526	0.00572	0.31808	0.00000	0.05505	0.08570
trendp	9.00611	8.12000	-1.63413	6.31556	7.35357	-0.30526	0.33170	18.44880	0.00000	3.19293	4.97037
ubound	0.28621	0.25806	0.22759	0.71818	0.47500	0.15417	0.16500	0.60000	0.00000	0.22381	0.28462
tau	0.28687	0.20325	-0.16643	0.11667	0.20000	-0.03556	0.02927	0.25806	-0.13593	0.05314	0.23864
sig	0.00563	0.05933	0.14475	0.55835	0.30043	0.76286	0.79615	0.03945	0.49311	0.60915	0.05277
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	-0.01265	0.10852	0.20334	0.00537	-0.18113	0.11337	-0.01334	0.03854	0.00081	0.10733	0.17558
valid_frac	0.84483	0.81034	0.75862	0.29310	0.34483	0.74138	0.75862	0.56897	0.31034	0.84483	0.63793
linear	0.18416	0.12427	0.12097	-0.26397	0.11995	-0.03283	0.06247	0.28516	-0.09340	0.08338	0.01810
intercept	21.20750	12.76000	22.25218	26.82222	26.04375	21.97368	21.28554	20.04684	1.00000	21.98889	15.25798
Estadístico	huarato_ 157203	huasacache _000799	imata_00 0765	janacancha_cayll oma_157318	la_angostur a_000754	la_calera_ 157323	la_joya_0 00804	la_pampilla_0008 39	la_pulpera_1573 27	la_salinas_ 158209	lomas_0 00890
lbound	0.00000	-0.55000	-0.02500	-0.07857	-0.09048	-1.17692	0.00000	-0.00952	-0.55556	0.01111	0.00000
trend	0.20940	-0.07500	0.10000	0.18800	0.03586	-0.67500	0.00000	0.15086	-0.20357	0.15588	0.00000
trendp	12.14530	-4.35000	5.80000	10.90400	2.07971	-39.15000	0.00000	8.75000	-11.80714	9.04118	0.00000
ubound	0.65000	0.45000	0.21786	0.48800	0.14750	-0.05000	0.00000	0.32308	0.13600	0.31905	0.00000
tau	0.40656	-0.04762	0.12089	0.10669	0.04327	-0.39394	-0.01980	0.11879	-0.12903	0.14894	0.34943
sig	0.02077	0.78580	0.19943	0.35988	0.66358	0.08647	0.86194	0.23716	0.30695	0.13773	0.15287
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.42544	0.15567	-0.13364	0.30308	0.20570	-0.20530	-0.05654	0.14786	-0.02896	0.17497	0.43914
valid_frac	0.36207	0.37931	0.96552	0.67241	0.91379	0.24138	0.82759	0.89655	0.56897	0.86207	0.25862
linear	0.37154	0.26398	0.12804	0.22419	0.02747	-0.57000	0.02946	0.29531	-0.70130	0.25737	0.16743
intercept	-0.25641	13.12500	26.30000	30.05600	33.45614	37.46250	1.00000	8.10129	29.10357	13.00000	1.00000
Estadístico	machagu ay_0073 08	madrigal_15 7317	mollend o_00080 0	ocona_000831	orcopampa _157311	pampa_bl anca_0008 37	pampa_d e_arriero s_158204	pampa_de_majes _000805	pampacolca_00 0751	pillones_ 158208	porpera_ 157329
lbound	-0.01154	0.02500	-0.26667	-0.30000	-0.22500	-0.07500	-0.30606	-0.01333	-0.13667	-0.10000	-0.02619
trend	0.16333	0.18205	-0.02500	-0.04444	-0.07500	-0.04367	-0.09259	0.00000	0.02083	0.01910	0.28611
trendp	9.47333	10.55897	-1.45000	-2.57778	-4.35000	-2.53267	-5.37037	0.00000	1.20833	1.10770	16.59444
ubound	0.38333	0.34889	0.00345	0.12500	0.07273	-0.00800	0.06667	0.02800	0.21111	0.14737	0.56383
tau	0.14165	0.23577	0.35714	0.03030	-0.07246	-0.40466	-0.12660	0.00542	0.00000	0.04490	0.12589
sig	0.17856	0.02859	0.26551	0.94533	0.48353	0.00010	0.24182	0.97103	1.00000	0.65148	0.21013
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	-0.01505	0.01119	0.35215	0.24381	-0.01557	-0.01994	0.09356	0.11001	0.17343	0.03219	0.44591
valid_frac	0.81034	0.79310	0.25862	0.24138	0.89655	0.84483	0.81034	0.79310	0.75862	0.89655	0.86207
linear	0.19488	0.20190	-0.05185	0.01780	-0.15238	-0.09097	-0.12087	0.02043	0.04337	-0.02059	0.39903
intercept	15.26000	18.88846	2.22500	2.33333	27.32500	3.30433	20.64815	1.80000	21.44167	24.32373	18.81111

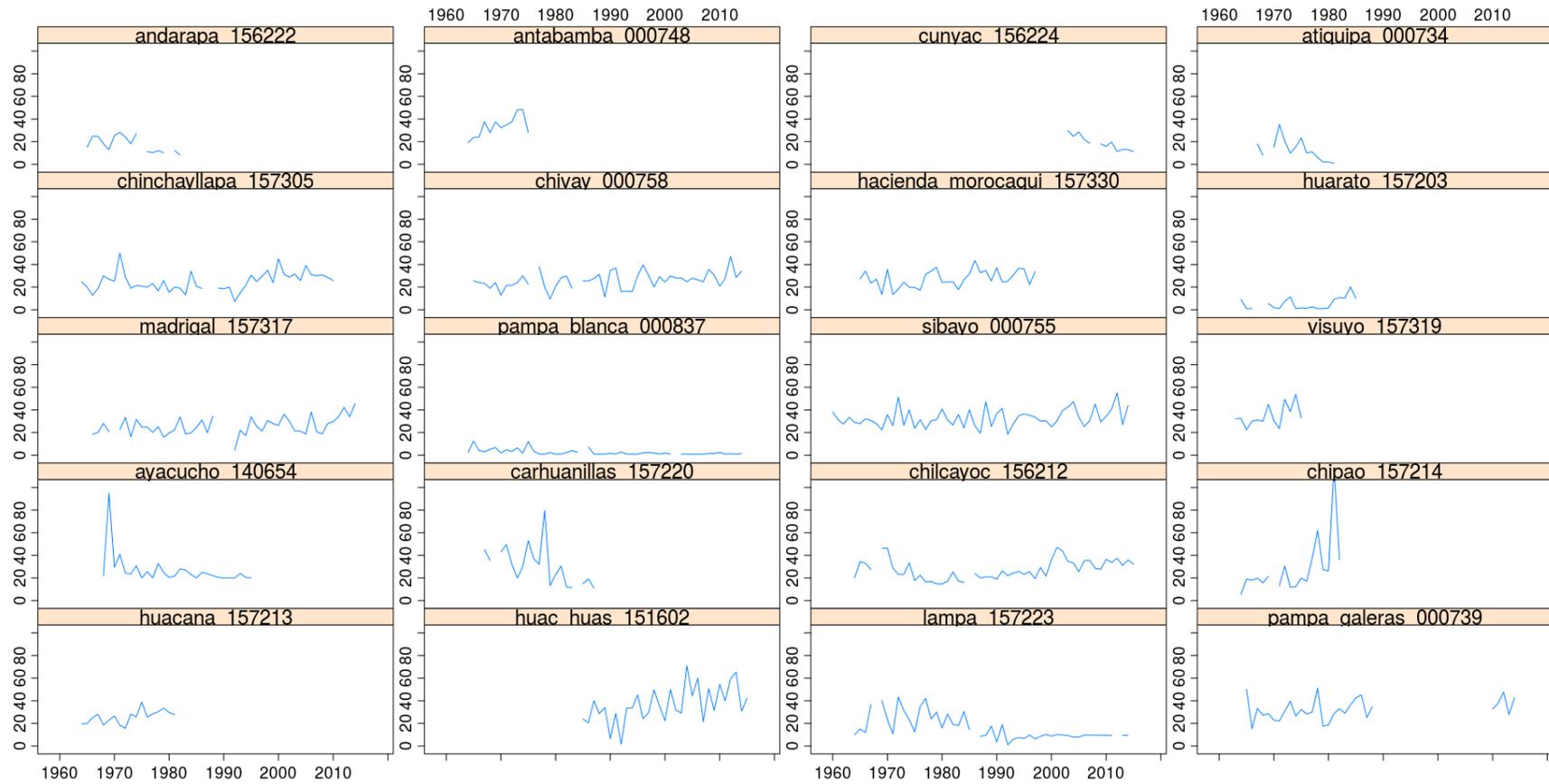
Estadístico	puica_15 7307	pullhuay_15 7309	punta_atico_ 000830	pusa_pusa_ 157322	salamanca_ 000801	santa_isabel_de _siguas_158201	santa_rita_ 000829	sibayo_00 0755	socabaya_ 158205	sumbay_1 57328	tisco_157325
lbound	-0.50000	-0.27000	0.00000	-0.60000	-0.06552	-0.23529	0.00000	-0.02500	-0.55000	-0.51111	-0.20000
trend	-0.05842	-0.06474	0.00000	0.08393	0.04853	0.00000	0.02540	0.10976	-0.15222	-0.23221	-0.04595
trendp	-3.38859	-3.75513	0.00000	4.86786	2.81471	0.00000	1.47302	6.36585	-8.82889	-13.46795	-2.66486
ubound	0.20833	0.14615	0.01176	0.80000	0.18684	0.00000	0.22000	0.24688	0.23000	0.02500	0.08333
tau	-0.13043	-0.06117	0.00000	0.16667	0.07592	-0.14073	0.11010	0.22432	-0.15323	-0.20721	-0.03961
sig	0.38531	0.59749	1.00000	0.39231	0.44156	0.45705	0.69622	0.01697	0.22390	0.07316	0.70489
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.28074	0.18406	0.05222	-0.04852	-0.02655	-0.09848	-0.13385	-0.23819	-0.13178	0.23838	-0.05582
valid_frac	0.48276	0.75862	0.65517	0.29310	0.89655	0.32759	0.22414	0.94828	0.56897	0.70690	0.86207
linear	0.11512	-0.11945	0.01305	0.19142	0.06061	-0.07018	0.04767	0.13136	-0.13710	-0.18223	0.02301
intercept	23.50611	27.91314	1.40000	34.72857	19.75294	1.00000	0.51746	28.90244	13.47444	32.98486	36.07973
Estadístico	urasqui_ 158100	visuyo_1573 19	vitor_140803	yanauquihua_ 000864	yanque_157 321	allpachaca_0006 62	anco_1562 16	andamarca _000737	aucara_15 7212	ayacucho_ 140654	carhuanca_1 56214
lbound	0.00000	-0.33333	-0.16000	-0.22857	-0.27143	-0.33333	-0.73333	-0.58333	-0.75000	-0.58000	-0.57778
trend	0.00000	0.83333	0.01176	-0.03939	-0.00742	-0.09366	-0.17778	0.20000	-0.17000	-0.29404	0.06250
trendp	0.00000	48.33333	0.68235	-2.28485	-0.43022	-5.43255	-10.31111	11.60000	-9.86000	-17.05404	3.62500
ubound	0.00000	2.37500	0.15294	0.20455	0.26111	0.10303	0.30000	0.81250	0.46667	-0.07619	1.59231
tau	-0.03091	0.45455	-0.12821	-0.07801	-0.08021	-0.02105	-0.20261	-0.06667	-0.22876	-0.54572	0.01667
sig	0.94481	0.04674	0.58295	0.43937	0.51422	0.92246	0.25582	0.75264	0.19780	0.00007	0.96409
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.39394	-0.30593	0.29431	-0.13280	-0.13566	-0.08278	-0.22648	-0.24161	0.05237	-0.11301	-0.22040
valid_frac	0.25862	0.22414	0.25862	0.86207	0.62069	0.41379	0.32759	0.31034	0.37931	0.48276	0.31034
linear	-0.04286	1.20989	-0.01488	-0.03425	0.13331	-0.12061	-0.18439	0.08631	-0.06185	-0.76634	0.57866
intercept	1.00000	24.33333	3.91765	19.04242	24.14464	33.04591	29.67778	22.55000	28.30500	30.55614	29.38750
Estadístico	carhuani llas_157 220	cceccana_15 7215	cecchapamp a_000738	cerro_condo rillo_157209	chavina_000 742	chilcayoc_15621 2	chipao_15 7214	chungui_1 56220	chuschi_1 56206	coracora_ 000743	hacienda_co chas_156215
lbound	-2.43333	-1.67143	-1.65000	-0.65000	-1.17778	0.07895	0.58000	-2.01333	-0.77143	-0.11087	-8.50000
trend	-1.58000	-0.05000	-0.52143	-0.23280	-0.06109	0.25676	1.47857	-0.40000	-0.11667	0.04317	-0.02000
trendp	-91.6400	-2.90000	-30.24286	-13.50265	-3.54323	14.89189	85.75714	-23.20000	-6.76667	2.50373	-1.16000
ubound	-0.87500	2.24167	0.00000	0.11786	0.64000	0.40000	2.72222	0.96000	1.11429	0.21429	9.98182
tau	-0.50000	0.12121	-0.09890	-0.19048	0.02564	0.20999	0.45000	-0.28889	-0.12381	0.08826	0.00000
sig	0.00790	0.63122	0.66142	0.23892	0.95135	0.03822	0.01702	0.28313	0.55262	0.44311	1.00000
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	-0.13430	-0.13012	0.46051	0.21543	0.29404	0.57882	-0.11944	-0.15691	0.14723	-0.13278	0.35112
valid_frac	0.32759	0.25862	0.25862	0.48276	0.29310	0.86207	0.31034	0.25862	0.29310	0.75862	0.17241
linear	-1.58576	-0.02419	-0.53429	-0.19793	-0.21792	0.17037	2.55528	-0.46175	0.22254	0.09106	-0.77231
intercept	56.18000	33.50000	41.19286	30.62090	31.87744	17.85270	2.29286	45.20000	33.21667	27.27655	50.78000

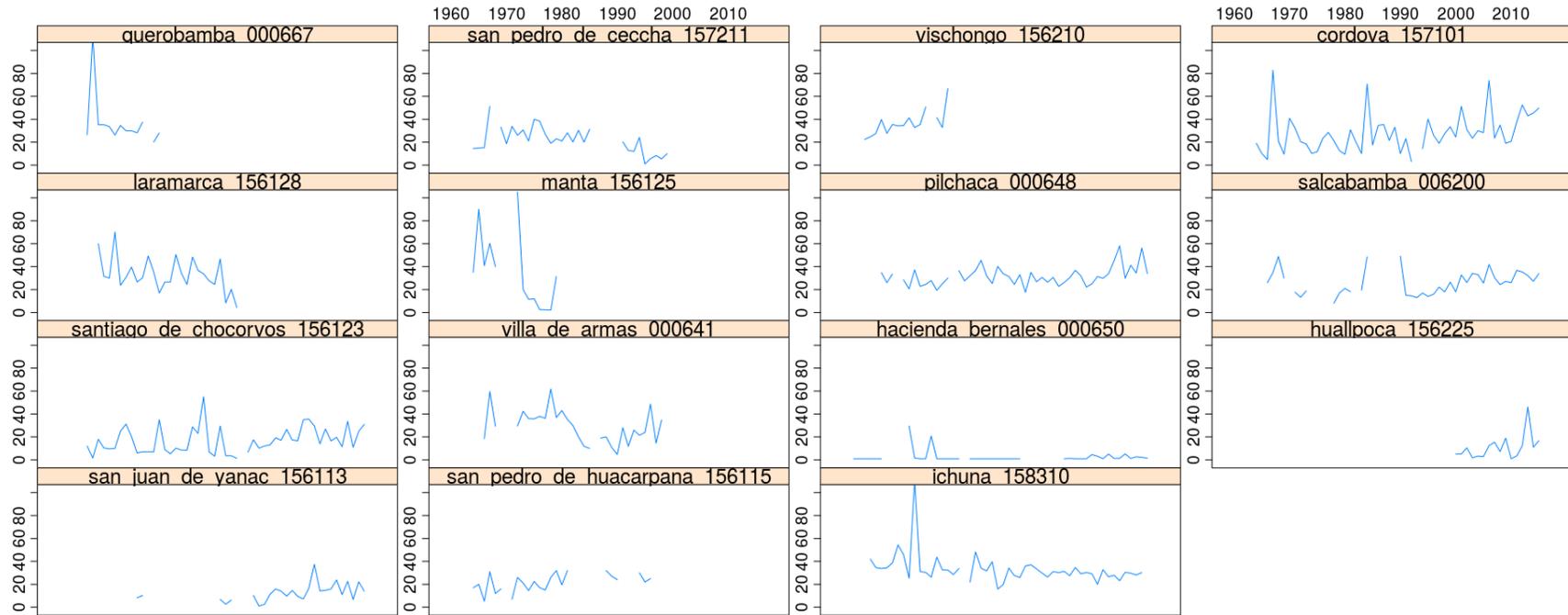
Estadístico	huacana_1 57213	huac_huas _151602	huamang a_000661	huancapi_ 000665	huancasanc os_156218	huanta_0006 60	incuyo_00 0744	la_quinua_0 00663	lampa_157223	laramate_15160 3	llaota_157 200
lbound	0.18000	0.41429	-0.35714	-0.05758	-0.23000	-0.21875	-0.45000	-0.20345	-0.54706	-2.75000	-0.03250
trend	0.61000	0.91739	-0.09129	0.13226	0.30000	-0.10530	0.80000	-0.06190	-0.32183	-1.66000	0.16667
trendp	35.38000	53.20891	-5.29470	7.67097	17.40000	-6.10718	46.40000	-3.59048	-18.66587	-96.28000	9.66667
ubound	1.05000	1.46667	0.08421	0.32750	0.81429	0.09130	2.14286	0.07568	-0.10513	0.30000	0.34333
tau	0.44118	0.46207	-0.08832	0.16190	0.28333	-0.19048	0.25000	-0.07641	-0.39323	-0.28889	0.19164
sig	0.01508	0.00036	0.53170	0.16891	0.13735	0.23892	0.19167	0.47668	0.00018	0.28313	0.07551
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	-0.04473	-0.29923	-0.25163	0.23101	-0.05918	-0.07646	0.02122	0.03556	0.19187	-0.41905	0.09604
valid_frac	0.31034	0.56897	0.56897	0.67241	0.31034	0.43103	0.31034	0.79310	0.82759	0.18966	0.79310
linear	0.64489	0.95644	-0.10478	0.11342	0.35773	-0.07350	0.91654	-0.06634	-0.45158	-0.36364	0.16441
intercept	16.79500	0.04773	28.19091	30.25806	13.70000	29.05296	19.80000	32.07143	24.22123	68.94000	13.35000
Estadístico	lucanas_1 57206	luricocha_1 56209	machente _156213	ocana_157 202	otoca_15720 1	paico_15721 7	palcachacr a_000735	pampa_galer as_000739	pampahuasi_1 57205	pampamarca_1 57207	paras_15 6203
lbound	-0.16000	-0.27778	-1.61000	-0.50000	-0.23000	-0.34091	-0.95000	-0.03922	-1.95000	-0.38571	-0.90000
trend	0.03750	-0.01200	-0.70833	-0.07990	0.04138	0.00000	-0.05750	0.22381	-1.06000	-0.08909	-0.06846
trendp	2.17500	-0.69600	-41.08333	-4.63431	2.40000	0.00000	-3.33500	12.98095	-61.48000	-5.16706	-3.97077
ubound	0.23750	0.25000	0.25000	0.41538	0.28571	0.36000	1.05000	0.49032	0.32727	0.19000	0.75000
tau	0.05458	0.04233	-0.29524	-0.23461	0.01515	0.00215	-0.16667	0.39601	-0.23810	-0.07957	-0.12088
sig	0.59480	0.76696	0.13765	0.17217	0.91363	1.00000	0.60217	0.00402	0.23495	0.54062	0.58407
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.20670	0.00630	0.27003	-0.05024	-0.14140	0.14105	0.08621	-0.19355	0.08308	0.08888	0.02151
valid_frac	0.86207	0.53448	0.29310	0.41379	0.60345	0.56897	0.20690	0.53448	0.29310	0.56897	0.29310
linear	0.04224	-0.05697	-0.75972	-0.09524	0.06786	-0.00921	-0.17855	0.19874	-0.26485	-0.18571	0.02884
intercept	28.55625	26.22000	52.79167	20.24828	11.96552	30.00000	28.00500	26.26190	46.84000	28.51627	29.40077
Estadístico	paucacorr al_157210	paucaray_0 00792	pausa_00 0745	puquio_00 0736	putaccasa_1 57204	querobamba _000667	rayusca_1 56207	san_miguel_ _000666	san_pedro_de _cachi_156205	san_pedro_de_ ceccha_157211	sancos_0 00740
lbound	-0.55556	-0.28056	-0.25814	-0.12258	-0.40000	-1.20000	-1.21500	-1.30000	-4.50000	-0.95238	-2.56667
trend	-0.22333	-0.12727	0.00667	-0.00588	2.06667	-0.72000	-0.75714	-0.53643	-1.10000	-0.64583	-0.40444
trendp	-12.95333	-7.38182	0.38667	-0.34118	119.86667	-41.76000	-43.91429	-31.11286	-63.80000	-37.45833	-23.45778
ubound	0.18333	0.02750	0.28462	0.12143	4.25000	-0.05000	-0.42222	0.47500	-0.31600	-0.20938	1.66667
tau	-0.20920	-0.21720	-0.04184	0.01241	0.35714	-0.60000	-0.22078	-0.35238	-0.02317	-0.35613	-0.07692
sig	0.10834	0.08920	0.71667	0.90801	0.26551	0.01273	0.15857	0.07482	0.85881	0.00974	0.74256
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	-0.01547	0.15717	0.01130	-0.24999	0.32997	-0.23505	0.53911	0.15810	0.73437	0.08850	0.06296
valid_frac	0.55172	0.60345	0.79310	0.87931	0.18966	0.25862	0.44828	0.29310	0.63793	0.53448	0.27586
linear	-0.18878	-0.13230	-0.01036	-0.06409	2.03455	-1.26990	-0.66034	-0.42064	-6.48180	-0.58870	-0.15703
intercept	30.12500	36.96364	21.22333	22.84118	-12.46667	40.08000	31.80714	34.36429	64.70000	35.05417	42.17333

Estadístico	urayhuma_157219	vilcashuama_n_156211	vischongo_156210	wayllapampa_000664	acnococha_000646	acobamba_000659	acobambilla_156118	acora_000644	acostambo_000625	challaca_co_006640	choclococha_156130
lbound	-1.30909	-0.19231	0.62308	-0.33333	-0.20000	-0.17000	-1.68333	-1.57500	-0.42222	-0.52143	0.18824
trend	0.13254	-0.02010	1.33688	-0.01094	0.00000	-0.01875	-0.38182	-0.08750	-0.00833	0.27197	0.53590
trendp	7.68730	-1.16569	77.53891	-0.63438	0.00000	-1.08750	-22.14545	-5.07500	-0.48333	15.77424	31.08205
ubound	2.25000	0.15000	2.37143	0.24516	0.20000	0.12308	0.75556	0.58333	0.50000	0.83333	0.87647
tau	-0.14286	-0.08479	0.66667	-0.11823	0.11983	-0.00405	-0.35294	-0.07692	0.14000	0.00952	0.18548
sig	0.48842	0.43522	0.00186	0.37798	0.39260	0.98070	0.05286	0.76033	0.33829	1.00000	0.14003
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.39727	0.00832	-0.39976	0.54931	-0.33642	-0.18792	-0.34554	-0.28111	0.19641	-0.14268	0.18262
valid_frac	0.27586	0.77586	0.27586	0.56897	0.50000	0.74138	0.32759	0.27586	0.44828	0.27586	0.63793
linear	0.68691	-0.04296	1.48643	-0.32390	0.00234	-0.05601	-0.56940	-0.24111	0.12349	0.13235	0.60337
intercept	29.04206	30.78431	17.78903	30.25781	24.90000	27.93125	29.78182	13.78125	28.28750	1.20947	15.49744
Estadístico	cocas_000643	colcabamba_006620	cordova_157101	cusicancha_156121	hacienda_tocaz_000656	hornada_151509	huachos_151503	huancalpi_156126	huancavelica_000649	laguna_huichinga_aurahua_151504	laramarca_156128
lbound	-1.65000	-1.46667	0.17143	-0.04000	-1.06667	-1.75000	-0.22500	-0.08571	-0.19000	-4.27500	-1.56000
trend	-0.39519	-0.05417	0.41250	0.06875	-0.48077	-0.54444	0.00526	0.16735	-0.01708	1.90000	-0.60455
trendp	-22.92115	-3.14167	23.92500	3.98750	-27.88462	-31.57778	0.30526	9.70647	-0.99083	110.20000	-35.06364
ubound	0.22143	0.86667	0.67143	0.23143	0.10000	0.53000	0.28947	0.40000	0.13333	7.11111	-0.02000
tau	-0.25275	0.12727	0.31973	0.04651	-0.28889	-0.38182	0.03875	0.10725	-0.03866	-0.12821	-0.28667
sig	0.22844	0.64043	0.00123	0.66363	0.28313	0.11947	0.77260	0.29765	0.75471	0.58295	0.04713
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.36880	-0.16351	-0.14125	0.13756	-0.31610	-0.04719	-0.09090	0.01773	0.13957	0.19059	-0.19528
valid_frac	0.29310	0.20690	0.87931	0.81034	0.22414	0.24138	0.58621	0.82759	0.68966	0.25862	0.44828
linear	-0.74170	-0.07552	0.35010	0.14762	-0.51841	-0.42905	0.05661	0.15482	-0.11362	-0.22522	-0.84444
intercept	26.52788	34.03958	12.72500	18.03750	36.13077	37.55556	24.82368	23.09676	24.62104	7.50000	41.00227
Estadístico	lircay_000657	los_libertadores_156139	manta_156125	pampas_000508	pariona_156131	paucarbamba_000658	piichaca_000648	salcabamba_0006200	san_juan_de_castrovirreyna_156114	san_juan_de_huirpachanca_151506	san_lorenzo_000655
lbound	-0.13939	-1.70000	-6.05000	-0.07778	-1.49000	-0.10000	0.00769	0.03478	-0.17778	-0.82222	-0.18571
trend	-0.00377	0.31250	-3.62125	0.27634	-0.91417	0.11481	0.16490	0.29231	0.00714	-0.17628	-0.03750
trendp	-0.21895	18.12500	-210.03250	16.02768	-53.02167	6.65926	9.56429	16.95385	0.41429	-10.22436	-2.17500
ubound	0.15000	1.96000	-0.78182	0.68571	0.00000	0.27105	0.31071	0.50333	0.16000	0.22857	0.18710
tau	-0.03188	-0.15556	-0.78182	0.10145	-0.17949	0.18004	0.23467	0.24064	0.06620	-0.15033	-0.17391
sig	0.76190	0.59151	0.00108	0.50304	0.42771	0.13822	0.02540	0.04698	0.54392	0.40467	0.24369
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.17939	0.00044	-0.19580	0.14796	-0.02574	0.05730	0.09637	0.36731	-0.01137	-0.16015	0.34367
valid_frac	0.84483	0.18966	0.22414	0.43103	0.27586	0.65517	0.82759	0.67241	0.79310	0.34483	0.44828
linear	0.03204	0.20091	-3.68234	0.33369	-0.63501	-0.01608	0.21149	0.12422	-0.00750	-0.19768	0.13044
intercept	28.61140	23.38750	70.69750	13.46473	50.55458	26.76296	24.75493	13.53077	16.86429	26.61474	29.70625

Estadístico	santa_rosa_l lihua_151505	santiago_de_ch ocorvos_156123	sinto_000645	tambo_15 6122	tantara_1 51507	telepaccha _156120	ticipapo_15 6117	totora_15611 9	tunel_cero_0 00647	villa_de_arm as_000641	conta_15 6219
lbound	-1.81250	0.04286	-0.66667	-0.13333	-1.70000	-0.41429	-0.86154	0.00000	-0.03750	-1.00000	0.00000
trend	-0.47059	0.24242	0.10714	0.03448	-0.01429	0.10000	-0.19286	0.27619	0.09815	-0.44737	0.00000
trendp	-27.29412	14.06061	6.21429	2.00000	-0.82857	5.80000	-11.18571	16.01905	5.69259	-25.94737	0.00000
ubound	0.27143	0.42500	1.10000	0.21786	1.46364	0.37000	0.43158	0.58333	0.23333	0.14762	0.00000
tau	-0.14959	0.22262	-0.02941	-0.00222	0.06667	0.06667	-0.05263	0.20290	0.10993	-0.34154	-0.18257
sig	0.58156	0.02628	0.90165	0.99165	0.85803	0.75264	0.77029	0.17249	0.27429	0.01533	0.57773
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.24034	0.06986	0.03586	0.05499	-0.26834	0.11968	0.08171	-0.00004	-0.03701	0.11527	0.33404
valid_frac	0.24138	0.86207	0.31034	0.81034	0.24138	0.31034	0.39655	0.43103	0.89655	0.53448	0.20690
linear	-0.60105	0.22683	0.06305	0.03664	0.14283	-0.05901	-0.23559	0.27846	0.16330	-0.39894	-0.11030
intercept	26.30882	7.01818	22.12500	24.31034	28.12857	18.35000	22.46429	19.47619	25.38889	40.10526	1.00000
Estadístico	copara_0007 27	el_carmen_0006 99	fonagro_chinc ha_000791	hacienda bernales 000650	huamani_ 000640	huancano_ 000639	huallpoca_ 156225	isla_chincha _norte_0006 32	letrayoc_156 132	malluchimpa na_157100	ocucaje_ 000730
lbound	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.17059	-0.15455	0.00000	-0.05000	-0.41875	0.00000
trend	0.00000	0.00000	0.02000	0.00000	0.00000	-0.06000	0.80095	0.00000	0.21111	-0.07692	0.00000
trendp	0.00000	0.00000	1.16000	0.00000	0.00000	-3.48000	46.45524	0.00000	12.24444	-4.46154	0.00000
ubound	0.00455	0.00000	0.05000	0.00000	0.08947	0.02222	1.54444	0.00000	0.55000	0.20000	0.00000
tau	0.12367	-0.17817	0.31476	0.39238	0.12580	-0.20000	0.39048	0.24287	0.25641	-0.16559	0.23751
sig	0.31800	0.66717	0.07483	0.00147	0.28671	0.11790	0.04776	0.26028	0.24639	0.19645	0.06619
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.22056	0.20833	-0.01354	-0.03943	-0.06688	-0.09460	-0.12786	0.26464	-0.00890	-0.12931	-0.11506
valid_frac	0.75862	0.17241	0.39655	0.74138	0.70690	0.60345	0.27586	0.39655	0.25862	0.58621	0.67241
linear	0.05014	-0.28409	0.02868	-0.03615	-0.07952	-0.09219	1.08485	-0.06245	0.29661	-0.07463	-0.00301
intercept	1.00000	1.00000	0.68000	1.00000	2.70000	8.60000	-29.39524	1.00000	-6.16667	12.62692	1.00000
Estadístico	palpa_00073 1	pampa_blanca_ 157102	pampa_de_vill acuri_000637	pisco_14 0600	rio_grand e_000698	san_camil o_000700	san_juan_ de_yanac_ 156113	san_pedro_ de_huacarpa na_156115	san_pedro_ de_huacarpa na_000857	tacama_0007 94	calacoa_ 158308
lbound	-0.02821	-0.13077	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00833	0.13333	0.06250	-0.97500	-0.10000	-0.31852
trend	0.00000	-0.02222	0.00000	0.00000	0.03880	0.00000	0.32780	0.36438	-0.45000	0.03604	-0.09271
trendp	0.00000	-1.28889	0.00000	0.00000	2.25017	0.00000	19.01236	21.13375	-26.10000	2.09026	-5.37708
ubound	0.01852	0.09600	0.00000	0.00000	0.20000	0.03529	0.60625	0.70000	0.14000	0.22222	0.07778
tau	-0.05986	0.00887	0.28552	-0.29160	0.18803	0.04667	0.36759	0.47368	-0.30719	0.00952	-0.06061
sig	0.66523	0.93624	0.16098	0.09873	0.24226	0.65603	0.01511	0.00513	0.08144	1.00000	0.56383
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	0.34297	0.18405	-0.00743	-0.03846	0.22996	0.04149	0.00430	-0.43308	-0.04636	-0.00805	0.13985
valid_frac	0.55172	0.84483	0.44828	0.48276	0.43103	0.87931	0.50000	0.43103	0.32759	0.29310	0.84483
linear	-0.06900	0.00967	0.06044	-0.03689	0.14889	-0.01526	0.29491	0.34617	-0.38719	0.05657	-0.06692
intercept	1.70000	8.72222	1.00000	1.00000	0.03010	2.00000	-1.48417	14.16188	42.65000	0.48636	26.52083

Estadístico	carumas_0008 73	coalaque_15 8211	coscori_ 158303	ichuna_158 310	ilo_0008 40	moquegua_00 0806	omate_000 850	otora_158 302	pachas_158 305	punta_coles_00 0846	puquina_000 848
lbound	-0.05750	-0.11818	-0.33333	-0.30000	0.00000	-0.04444	-0.02400	-0.03158	-0.72632	0.00000	-0.14286
trend	0.10325	0.15000	0.77143	-0.15556	0.00000	0.00000	0.15882	0.14737	-0.10000	0.00000	0.19250
trendp	5.98850	8.70000	44.74286	-9.02222	0.00000	0.00000	9.21176	8.54737	-5.80000	0.00000	11.16500
ubound	0.26829	0.44444	1.39091	-0.05909	0.00000	0.06786	0.33333	0.30556	0.37500	0.02727	0.56897
tau	0.08506	0.18548	0.06667	-0.38020	-0.13665	0.05473	0.18293	0.11667	-0.06667	-0.05521	0.07190
sig	0.52069	0.14003	0.76653	0.00017	0.20800	0.59467	0.09422	0.55835	0.75264	0.75788	0.70485
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
autocor	-0.11199	0.06213	0.30113	-0.14406	-0.09887	-0.11251	-0.11464	-0.05795	0.18404	0.56849	-0.02468
valid_frac	0.62069	0.58621	0.29310	0.86207	0.84483	0.86207	0.79310	0.32759	0.32759	0.48276	0.36207
linear	-0.17930	0.14444	0.56865	-0.30543	-0.02619	-0.02213	0.16094	0.13634	-0.22961	0.06351	0.17617
intercept	23.10613	8.35000	-0.20000	36.38889	1.00000	4.05000	10.85294	8.37895	19.90000	1.00000	16.13750
Estadístico	quinistaquillas _158301	tumilaca_15 8314	ubinas_0 00851	yacango_0 00852							
lbound	-0.14286	-0.34250	-0.14211	-0.22500							
trend	0.00789	-0.16870	-0.01918	-0.00811							
trendp	0.45789	-9.78455	-1.11238	-0.47027							
ubound	0.19375	0.05405	0.11750	0.11667							
tau	0.04627	0.30303	-0.02588	-0.05167							
sig	0.65316	0.19262	0.79493	0.69582							
nruns	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000							
autocor	0.01657	0.00219	-0.16933	0.16281							
valid_frac	0.86207	0.27586	0.89655	0.67241							
linear	0.02395	-0.13586	-0.00500	0.00460							
intercept	11.10395	12.26321	22.96921	8.94595							



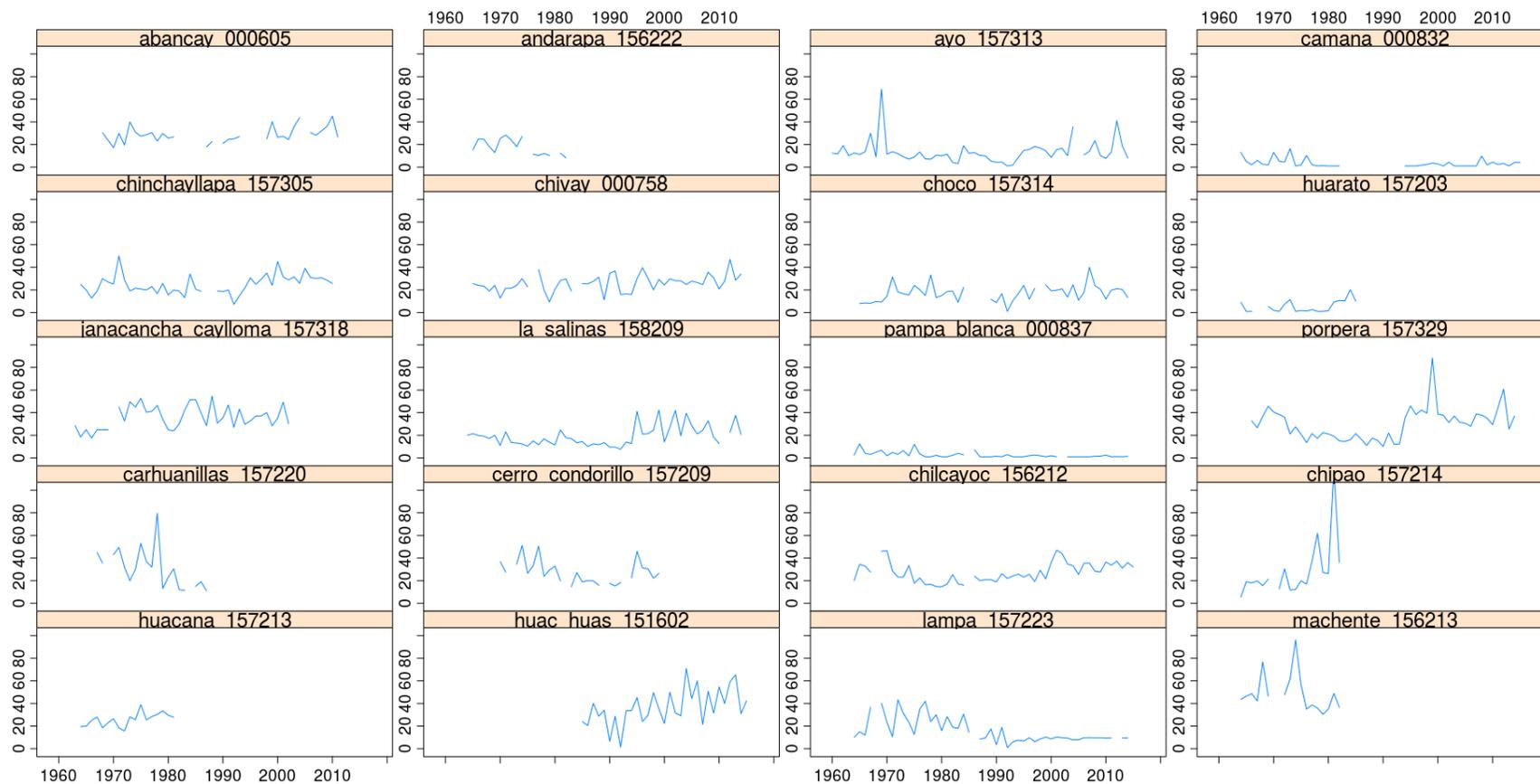


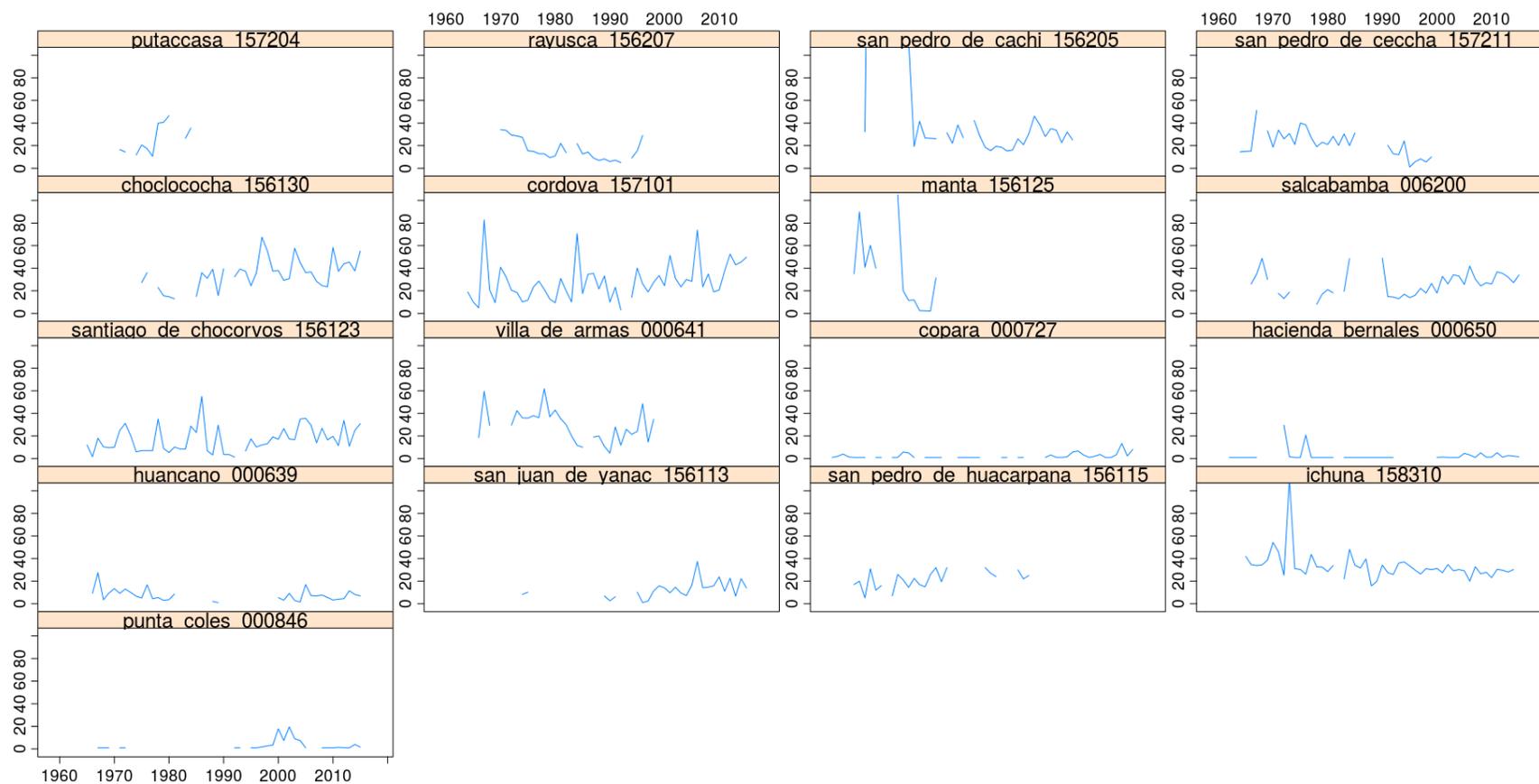
## **ANEXO B.4: ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD**

n	Estación Código	K	$\tau$	p	n	Estación Código	K	$\tau$	p
1	abancay_000605	183	21	0.03	46	huasacache_000799	56	17	0.37
2	andahuaylas_000669	151	31	0.29	47	imata_000765	261	38	0.20
3	andarapa_156222	60	10	0.01	48	janacancha_caylloma_157318	199	7	0.04
4	antabamba_000748	27	3	0.19	49	la_angostura_000754	284	9	0.08
5	chalhuanca_000747	11	9	0.99	50	la_calera_157323	40	9	0.08
6	chalhuanca_ii_007747	70	11	0.33	51	la_joya_000804	123	39	0.90
7	cunyac_156224	33	5	0.06	52	la_pampilla_000839	224	30	0.24
8	curahuasi_000677	184	26	0.41	53	la_pulpera_157327	128	11	0.14
9	huancabamba_156223	29	12	0.88	54	la_salinas_158209	467	31	0.00
10	huancaray_156221	28	2	0.93	55	lomas_000890	26	13	0.65
11	pampachiri_000728	17	7	0.96	56	machaguay_007308	223	26	0.12
12	pampas_156217	37	10	0.53	57	madrigal_157317	247	26	0.05
13	pecope_157221	26	4	0.36	58	mollendo_000800	27	10	0.59
14	tambobamba_000811	28	9	0.99	59	ocona_000831	24	10	0.62
15	acari_000733	32	13	0.99	60	orcopampa_157311	269	14	0.10
16	aguada_blanca_000797	13	5	0.80	61	pampa_blanca_000837	403	22	0.00
17	andahua_157310	137	23	0.64	62	pampa_de_arrieros_158204	223	25	0.12
18	antiquilla_008791	88	12	0.21	63	pampa_de_majes_000805	110	13	0.96
19	aplao_000833	154	14	0.66	64	pampacolca_000751	122	23	0.72
20	arequipa_140801	110	18	0.39	65	pillones_158208	125	14	0.99
21	atiquipa_000734	40	8	0.08	66	porpera_157329	474	28	0.00
22	ayo_157313	343	35	0.03	67	puica_157307	81	10	0.35
23	cabanaconde_000795	149	29	0.91	68	pullhuay_157309	184	9	0.19
24	camana_000832	229	14	0.02	69	punta_atico_000830	97	19	0.73
25	caraveli_000746	137	36	0.74	70	pusa_pusa_157322	33	8	0.57
26	caylloma_000753	67	6	0.83	71	salamanca_000801	169	18	0.60
27	chachas_157312	128	14	0.97	72	santa_isabel_de_siguas_158201	31	13	0.90
28	chala_000891	21	5	0.96	73	santa_rita_000829	25	6	0.41
29	chaparra_000741	82	12	0.61	74	sibayo_000755	236	42	0.28
30	characato_000836	24	12	0.77	75	socabaya_158205	80	14	0.71
31	chichas_157300	166	21	0.59	76	sumbay_157328	182	33	0.12
32	chiguata_000847	191	6	0.36	77	tisco_157325	123	38	0.98
33	chinchayllapa_157305	359	29	0.00	78	urasqui_158100	26	2	0.65
34	chivay_000758	295	28	0.03	79	visuyo_157319	32	9	0.15
35	choco_157314	268	27	0.03	80	vitor_140803	21	6	0.96
36	chuquibamba_000750	98	31	0.99	81	yanacuyhua_000864	154	38	0.66
37	colegio_m_francisco_bolognesi_008792	16	3	0.99	82	yanque_157321	62	22	0.99
38	condoroma_000710	45	5	0.47	83	allpachaca_000662	65	7	0.34
39	cotahuasi_000749	148	32	0.40	84	anco_156216	32	16	0.85
40	el_frayle_000849	99	38	0.99	85	andamarca_000737	28	2	0.93
41	hacienda_morocaqui_157330	136	12	0.10	86	aucara_157212	50	8	0.52
42	hacienda_pampata_158200	36	3	0.57	87	ayacucho_140654	111	16	0.08
43	huambo_157315	130	41	0.86	88	carhuanca_156214	23	7	0.99
44	huanca_008203	178	18	0.05	89	carhuanillas_157220	82	11	0.01
45	huarato_157203	80	15	0.04	90	cceccana_157215	26	12	0.65

n	Estación Código	K	$\tau$	p	n	Estación Código	K	$\tau$	p
91	cecchapampa_000738	39	10	0.16	136	wayllapampa_000664	110	8	0.28
92	cerro_condorillo_157209	120	12	0.04	137	acnococha_000646	45	10	0.99
93	chavina_000742	38	12	0.38	138	acobamba_000659	159	12	0.31
94	chilcayoc_156212	428	34	0.00	139	acobambilla_156118	34	9	0.77
95	chipao_157214	68	12	0.02	140	acora_000644	16	8	0.99
96	chungui_156220	24	12	0.77	141	acostambo_000625	66	22	0.48
97	chuschi_156206	24	15	0.99	142	challaca_co_006640	23	5	0.96
98	coracora_000743	96	3	0.99	143	choclococha_156130	219	12	0.01
99	hacienda_cochas_156215	16	8	0.49	144	cocas_000643	39	11	0.35
100	huacana_157213	71	9	0.01	145	colcabamba_006620	13	7	0.99
101	huac_huas_151602	172	15	0.02	146	cordova_157101	346	30	0.01
102	huamanga_000661	80	9	0.71	147	cusicancha_156121	206	29	0.18
103	huancapi_000665	182	14	0.08	148	hacienda_tocaz_000656	25	6	0.41
104	huancasancos_156218	53	9	0.13	149	hornada_151509	20	10	0.88
105	huanta_000660	88	15	0.11	150	huachos_151503	69	17	0.99
106	incuyo_000744	50	13	0.17	151	huancalpi_156126	219	24	0.16
107	la_quinoa_000663	122	15	0.81	152	huancavelica_000649	119	12	0.55
108	lampa_157223	533	21	0.00	153	laguna_huichinga_aurahua_151504	36	12	0.23
109	laramate_151603	18	3	0.52	154	laramarca_156128	71	20	0.38
110	llauta_157200	190	14	0.23	155	lircay_000657	119	25	0.99
111	lucanas_157206	198	31	0.32	156	los_libertadores_156139	18	2	0.52
112	luricocha_156209	46	19	0.99	157	manta_156125	42	6	0.02
113	machente_156213	58	10	0.04	158	pampas_000508	70	4	0.33
114	ocana_157202	51	12	0.68	159	pariona_156131	34	6	0.41
115	otoca_157201	82	6	0.80	160	paucarbamba_000658	127	15	0.36
116	paico_157217	88	26	0.57	161	pilchaca_000648	226	40	0.13
117	palcachacra_000735	18	7	0.71	162	salcabamba_006200	221	24	0.02
118	pampa_galeras_000739	108	20	0.21	163	san_juan_de_castrovirreyna_156114	132	28	0.70
119	pampahuasi_157205	24	14	0.99	164	san_juan_de_huirpачанча_151506	32	4	0.96
120	pampamarca_157207	102	10	0.37	165	san_lorenzo_000655	63	20	0.54
121	paras_156203	22	12	0.99	166	santa_rosa_lihua_151505	27	5	0.45
122	paucacorral_157210	102	24	0.32	167	santiago_de_chocorvos_156123	323	33	0.01
123	paucaray_000792	116	9	0.32	168	sinto_000645	29	8	0.88
124	pausa_000745	111	14	0.95	169	tambo_156122	123	16	0.85
125	puquio_000736	124	24	0.99	170	tantara_151507	15	9	0.99
126	putaccasa_157204	30	6	0.05	171	telepaccha_156120	34	8	0.65
127	querobamba_000667	32	12	0.36	172	ticrapo_156117	42	10	0.87
128	rayusca_156207	124	8	0.01	173	titora_156119	86	15	0.13
129	san_miguel_000666	36	11	0.45	174	tunel_cero_000647	188	20	0.46
130	san_pedro_de_cachi_156205	238	9	0.00	175	villa_de_armas_000641	166	16	0.01
131	san_pedro_de_ceccha_157211	177	21	0.00	176	conta_156219	14	5	0.99
132	sancos_000740	25	13	0.84	177	copara_000727	260	28	0.02
133	urayhuma_157219	30	12	0.58	178	el_carmen_000699	10	5	0.99
134	vilcashuaman_156211	128	12	0.70	179	fonagro_chincha_000791	62	15	0.33
135	vischongo_156210	45	8	0.12	180	hacienda_bernales_000650	264	32	0.01

n	Estación Código	K	$\tau$	p
181	huamani_000640	133	10	0.44
182	huancano_000639	166	11	0.05
183	huallpoca_156225	40	6	0.22
184	isla_chincha_norte_000632	51	6	0.59
185	letrayoc_156132	29	6	0.49
186	malluchimpana_157100	96	25	0.51
187	ocucaje_000730	175	21	0.10
188	palpa_000731	114	13	0.20
189	pampa_blanca_157102	136	23	0.79
190	pampa_de_villacuri_000637	73	21	0.35
191	pisco_140600	34	8	0.99
192	rio_grande_000698	89	11	0.11
193	san_camilo_000700	215	9	0.26
194	san_juan_de_yanac_156113	164	11	0.00
195	san_pedro_de_huacarpana_156115	111	13	0.02
196	san_pedro_de_huacarpana_000857	58	10	0.12
197	tacama_000794	28	2	0.81
198	calacoa_158308	170	18	0.47
199	carumas_000873	102	10	0.54
200	coalaque_158211	132	8	0.15
201	coscori_158303	50	6	0.11
202	ichuna_158310	313	22	0.02
203	ilo_000840	120	10	0.97
204	moquegua_000806	115	28	0.99
205	omate_000850	216	18	0.12
206	otora_158302	42	14	0.46
207	pachas_158305	34	17	0.77
208	punta_coles_000846	132	11	0.02
209	puquina_000848	40	16	0.74
210	quinistaquillas_158301	187	32	0.39
211	tumilaca_158314	26	2	0.79
212	ubinas_000851	142	37	0.86
213	yacango_000852	114	10	0.56

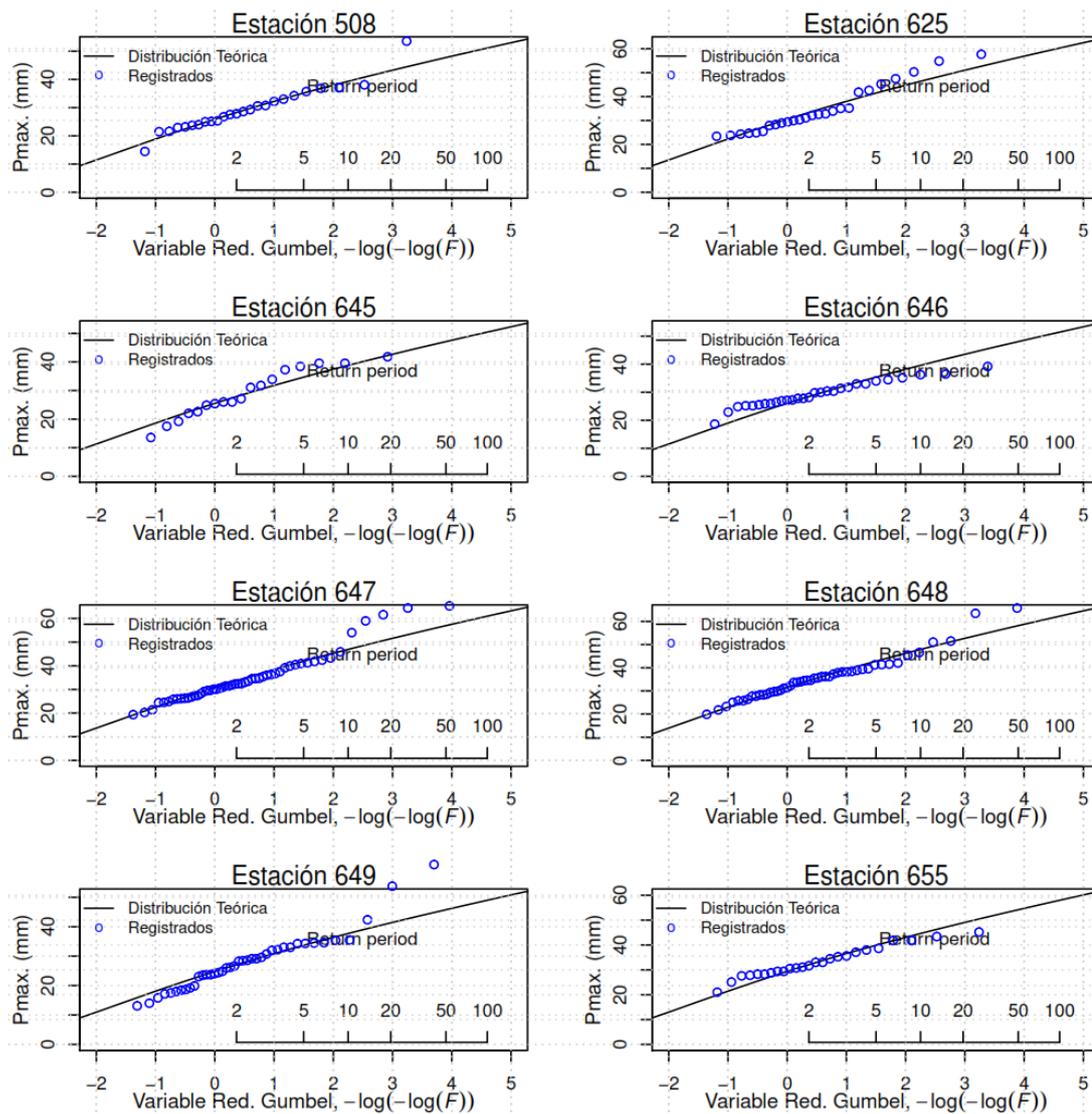


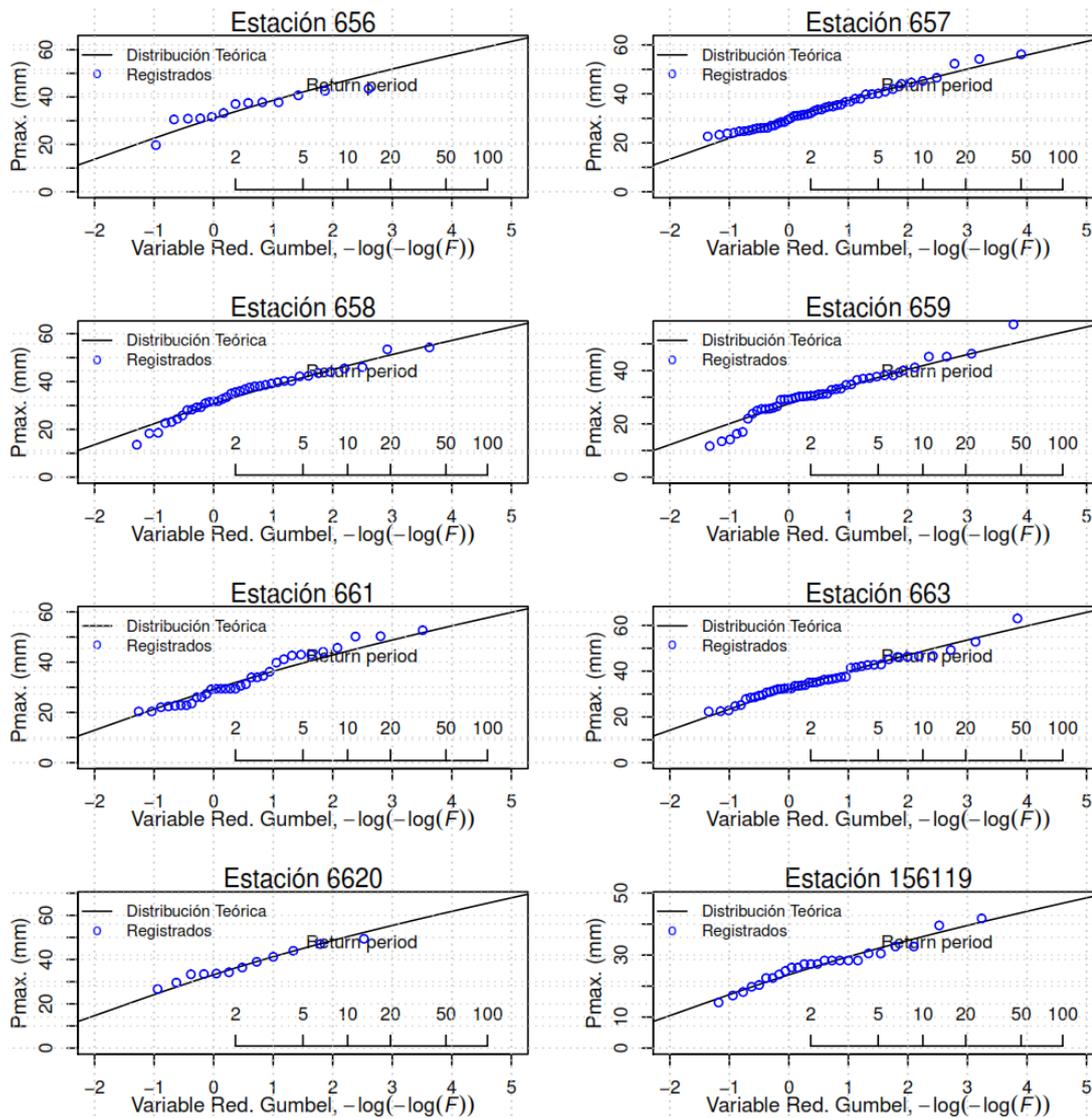


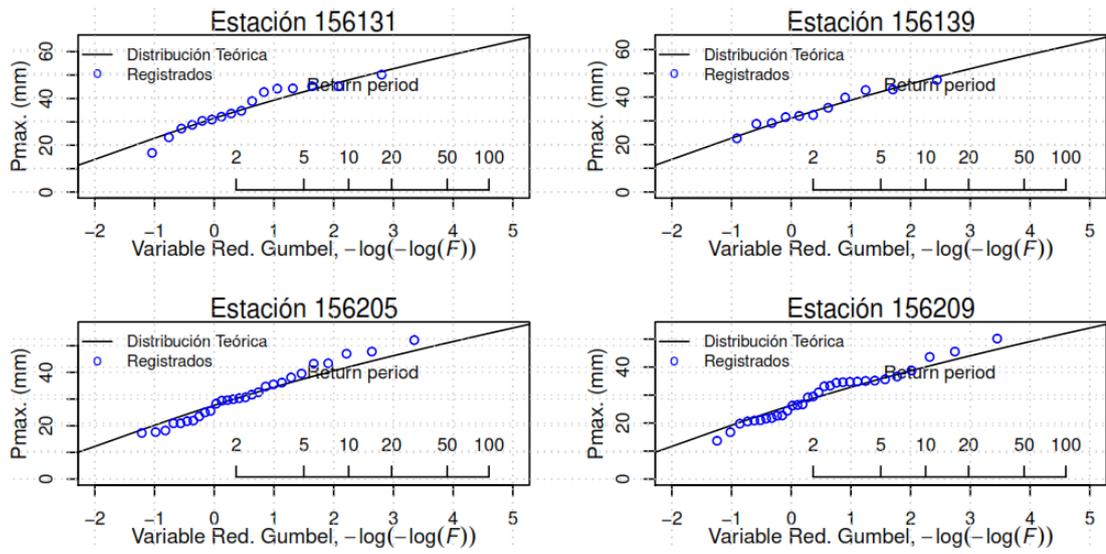
## **ANEXO C: CUANTILES LOCALES**

**Región 1**

<b>p</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.95</b>	<b>0.98</b>	<b>0.99</b>	<b>0.995</b>	<b>0.998</b>	<b>0.999</b>
<b>Estación\PR(años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>000508</b>	28.3	35.2	39.3	43.1	47.8	51.1	54.4	58.6	61.7
<b>000625</b>	33.3	41.4	46.4	50.8	56.3	60.3	64.1	69.1	72.8
<b>000645</b>	27.9	34.7	38.8	42.5	47.1	50.4	53.7	57.8	60.9
<b>000646</b>	28.5	35.4	39.6	43.4	48.1	51.5	54.7	59.0	62.2
<b>000647</b>	33.7	41.9	46.9	51.4	57.0	61.0	64.9	69.9	73.6
<b>000648</b>	34.4	42.8	47.9	52.5	58.2	62.3	66.2	71.4	75.2
<b>000649</b>	27.1	33.7	37.7	41.3	45.8	49.0	52.1	56.2	59.2
<b>000655</b>	32.1	39.9	44.6	48.9	54.2	58.0	61.7	66.5	70.0
<b>000656</b>	33.9	42.1	47.1	51.6	57.2	61.2	65.1	70.2	73.9
<b>000657</b>	32.8	40.7	45.6	49.9	55.3	59.2	63.0	67.9	71.5
<b>000658</b>	33.5	41.7	46.6	51.1	56.6	60.6	64.5	69.5	73.2
<b>000659</b>	30.1	37.4	41.8	45.8	50.8	54.4	57.8	62.3	65.7
<b>000661</b>	31.9	39.6	44.3	48.6	53.9	57.6	61.3	66.1	69.6
<b>000663</b>	35.1	43.6	48.8	53.5	59.2	63.4	67.4	72.7	76.6
<b>006620</b>	36.2	45.0	50.4	55.2	61.2	65.5	69.6	75.0	79.1
<b>156119</b>	25.8	32.1	36.0	39.4	43.7	46.7	49.7	53.6	56.4
<b>156131</b>	34.5	42.8	47.9	52.5	58.2	62.3	66.3	71.4	75.2
<b>156139</b>	34.0	42.2	47.2	51.8	57.3	61.4	65.3	70.4	74.1
<b>156205</b>	30.2	37.6	42.0	46.1	51.0	54.6	58.1	62.6	66.0
<b>156209</b>	28.8	35.8	40.0	43.9	48.6	52.0	55.4	59.7	62.9

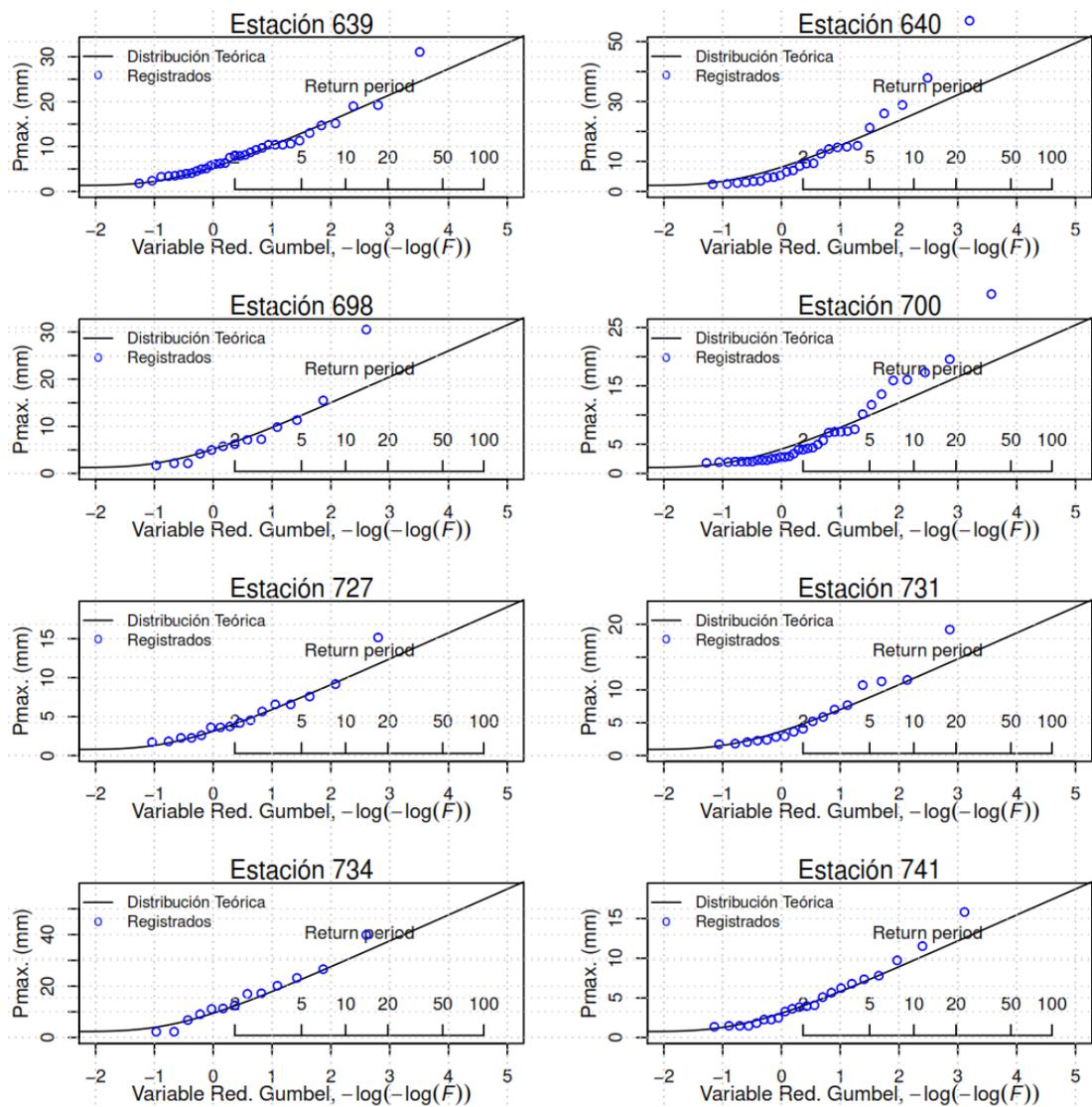


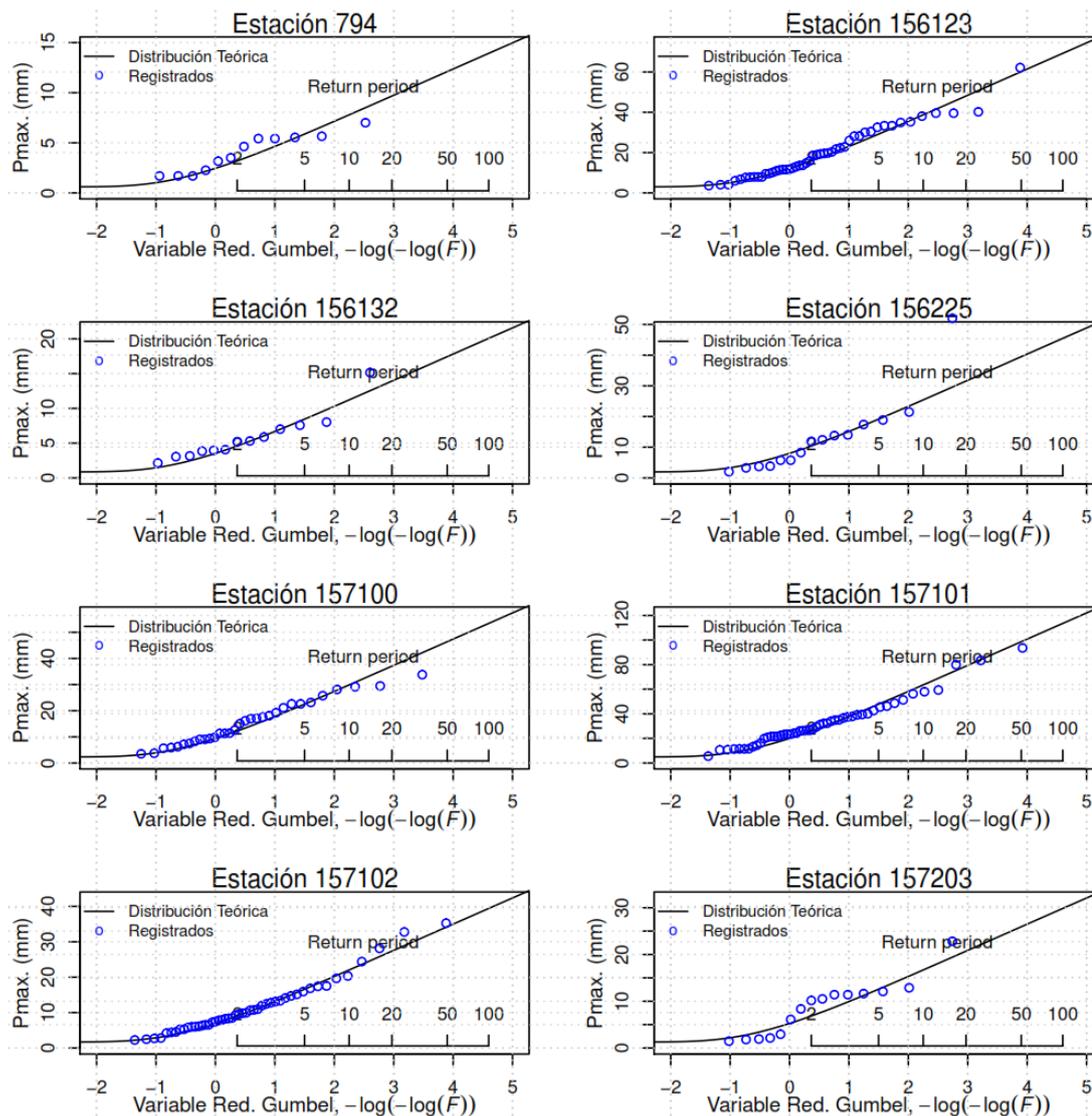




## Región 2

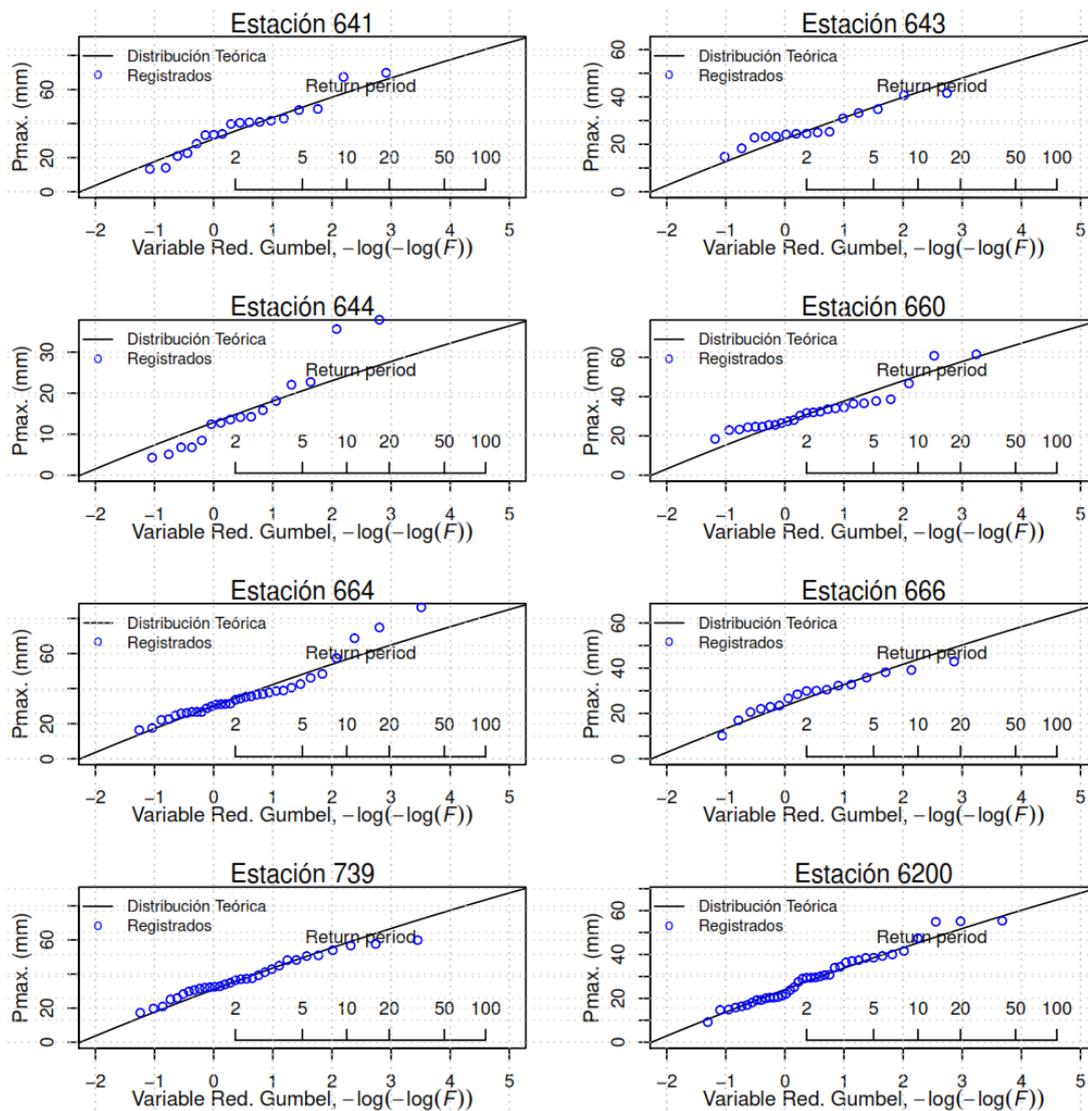
p	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
Estación\PR(años)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
<b>000639</b>	7.1	13.0	17.2	21.3	26.7	30.8	34.8	40.0	44.0
<b>000640</b>	10.6	19.4	25.8	32.0	40.0	46.1	52.1	59.9	65.9
<b>000698</b>	6.7	12.3	16.4	20.3	25.5	29.3	33.1	38.1	41.9
<b>000700</b>	5.4	10.0	13.2	16.4	20.6	23.7	26.7	30.8	33.8
<b>000727</b>	4.1	7.5	9.9	12.3	15.4	17.7	20.0	23.1	25.3
<b>000731</b>	4.8	8.9	11.8	14.6	18.3	21.1	23.8	27.4	30.1
<b>000734</b>	12.3	22.6	30.0	37.2	46.6	53.7	60.7	69.8	76.7
<b>000741</b>	4.0	7.3	9.7	12.1	15.1	17.4	19.7	22.7	24.9
<b>000794</b>	3.2	5.9	7.8	9.7	12.1	13.9	15.7	18.1	19.9
<b>156123</b>	15.9	29.2	38.7	48.1	60.2	69.3	78.3	90.1	99.0
<b>156132</b>	4.6	8.5	11.2	13.9	17.4	20.1	22.7	26.1	28.7
<b>156225</b>	10.4	19.2	25.4	31.5	39.5	45.5	51.4	59.1	65.0
<b>157100</b>	12.2	22.5	29.9	37.1	46.4	53.4	60.4	69.5	76.4
<b>157101</b>	26.0	47.8	63.5	78.8	98.7	113.5	128.3	147.7	162.3
<b>157102</b>	9.0	16.6	22.0	27.4	34.3	39.4	44.5	51.3	56.3
<b>157203</b>	6.8	12.6	16.7	20.7	25.9	29.9	33.7	38.8	42.7

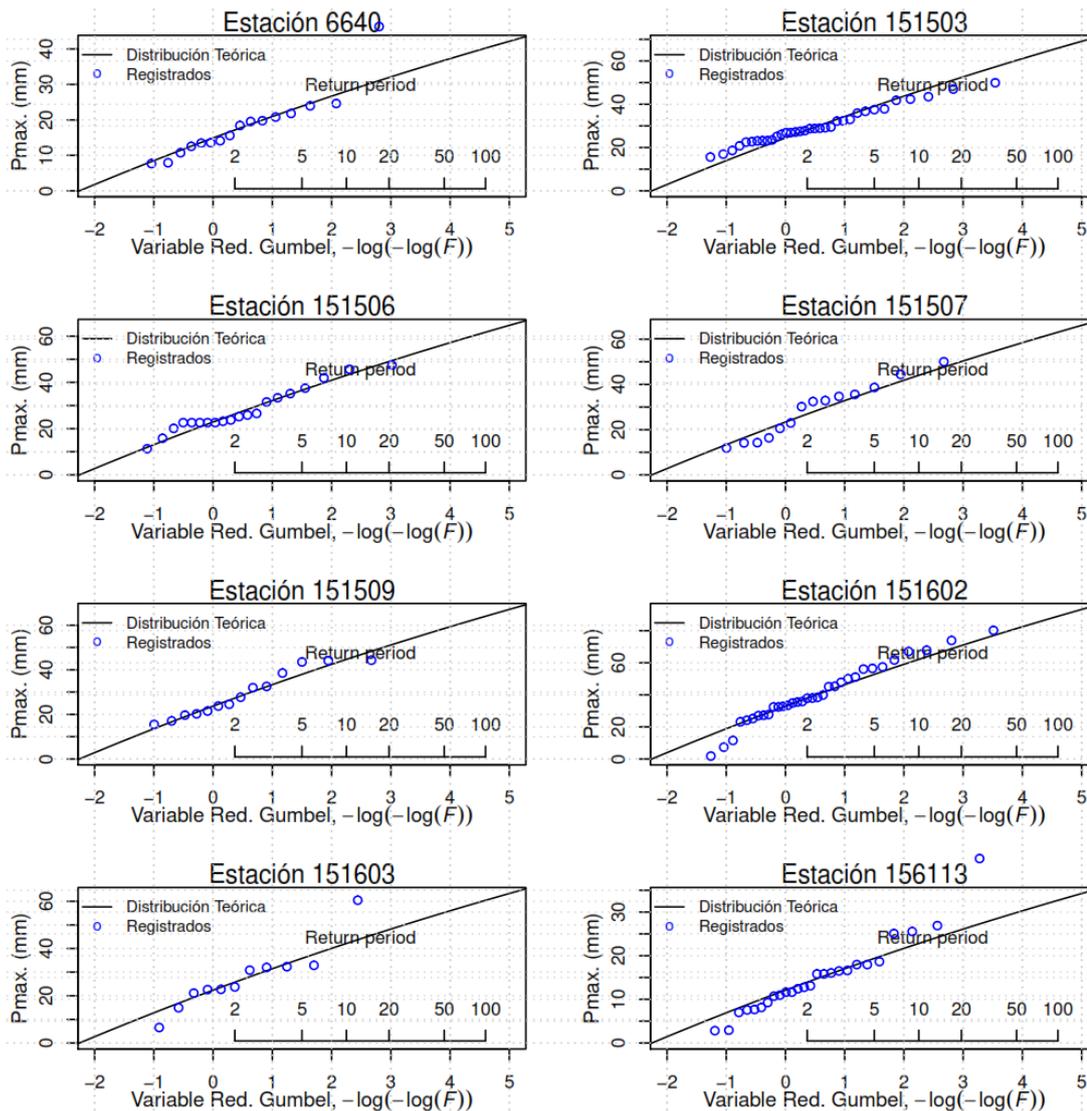


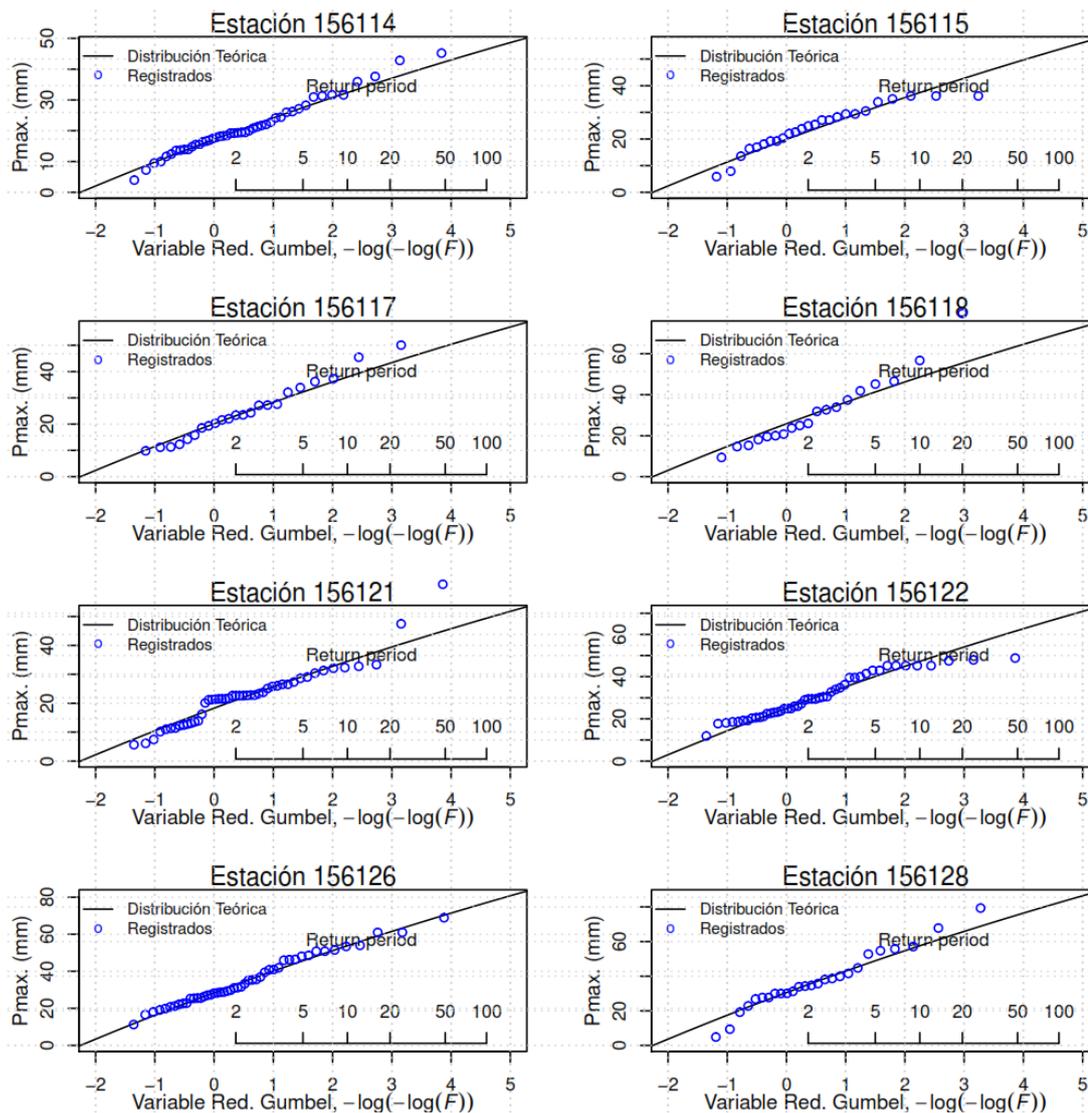


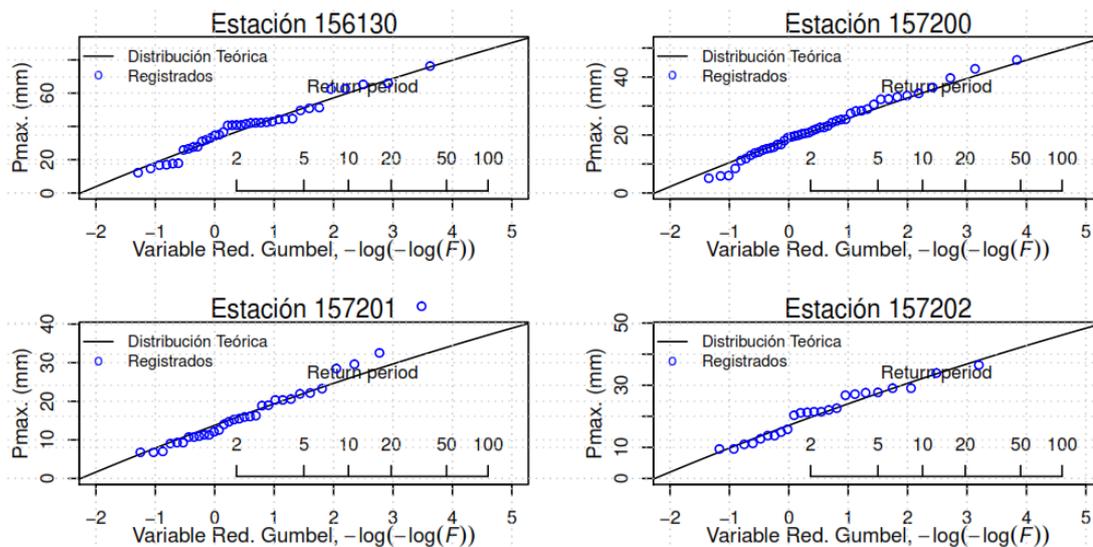
## Región 3

<b>p</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.95</b>	<b>0.98</b>	<b>0.99</b>	<b>0.995</b>	<b>0.998</b>	<b>0.999</b>
<b>Estación\PR</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>000641</b>	35.6	49.6	58.3	66.4	76.4	83.6	90.5	99.2	105.5
<b>000643</b>	25.6	35.6	41.9	47.7	54.9	60.1	65.1	71.3	75.8
<b>000644</b>	14.8	20.6	24.2	27.6	31.7	34.7	37.5	41.2	43.8
<b>000660</b>	30.9	43.0	50.6	57.6	66.2	72.5	78.4	86.0	91.4
<b>000664</b>	34.6	48.2	56.7	64.5	74.2	81.2	87.9	96.4	102.5
<b>000666</b>	26.8	37.3	43.9	50.0	57.5	62.9	68.1	74.7	79.4
<b>000739</b>	35.6	49.5	58.3	66.3	76.3	83.5	90.4	99.1	105.4
<b>006200</b>	27.7	38.5	45.3	51.6	59.3	64.9	70.3	77.0	81.9
<b>006640</b>	17.2	23.9	28.1	32.0	36.8	40.3	43.6	47.8	50.8
<b>151503</b>	28.1	39.1	46.0	52.4	60.3	65.9	71.4	78.3	83.2
<b>151506</b>	26.3	36.6	43.0	49.0	56.4	61.7	66.8	73.2	77.9
<b>151507</b>	26.9	37.4	44.0	50.1	57.7	63.1	68.3	74.9	79.6
<b>151509</b>	27.3	38.0	44.7	50.9	58.5	64.0	69.3	76.0	80.8
<b>151602</b>	37.9	52.8	62.1	70.7	81.4	89.0	96.3	105.6	112.3
<b>151603</b>	25.8	35.8	42.2	48.0	55.2	60.4	65.4	71.7	76.2
<b>156113</b>	13.9	19.4	22.8	26.0	29.9	32.7	35.4	38.8	41.3
<b>156114</b>	19.8	27.5	32.4	36.9	42.4	46.4	50.2	55.1	58.6
<b>156115</b>	22.9	31.8	37.4	42.6	49.0	53.6	58.0	63.6	67.7
<b>156117</b>	23.2	32.2	37.9	43.2	49.7	54.3	58.8	64.5	68.6
<b>156118</b>	29.7	41.3	48.6	55.4	63.7	69.7	75.5	82.7	88.0
<b>156121</b>	21.1	29.3	34.5	39.2	45.2	49.4	53.5	58.6	62.3
<b>156122</b>	28.9	40.1	47.2	53.8	61.9	67.7	73.3	80.3	85.4
<b>156126</b>	32.9	45.7	53.8	61.2	70.5	77.1	83.5	91.5	97.3
<b>156128</b>	35.2	48.9	57.5	65.5	75.4	82.5	89.3	97.9	104.1
<b>156130</b>	36.7	51.1	60.1	68.5	78.8	86.2	93.3	102.2	108.7
<b>157200</b>	21.1	29.3	34.5	39.3	45.2	49.5	53.5	58.7	62.4
<b>157201</b>	15.8	22.0	25.9	29.5	34.0	37.2	40.2	44.1	46.9
<b>157202</b>	19.7	27.4	32.2	36.7	42.2	46.2	50.0	54.8	58.2



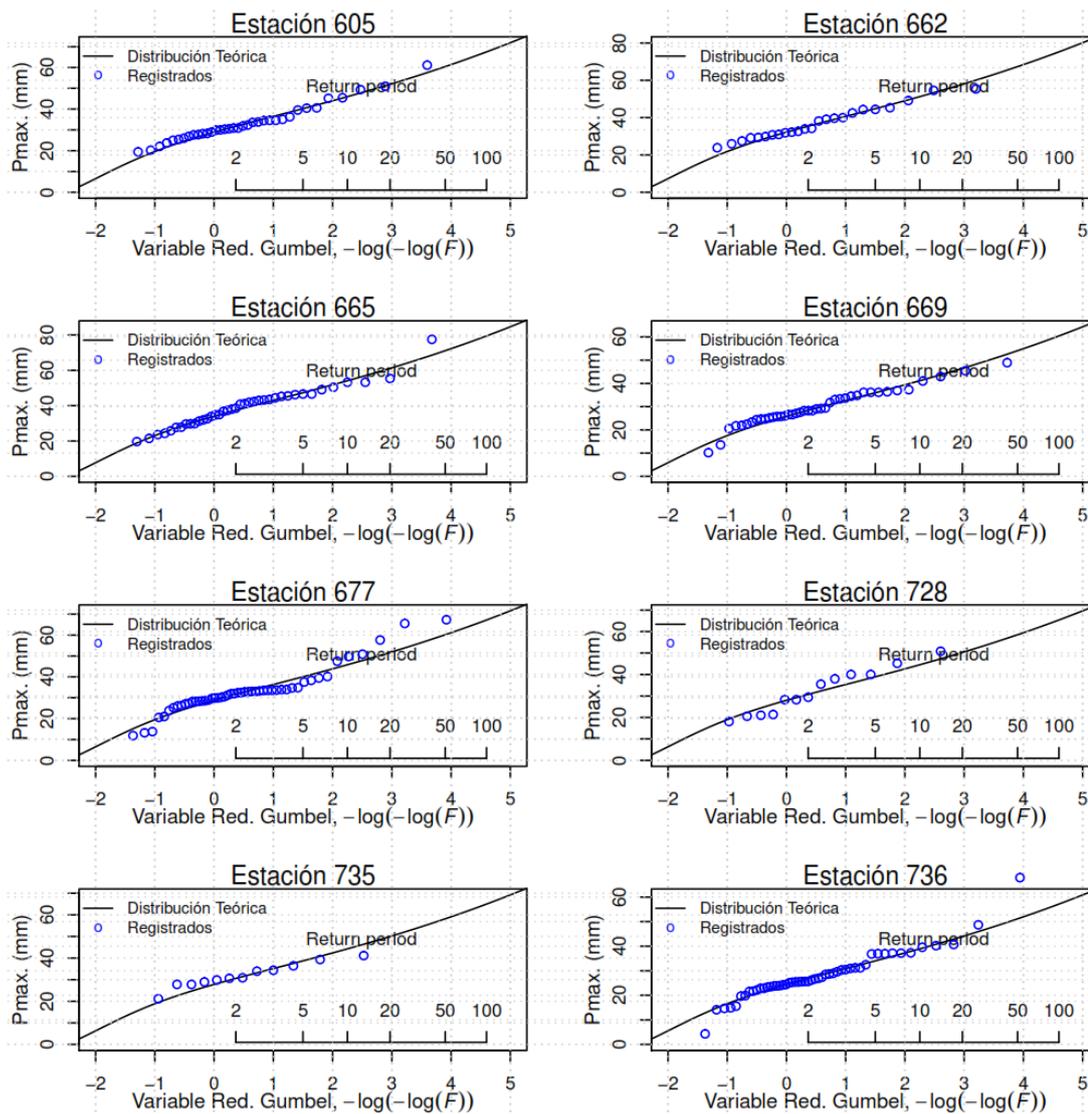


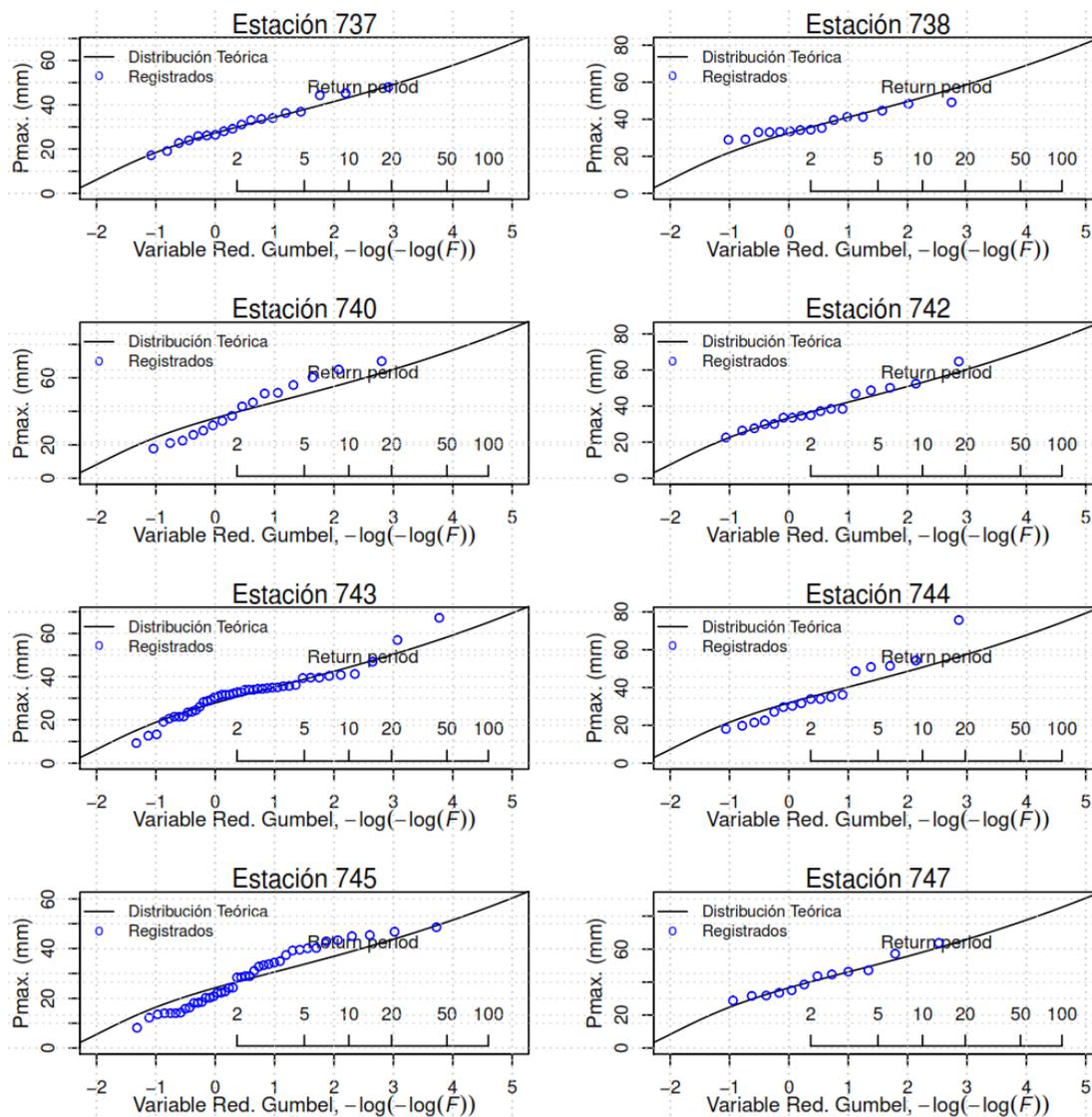


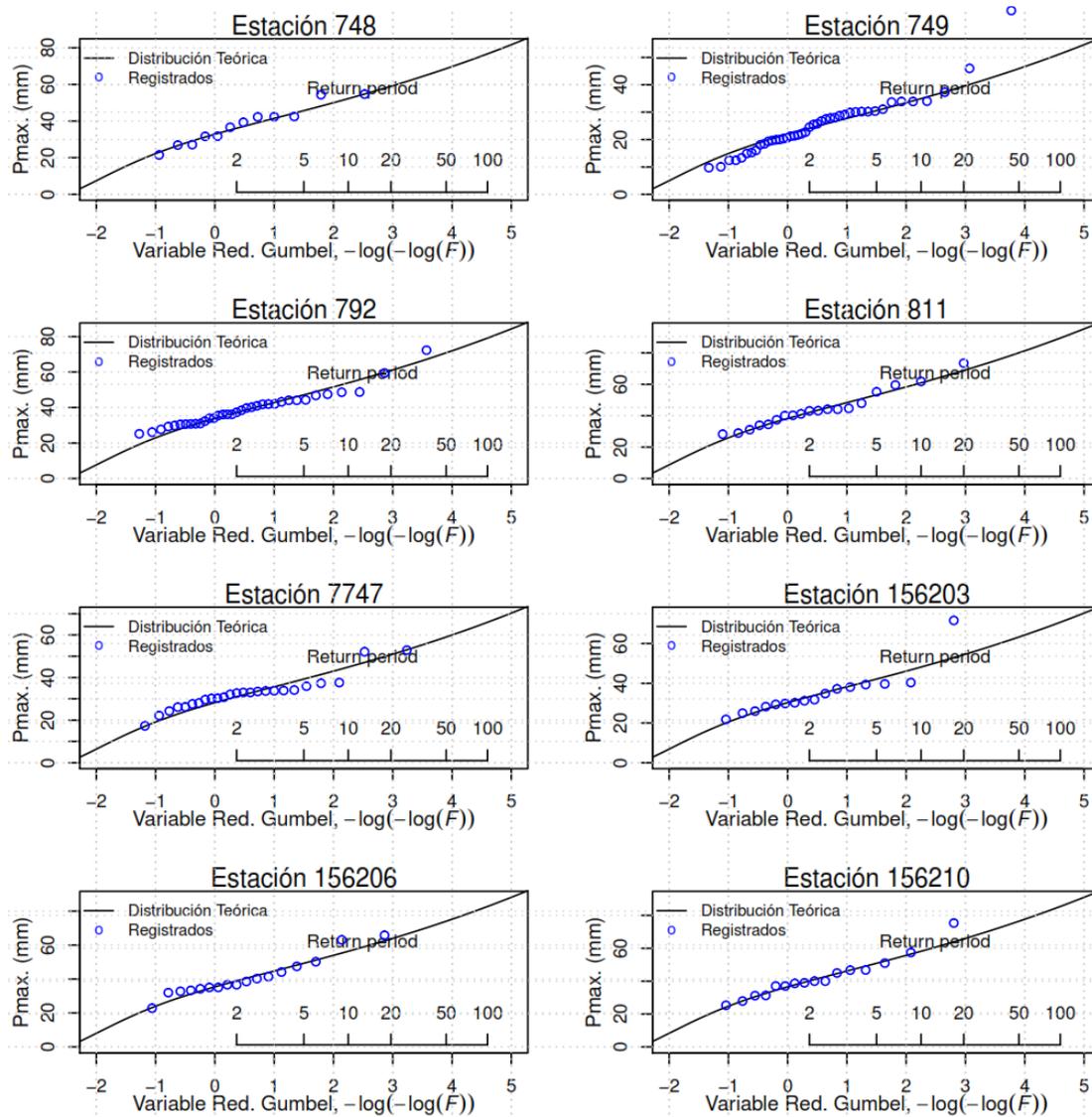


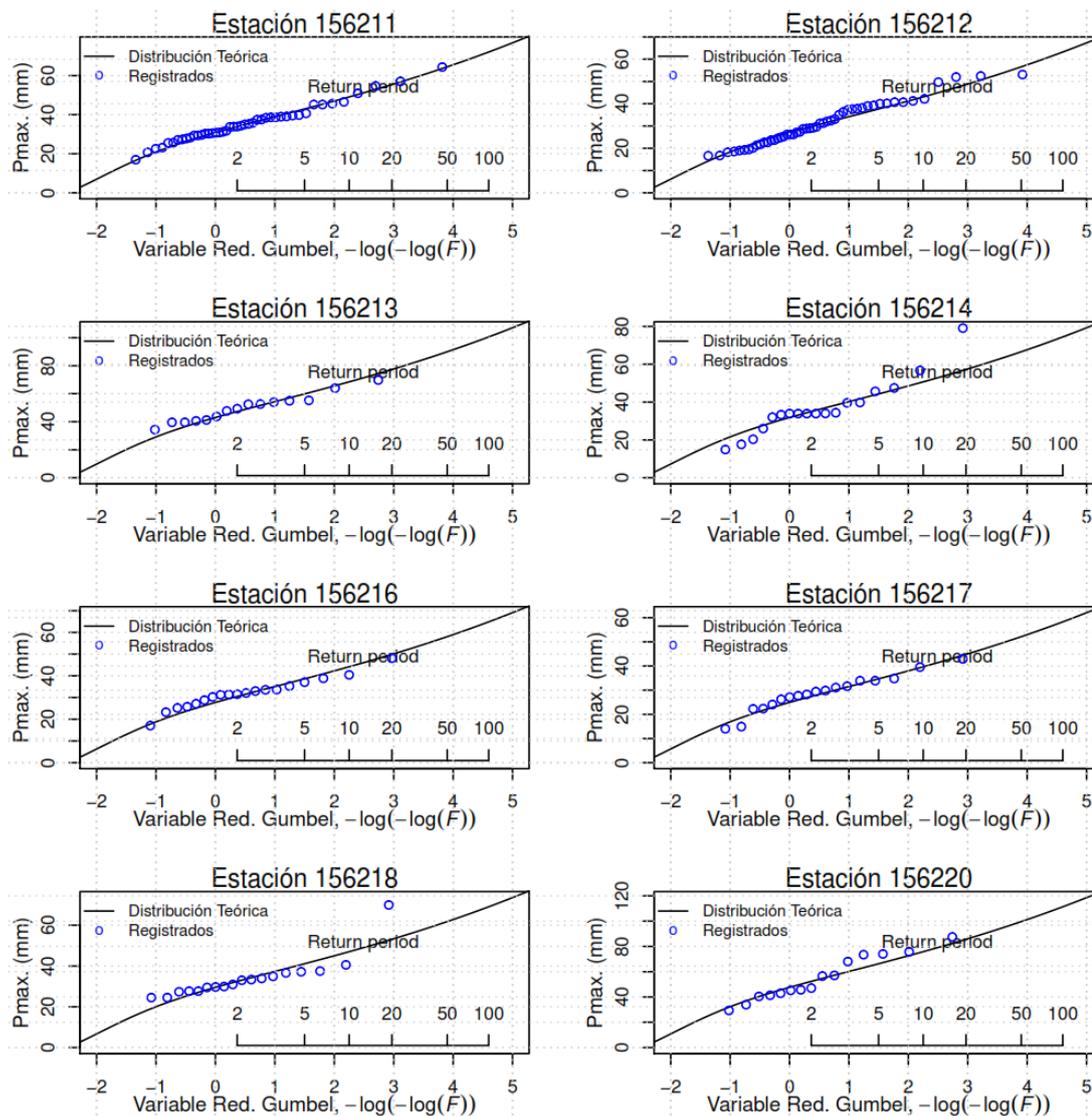
**Región 4**

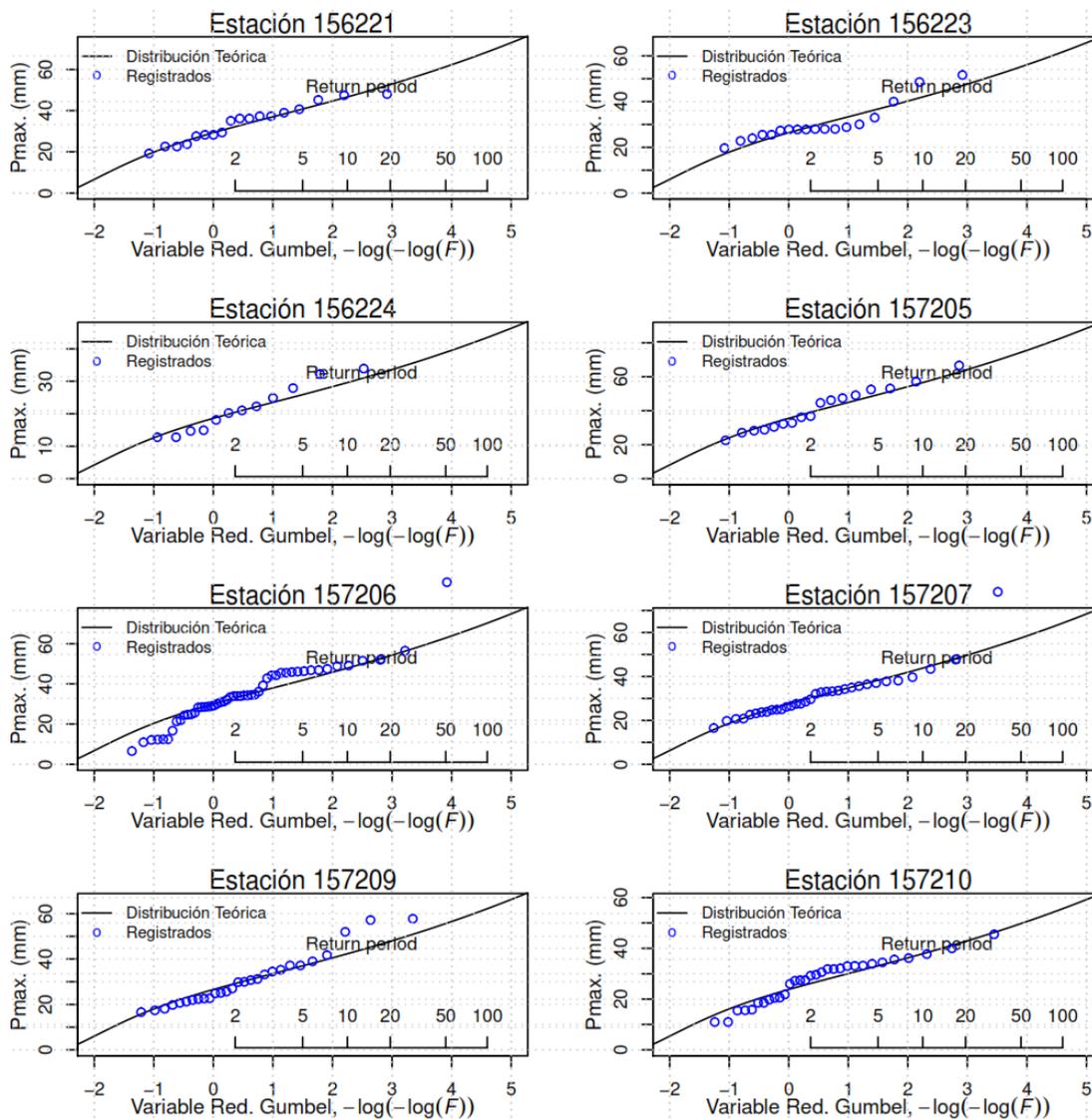
<b>p</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.95</b>	<b>0.98</b>	<b>0.99</b>	<b>0.995</b>	<b>0.998</b>	<b>0.999</b>
<b>Estación\PR(años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
000605	31.8	40.2	46.0	51.9	60.4	67.5	75.3	86.8	96.6
000662	35.4	44.8	51.2	57.9	67.4	75.3	83.9	96.8	107.6
000665	37.4	47.3	54.1	61.1	71.1	79.5	88.6	102.2	113.6
000669	28.4	36.0	41.2	46.5	54.1	60.5	67.4	77.7	86.4
000677	31.6	40.0	45.8	51.7	60.2	67.2	75.0	86.4	96.1
000728	30.8	38.9	44.5	50.3	58.5	65.4	72.9	84.1	93.5
000735	30.6	38.7	44.3	50.0	58.2	65.0	72.5	83.6	92.9
000736	26.9	34.0	38.9	44.0	51.2	57.2	63.8	73.5	81.7
000737	29.9	37.9	43.3	48.9	56.9	63.6	70.9	81.8	91.0
000738	35.8	45.3	51.8	58.5	68.0	76.0	84.8	97.8	108.7
000740	39.6	50.1	57.3	64.7	75.3	84.2	93.9	108.2	120.4
000742	36.7	46.5	53.2	60.0	69.9	78.1	87.1	100.4	111.7
000743	30.6	38.8	44.4	50.1	58.3	65.1	72.7	83.8	93.2
000744	35.0	44.4	50.7	57.3	66.7	74.5	83.1	95.8	106.5
000745	26.6	33.7	38.6	43.6	50.7	56.6	63.2	72.8	81.0
000747	40.2	50.8	58.1	65.7	76.4	85.4	95.2	109.8	122.1
000748	36.1	45.7	52.2	59.0	68.7	76.7	85.6	98.6	109.7
000749	24.1	30.6	34.9	39.5	45.9	51.3	57.2	66.0	73.4
000792	37.2	47.1	53.9	60.9	70.8	79.1	88.3	101.8	113.2
000811	42.1	53.2	60.9	68.8	80.0	89.4	99.7	115.0	127.9
007747	31.0	39.3	44.9	50.7	59.0	66.0	73.6	84.8	94.3
156203	33.3	42.1	48.2	54.4	63.3	70.7	78.9	90.9	101.2
156206	38.9	49.3	56.3	63.6	74.1	82.8	92.3	106.4	118.3
156210	40.2	50.9	58.2	65.7	76.5	85.4	95.3	109.9	122.2
156211	33.9	42.9	49.1	55.5	64.5	72.1	80.4	92.7	103.1
156212	29.7	37.6	43.1	48.6	56.6	63.2	70.5	81.3	90.4
156213	47.3	59.9	68.5	77.3	90.0	100.5	112.1	129.3	143.8
156214	35.0	44.3	50.7	57.2	66.6	74.5	83.0	95.7	106.5
156216	30.5	38.6	44.2	49.9	58.1	64.9	72.4	83.4	92.8
156217	27.4	34.7	39.7	44.8	52.2	58.3	65.0	74.9	83.4
156218	32.5	41.1	47.0	53.1	61.8	69.1	77.0	88.8	98.7
156220	52.4	66.3	75.8	85.6	99.6	111.3	124.2	143.2	159.2
156221	32.2	40.8	46.6	52.7	61.3	68.5	76.4	88.1	97.9
156223	29.0	36.8	42.0	47.5	55.3	61.7	68.9	79.4	88.3
156224	20.4	25.9	29.6	33.4	38.9	43.5	48.5	55.9	62.2
157205	39.1	49.5	56.6	63.9	74.4	83.2	92.7	106.9	118.9
157206	33.0	41.8	47.9	54.0	62.9	70.3	78.4	90.4	100.5
157207	30.2	38.3	43.8	49.4	57.5	64.3	71.7	82.7	92.0
157209	29.2	37.0	42.3	47.8	55.6	62.2	69.3	79.9	88.9
157210	26.2	33.1	37.9	42.8	49.8	55.6	62.0	71.5	79.5
157212	30.3	38.3	43.8	49.5	57.6	64.4	71.8	82.8	92.1
157215	37.6	47.6	54.4	61.4	71.5	79.9	89.1	102.7	114.2
157217	35.0	44.3	50.7	57.3	66.7	74.5	83.1	95.8	106.5
157221	26.8	34.0	38.8	43.9	51.1	57.1	63.6	73.4	81.6

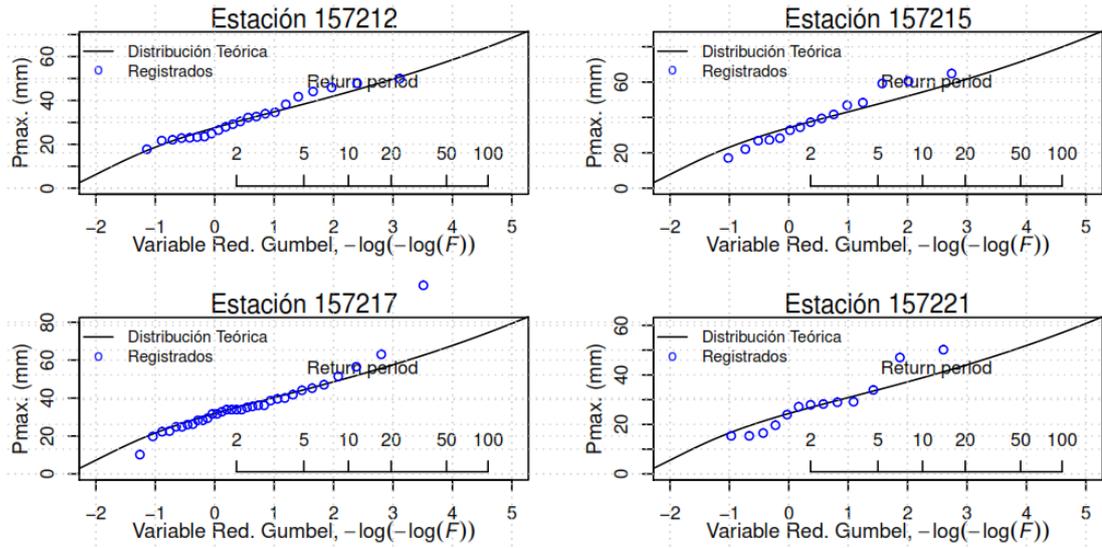






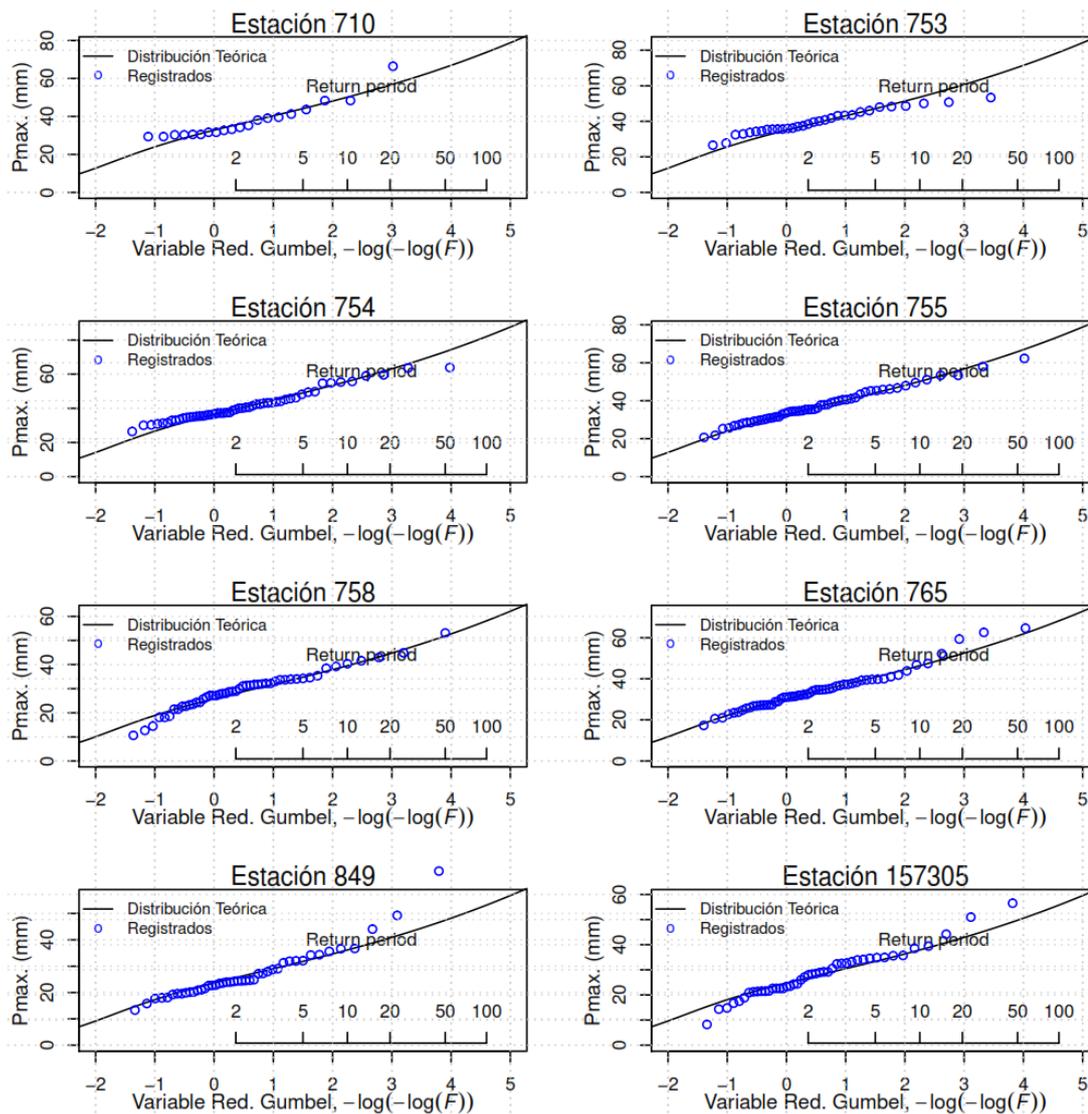


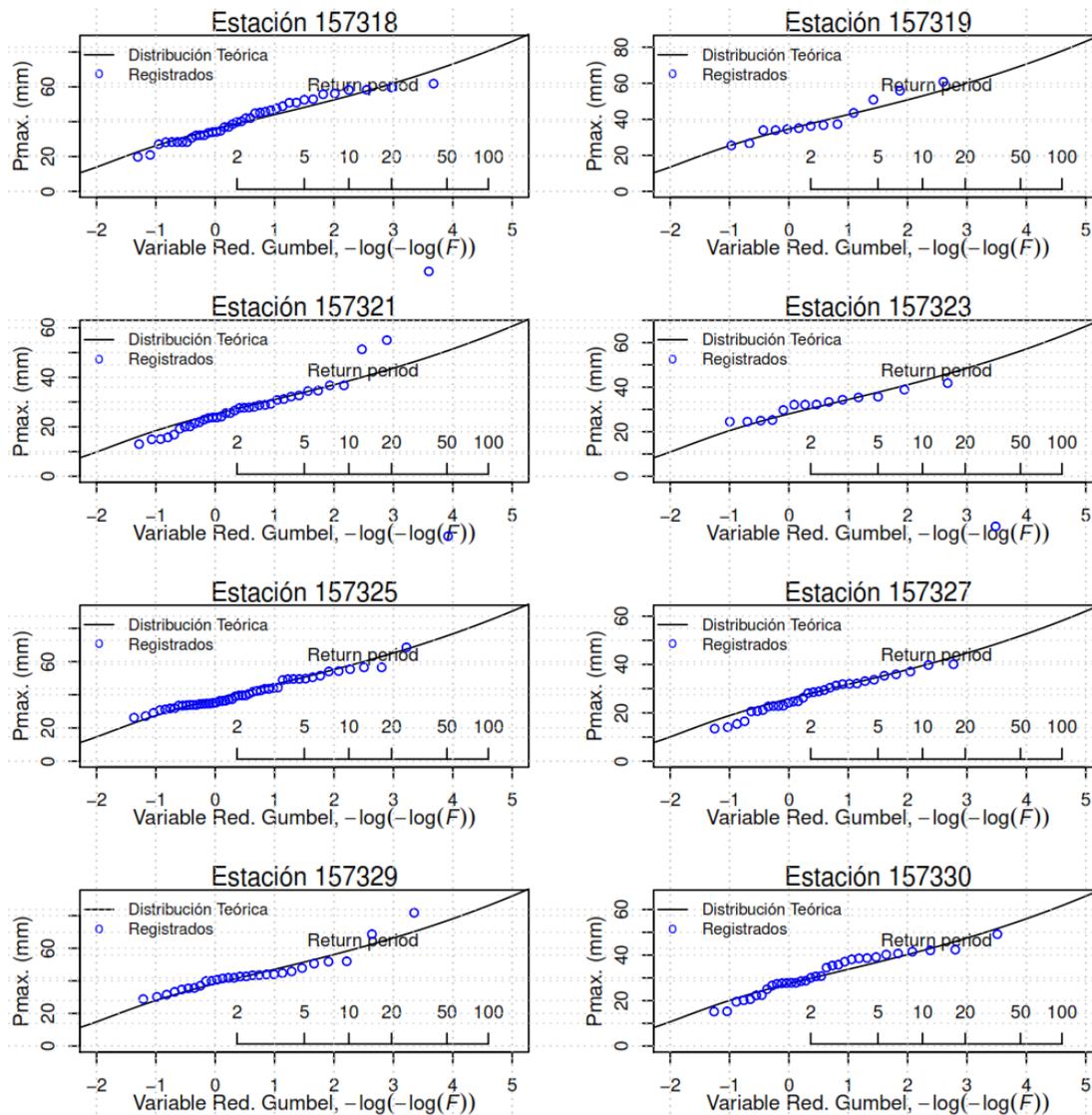


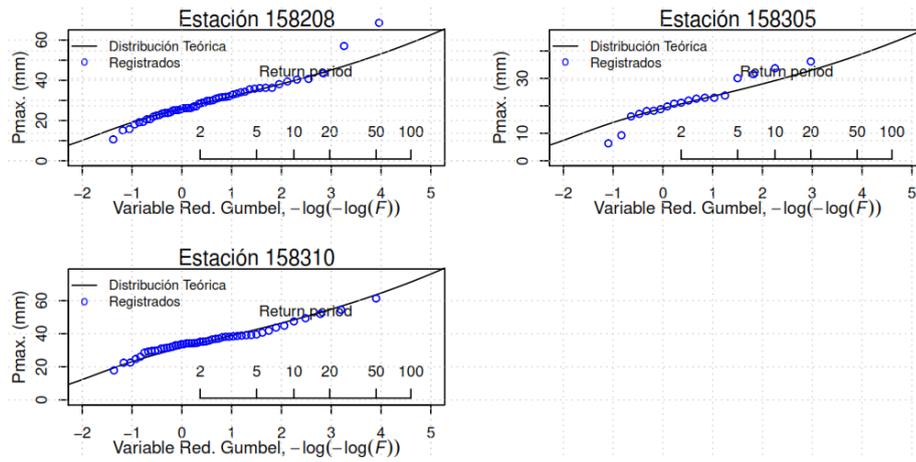


**Región 5**

<b>p</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.95</b>	<b>0.98</b>	<b>0.99</b>	<b>0.995</b>	<b>0.998</b>	<b>0.999</b>
<b>Estación\PR(años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>000710</b>	35.6	44.1	50.2	56.5	65.8	73.8	82.7	96.3	108.0
<b>000753</b>	38.0	47.1	53.6	60.4	70.3	78.8	88.4	102.8	115.3
<b>000754</b>	39.5	49.0	55.7	62.8	73.2	82.0	91.9	106.9	120.0
<b>000755</b>	35.6	44.1	50.1	56.5	65.8	73.8	82.7	96.2	107.9
<b>000758</b>	28.0	34.8	39.5	44.5	51.9	58.2	65.2	75.8	85.1
<b>000765</b>	32.9	40.8	46.4	52.2	60.9	68.2	76.5	89.0	99.8
<b>000849</b>	25.6	31.8	36.2	40.7	47.4	53.2	59.6	69.4	77.8
<b>157305</b>	26.9	33.3	37.9	42.7	49.7	55.8	62.5	72.7	81.6
<b>157318</b>	38.9	48.2	54.8	61.7	71.9	80.6	90.4	105.1	117.9
<b>157319</b>	37.6	46.6	53.0	59.7	69.5	77.9	87.4	101.6	114.0
<b>157321</b>	27.4	34.0	38.6	43.5	50.6	56.8	63.6	74.0	83.1
<b>157323</b>	30.4	37.7	42.9	48.3	56.2	63.1	70.7	82.2	92.2
<b>157325</b>	40.8	50.6	57.5	64.8	75.5	84.6	94.9	110.4	123.8
<b>157327</b>	28.0	34.8	39.5	44.5	51.9	58.1	65.2	75.8	85.0
<b>157329</b>	41.5	51.5	58.5	65.9	76.8	86.1	96.5	112.3	126.0
<b>157330</b>	29.8	36.9	42.0	47.3	55.1	61.7	69.2	80.5	90.3
<b>158208</b>	28.3	35.1	39.9	44.9	52.3	58.6	65.7	76.5	85.8
<b>158305</b>	20.7	25.7	29.2	32.9	38.3	42.9	48.1	56.0	62.8
<b>158310</b>	34.4	42.6	48.4	54.6	63.6	71.3	79.9	92.9	104.2

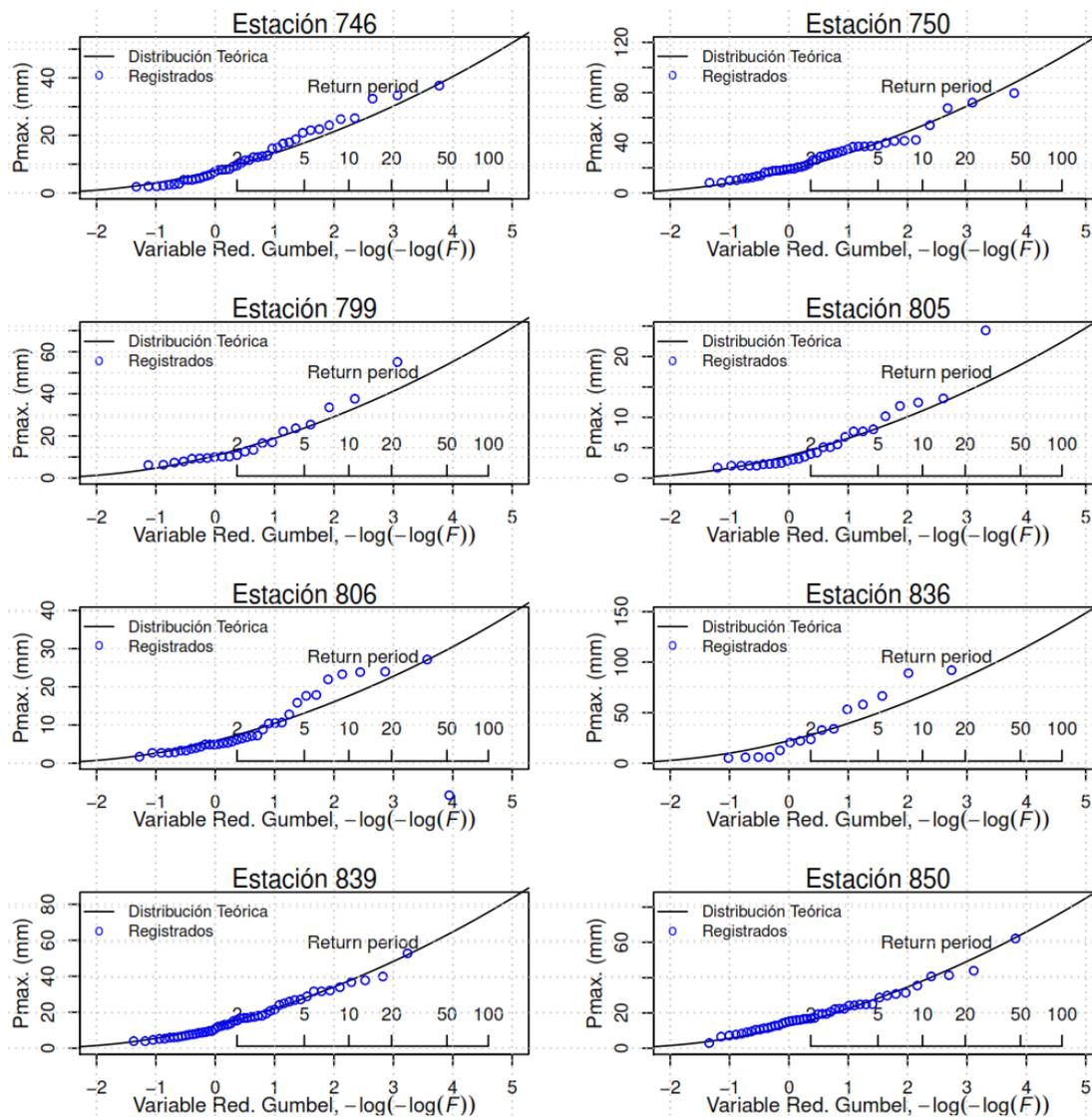


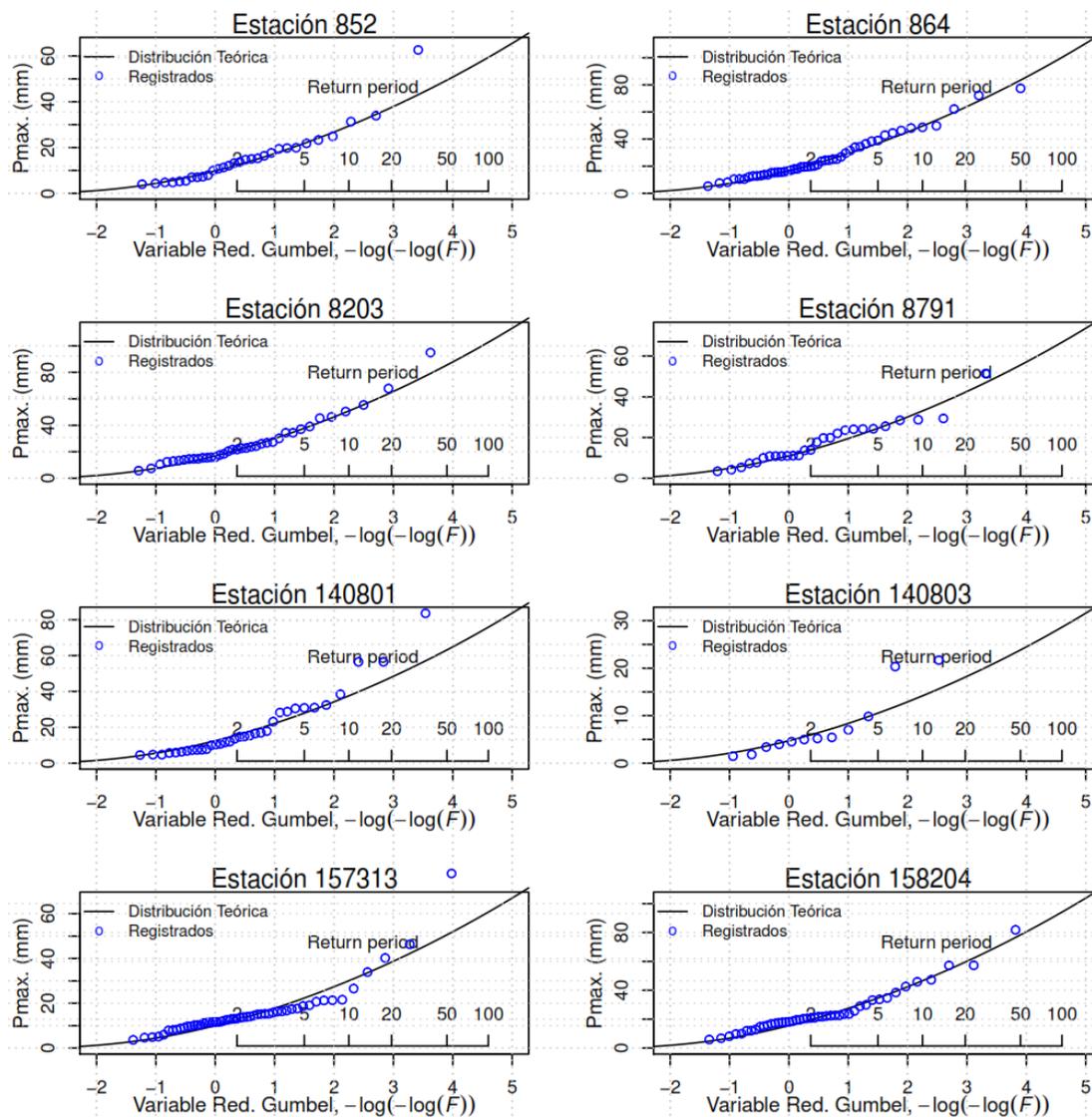


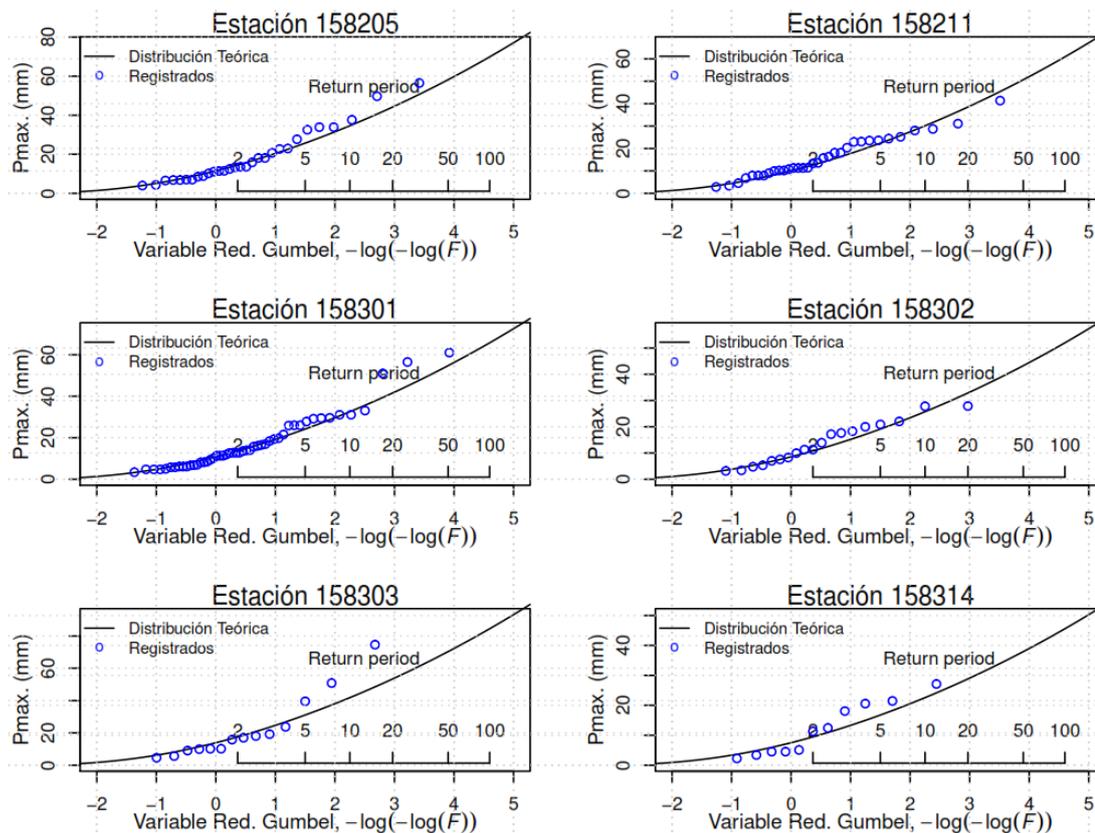


**Región 6**

<b>p</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.95</b>	<b>0.98</b>	<b>0.99</b>	<b>0.995</b>	<b>0.998</b>	<b>0.999</b>
<b>Estación\PR(años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>000746</b>	9.8	17.4	23.4	29.9	39.4	47.3	55.9	68.5	79.0
<b>000750</b>	22.5	39.9	53.7	68.6	90.3	108.4	128.2	157.0	181.1
<b>000799</b>	13.4	23.8	32.0	40.9	53.8	64.6	76.4	93.6	107.9
<b>000805</b>	4.7	8.2	11.1	14.2	18.6	22.4	26.5	32.4	37.4
<b>000806</b>	7.4	13.1	17.6	22.5	29.7	35.6	42.1	51.6	59.5
<b>000836</b>	28.0	49.6	66.7	85.2	112.2	134.7	159.3	195.2	225.0
<b>000839</b>	15.7	27.8	37.4	47.8	63.0	75.6	89.4	109.6	126.3
<b>000850</b>	16.0	28.3	38.2	48.7	64.2	77.1	91.1	111.6	128.7
<b>000852</b>	12.3	21.8	29.4	37.5	49.4	59.4	70.2	86.0	99.1
<b>000864</b>	20.8	36.9	49.6	63.4	83.5	100.3	118.6	145.3	167.5
<b>008203</b>	21.3	37.8	50.8	65.0	85.5	102.7	121.5	148.8	171.5
<b>008791</b>	13.9	24.6	33.1	42.2	55.6	66.8	79.0	96.7	111.5
<b>140801</b>	15.8	27.9	37.6	48.0	63.2	75.9	89.7	109.9	126.7
<b>140803</b>	5.9	10.5	14.2	18.1	23.8	28.6	33.9	41.5	47.8
<b>157313</b>	12.6	22.3	30.1	38.4	50.6	60.7	71.8	88.0	101.4
<b>158204</b>	19.6	34.6	46.6	59.5	78.4	94.2	111.3	136.4	157.2
<b>158205</b>	14.5	25.7	34.6	44.2	58.2	69.9	82.7	101.3	116.7
<b>158211</b>	12.6	22.4	30.1	38.5	50.7	60.9	72.0	88.2	101.7
<b>158301</b>	13.7	24.2	32.5	41.6	54.7	65.8	77.7	95.2	109.8
<b>158302</b>	10.8	19.1	25.7	32.9	43.3	52.0	61.5	75.3	86.8
<b>158303</b>	17.5	31.1	41.8	53.4	70.3	84.5	99.9	122.3	141.1
<b>158314</b>	9.5	16.8	22.6	28.8	37.9	45.6	53.9	66.0	76.1

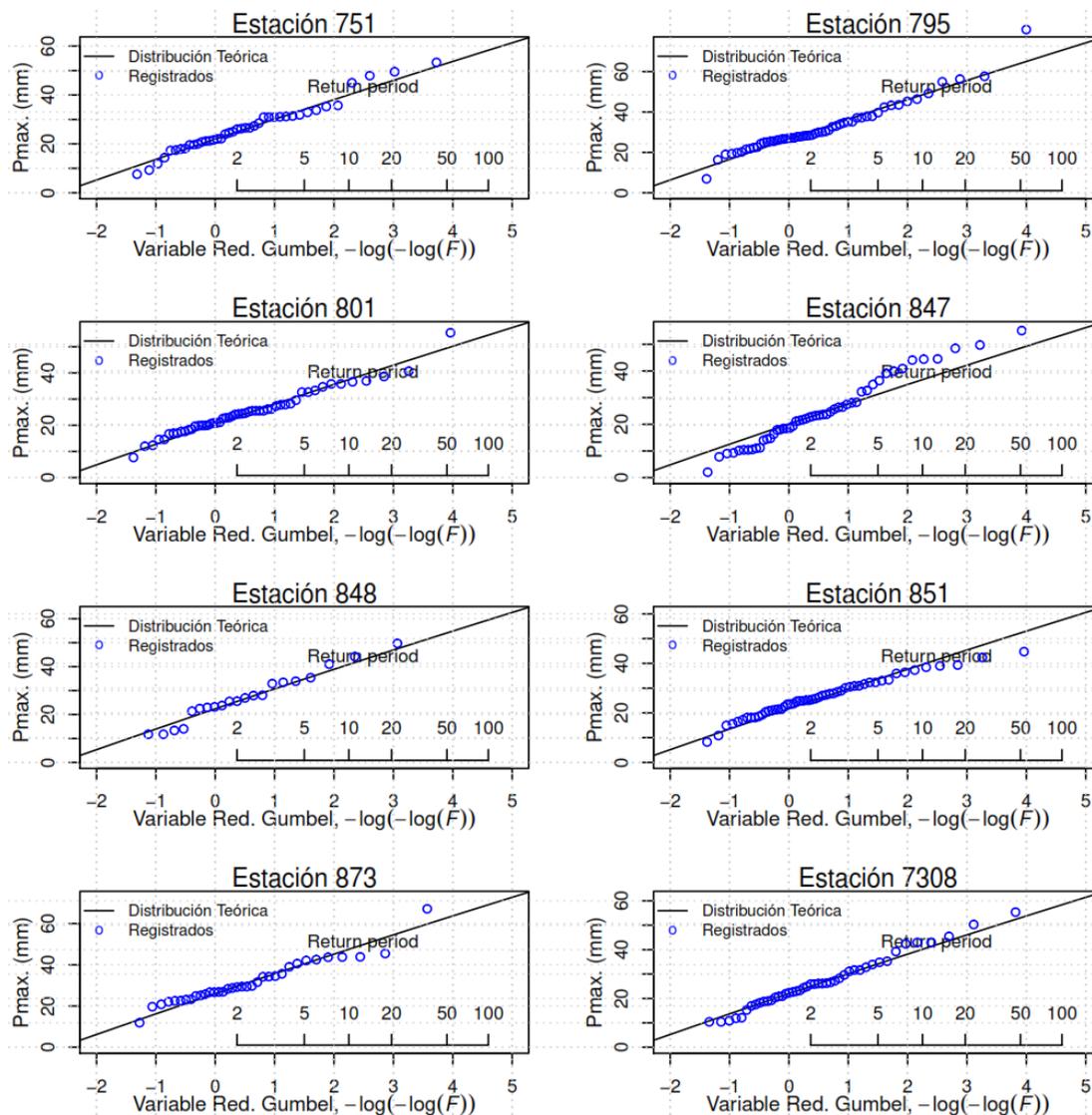


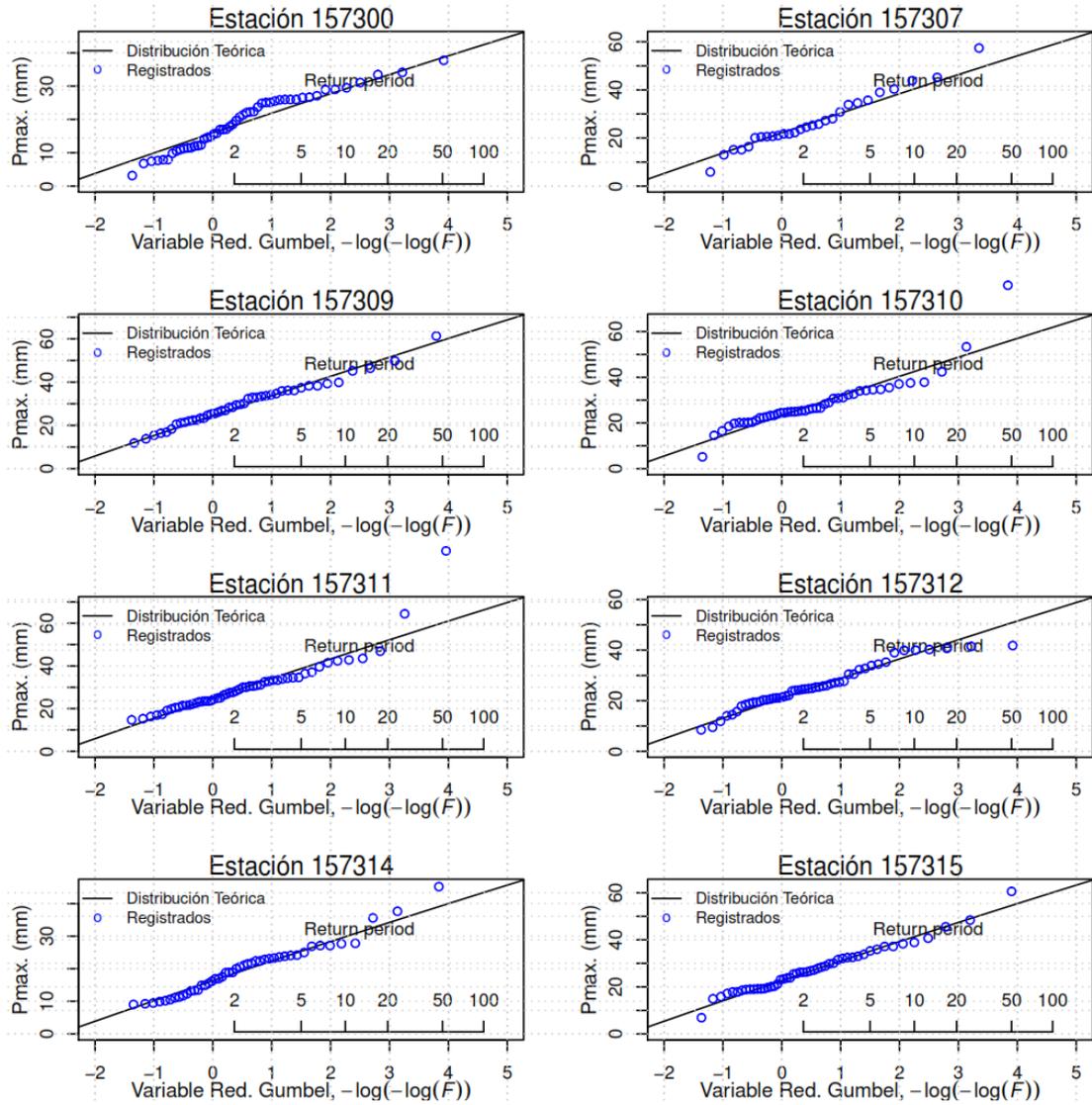


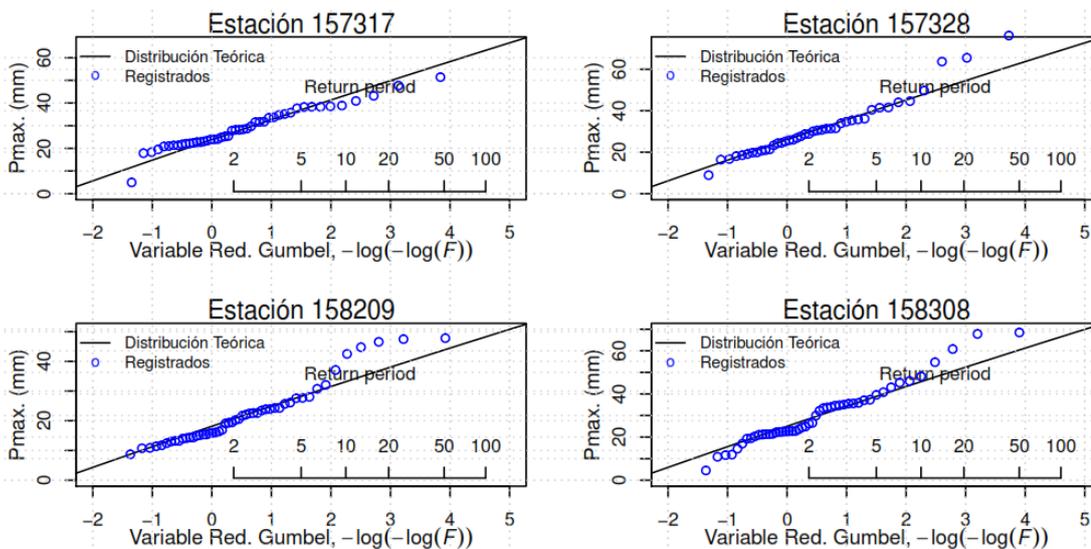


### Región 7

<b>p</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.95</b>	<b>0.98</b>	<b>0.99</b>	<b>0.995</b>	<b>0.998</b>	<b>0.999</b>
<b>Estación\PR(años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>000751</b>	24.9	34.1	40.1	45.7	53.0	58.3	63.6	70.4	75.5
<b>000795</b>	30.2	41.3	48.5	55.3	64.1	70.5	76.9	85.2	91.4
<b>000801</b>	23.3	31.9	37.5	42.7	49.5	54.5	59.4	65.8	70.6
<b>000847</b>	22.9	31.3	36.7	41.9	48.6	53.5	58.3	64.6	69.2
<b>000848</b>	25.4	34.8	40.9	46.7	54.1	59.5	64.9	71.9	77.1
<b>000851</b>	24.6	33.7	39.6	45.2	52.3	57.6	62.8	69.5	74.6
<b>000873</b>	29.5	40.4	47.5	54.2	62.8	69.1	75.3	83.4	89.5
<b>007308</b>	25.0	34.2	40.1	45.8	53.0	58.4	63.7	70.5	75.6
<b>157300</b>	18.1	24.8	29.2	33.3	38.5	42.4	46.3	51.2	55.0
<b>157307</b>	25.1	34.4	40.4	46.1	53.4	58.8	64.1	71.0	76.1
<b>157309</b>	27.9	38.2	44.9	51.3	59.4	65.4	71.3	78.9	84.7
<b>157310</b>	26.4	36.2	42.5	48.5	56.2	61.8	67.4	74.7	80.1
<b>157311</b>	28.3	38.7	45.5	52.0	60.2	66.2	72.2	80.0	85.8
<b>157312</b>	23.9	32.7	38.4	43.8	50.8	55.9	60.9	67.5	72.4
<b>157314</b>	18.6	25.4	29.8	34.0	39.4	43.4	47.3	52.4	56.2
<b>157315</b>	25.7	35.1	41.3	47.1	54.6	60.1	65.5	72.6	77.8
<b>157317</b>	27.0	37.0	43.5	49.6	57.4	63.2	68.9	76.4	81.9
<b>157328</b>	29.6	40.4	47.5	54.2	62.8	69.2	75.4	83.5	89.6
<b>158209</b>	20.6	28.2	33.2	37.8	43.8	48.2	52.6	58.3	62.5
<b>158308</b>	28.4	38.9	45.7	52.1	60.4	66.5	72.5	80.3	86.1

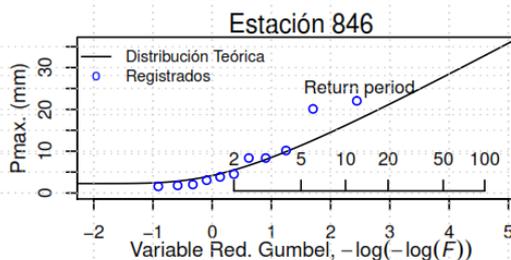
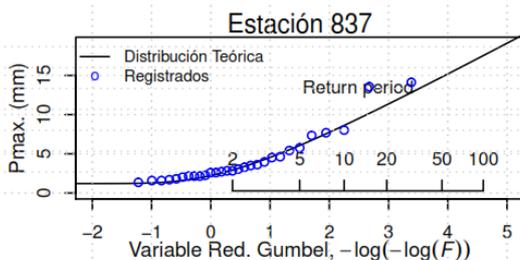
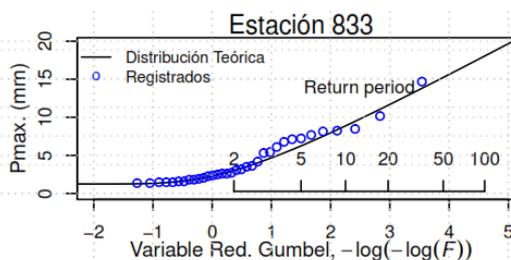
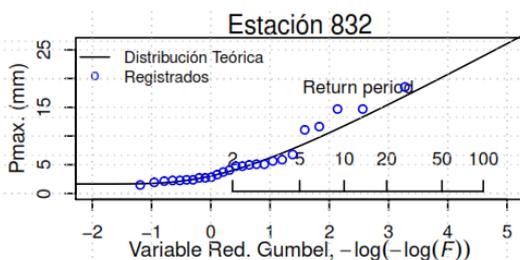






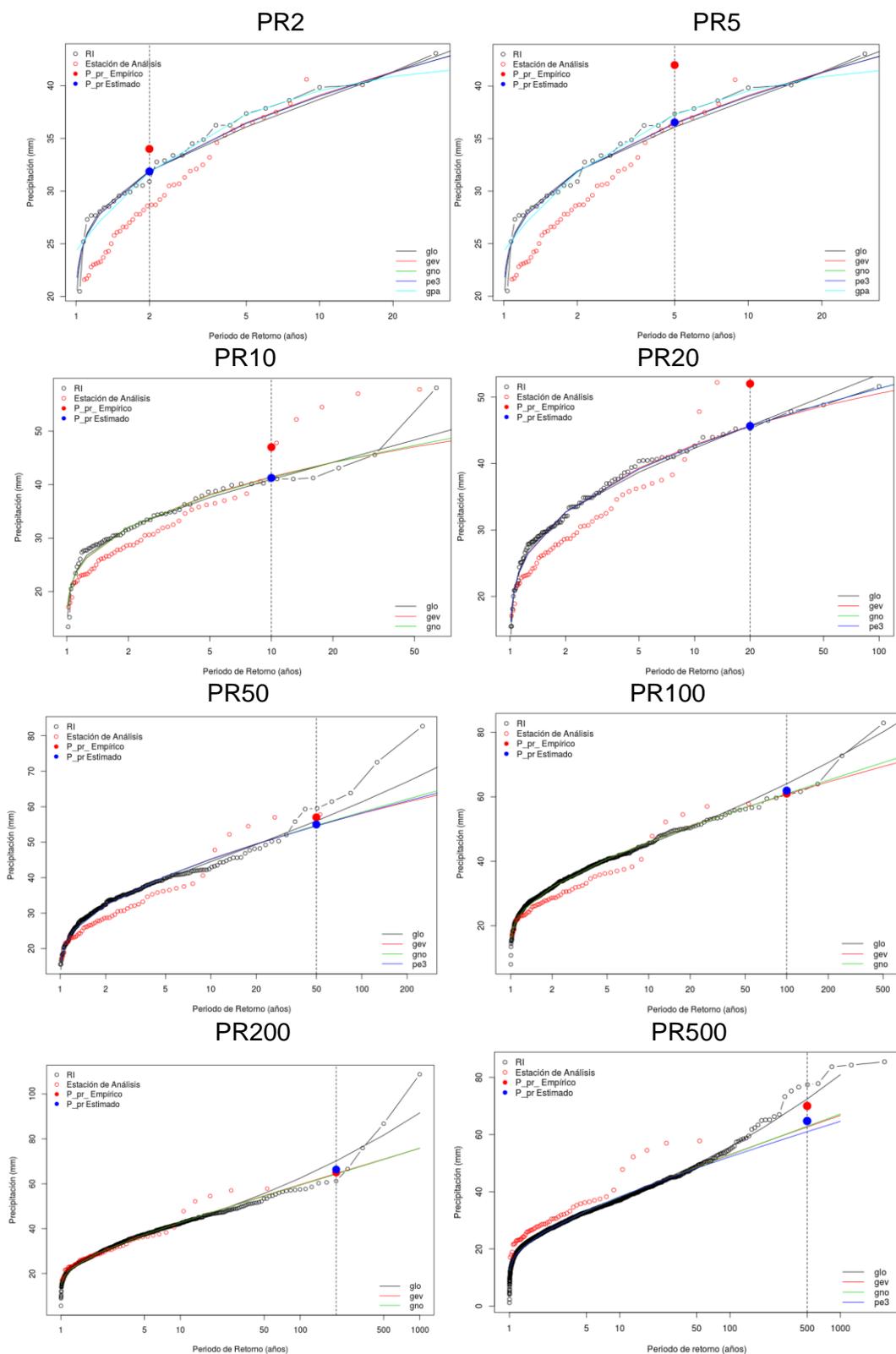
### Región 8

p	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
<b>Estación\PR(años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>832</b>	4.0	8.3	11.8	15.3	20.2	23.9	27.7	32.7	36.5
<b>833</b>	3.0	6.2	8.9	11.6	15.2	18.1	20.9	24.7	27.5
<b>837</b>	2.9	6.1	8.6	11.3	14.8	17.5	20.3	24.0	26.7
<b>846</b>	5.5	11.4	16.2	21.1	27.8	32.9	38.0	44.9	50.1

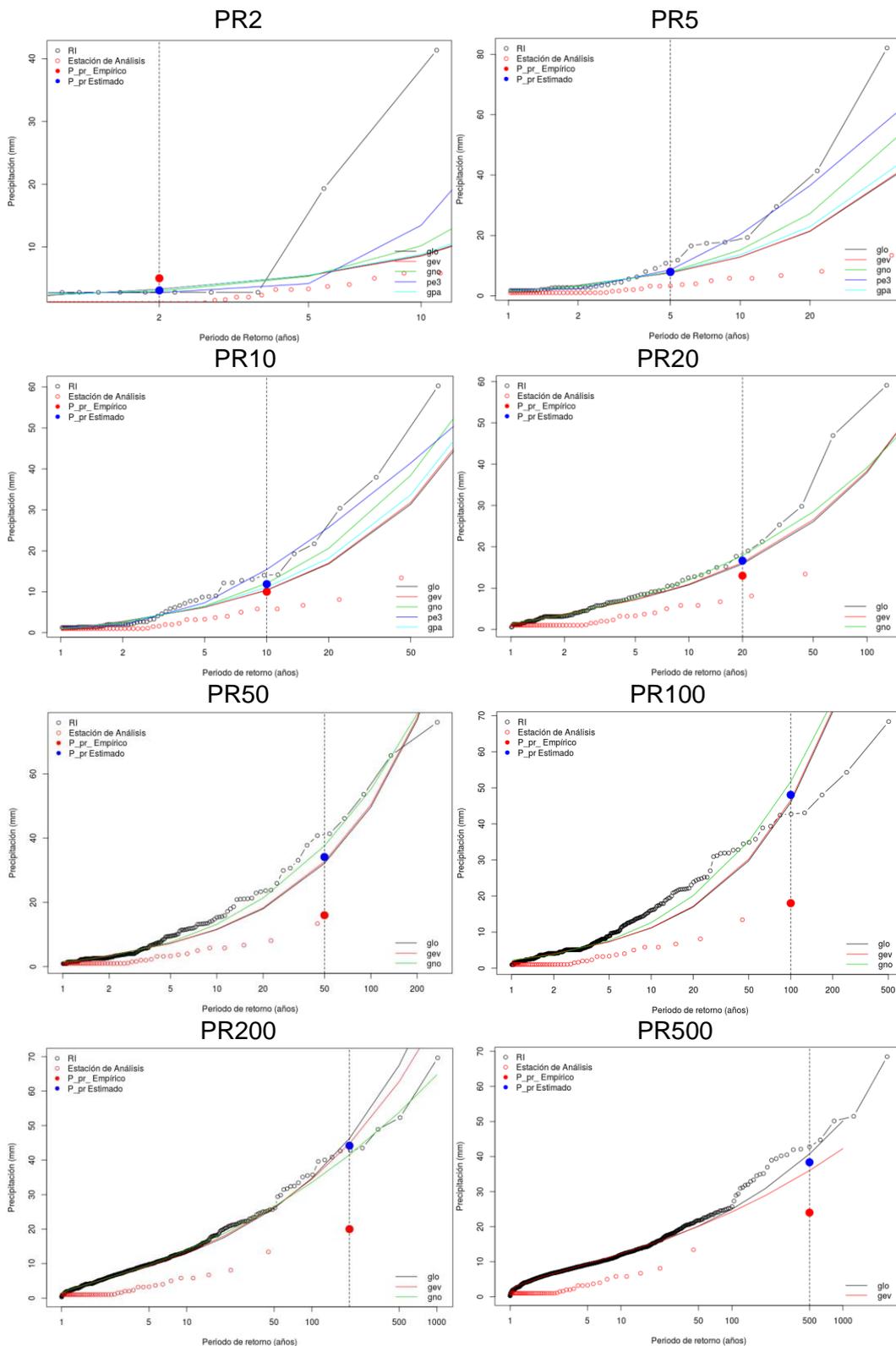


## **ANEXO D: REGIÓN DE INFLUENCIA**

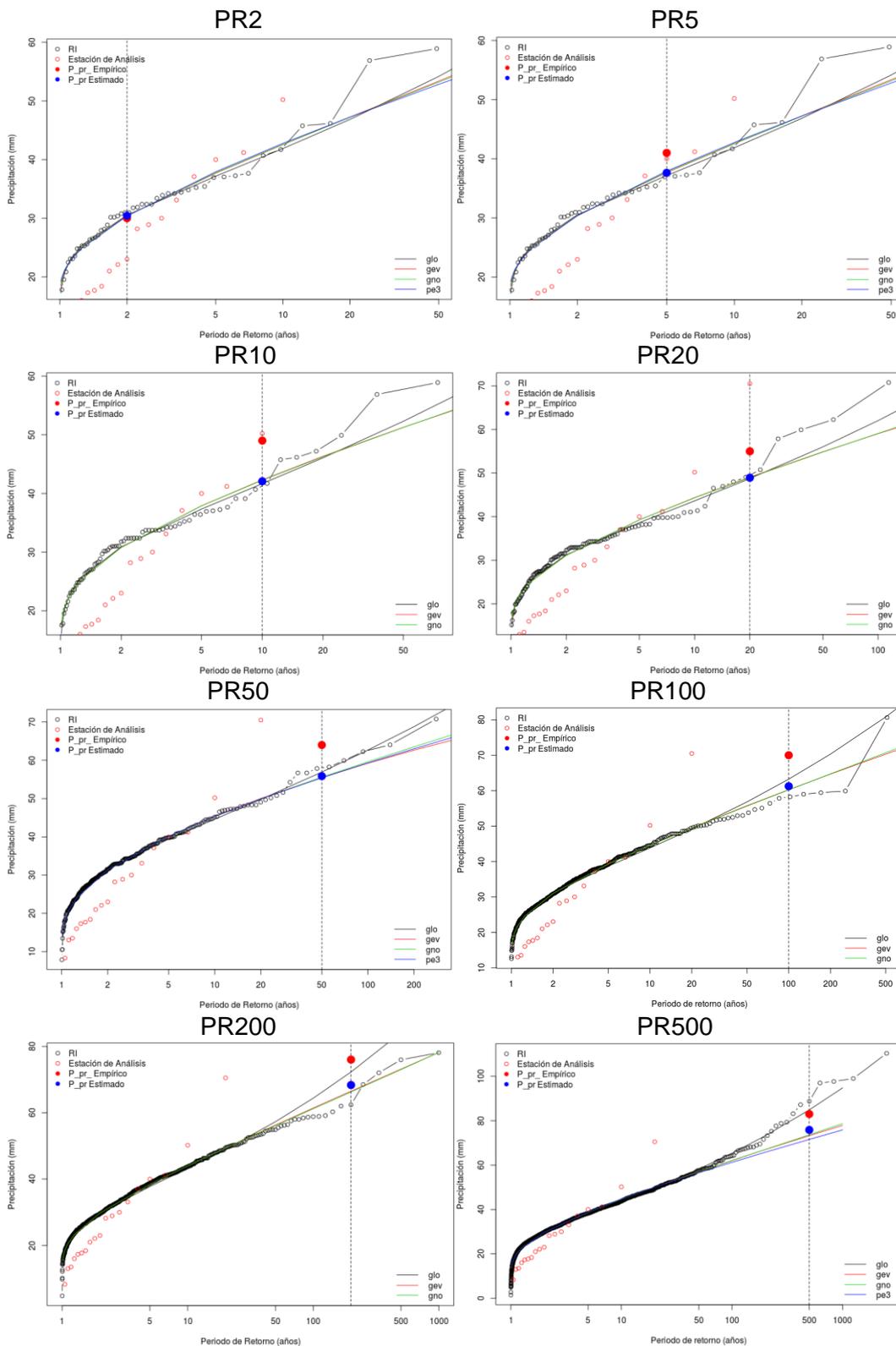
### Curvas de Distribución de Frecuencias - Túnel Cero 000647



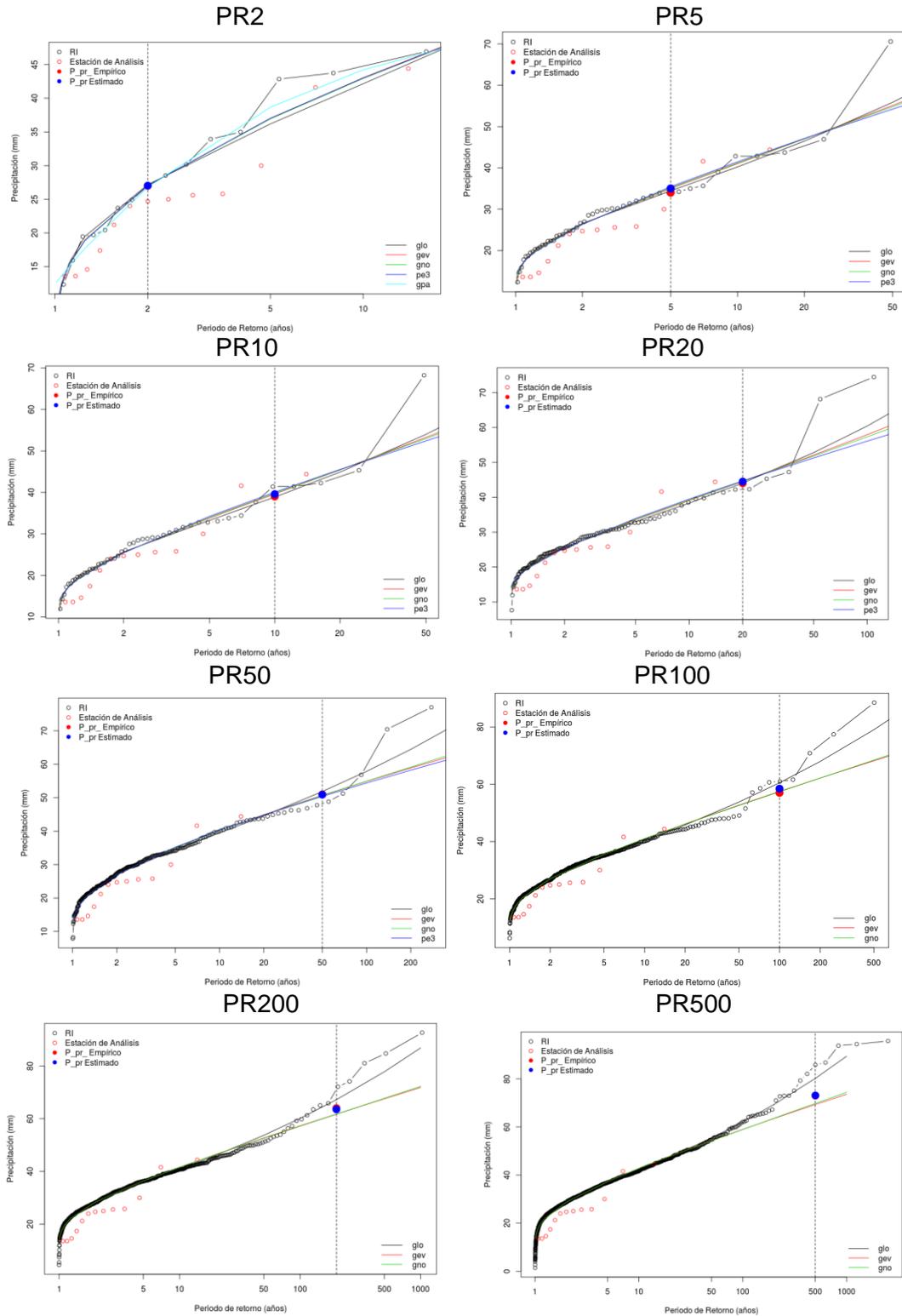
### Curvas de Distribución de Frecuencias - Copara 000727



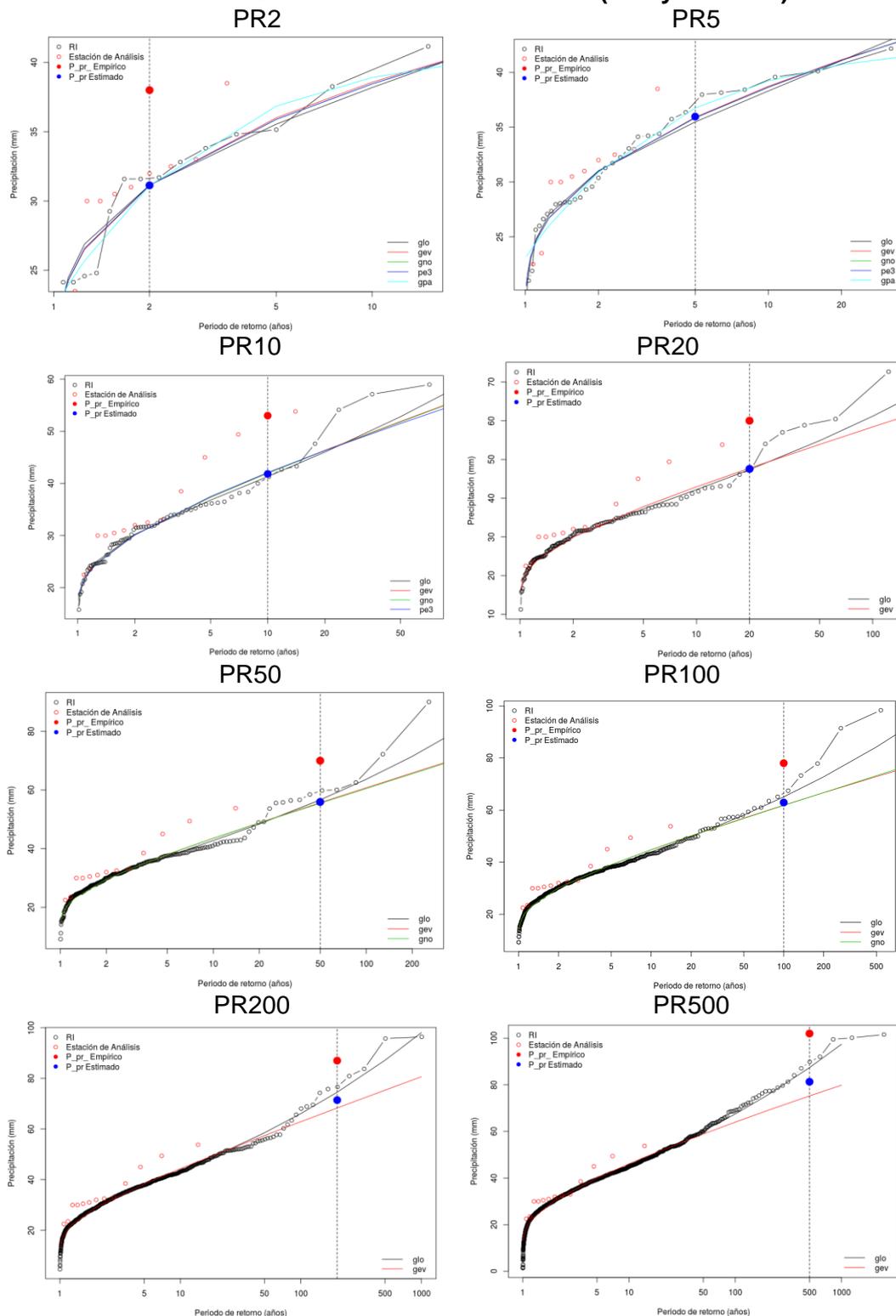
### Curvas de Distribución de Frecuencias Acobambilla 156118



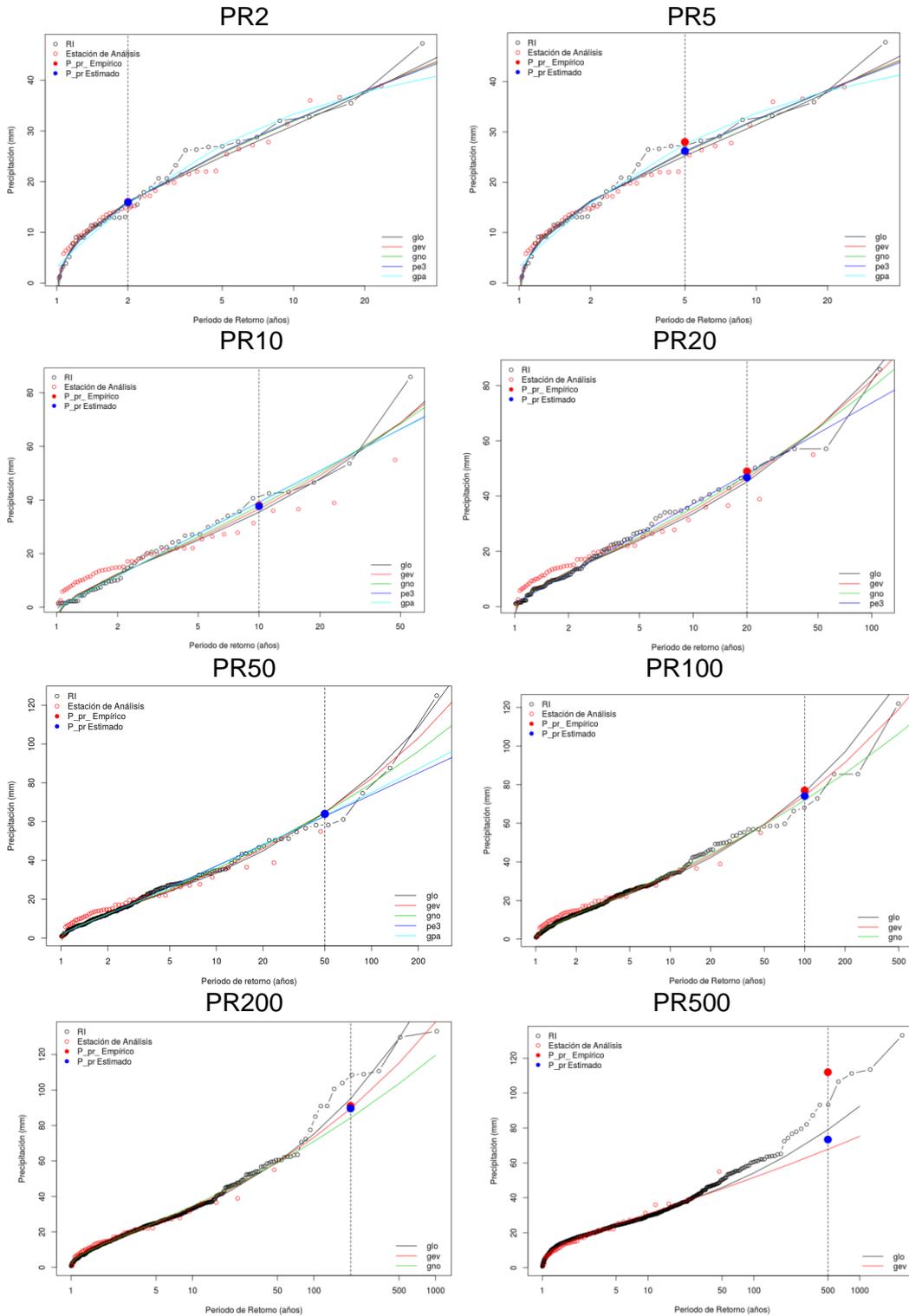
### Curvas de Distribución de Frecuencias - Pecope 157221



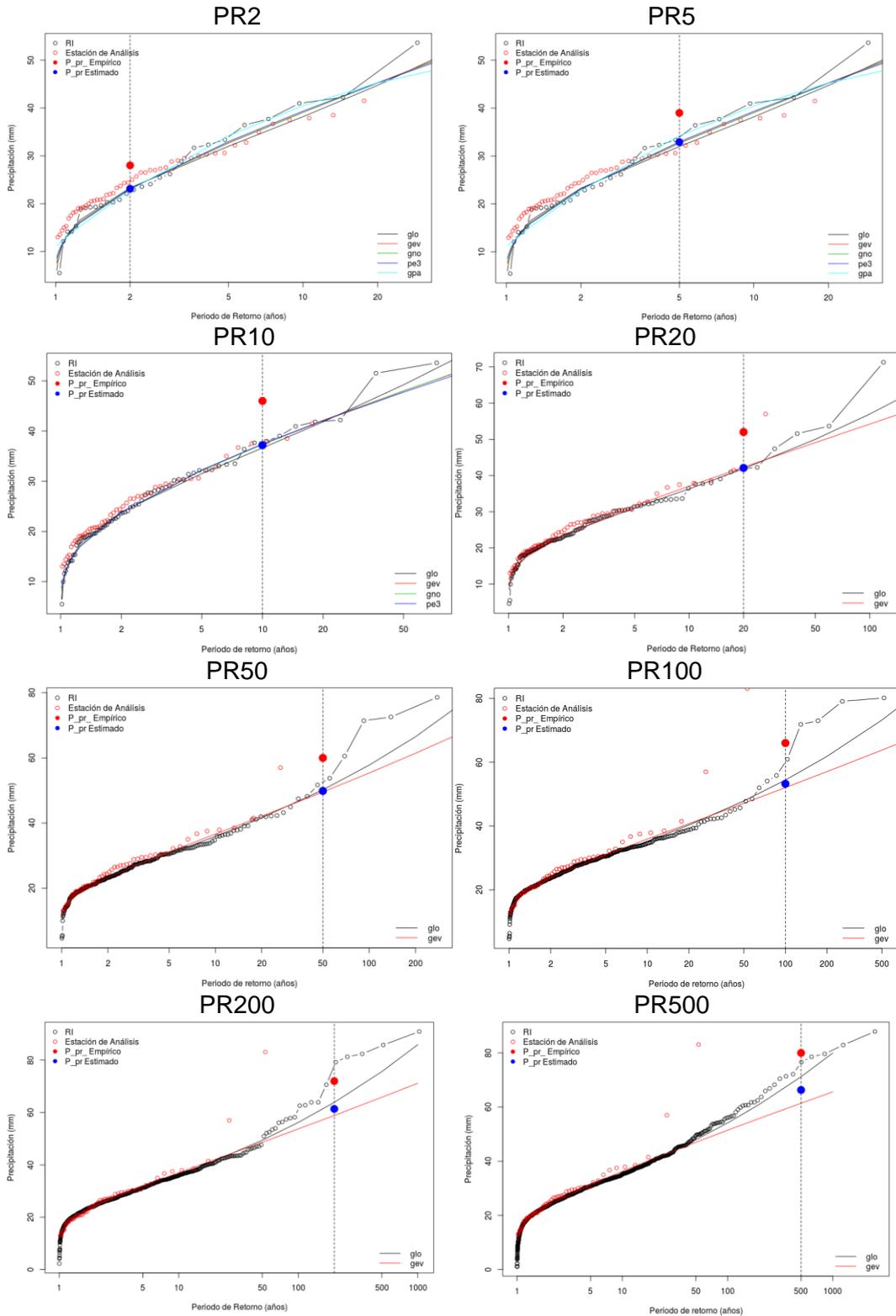
### Curvas de Distribución de Frecuencias (Visuyo 157319)



### Curvas de Distribución de Frecuencias - Omate 000850



### Curvas de Distribución de Frecuencias - Orcopampa 157311



### Curvas de Distribución de Frecuencias - Camaná 000832

