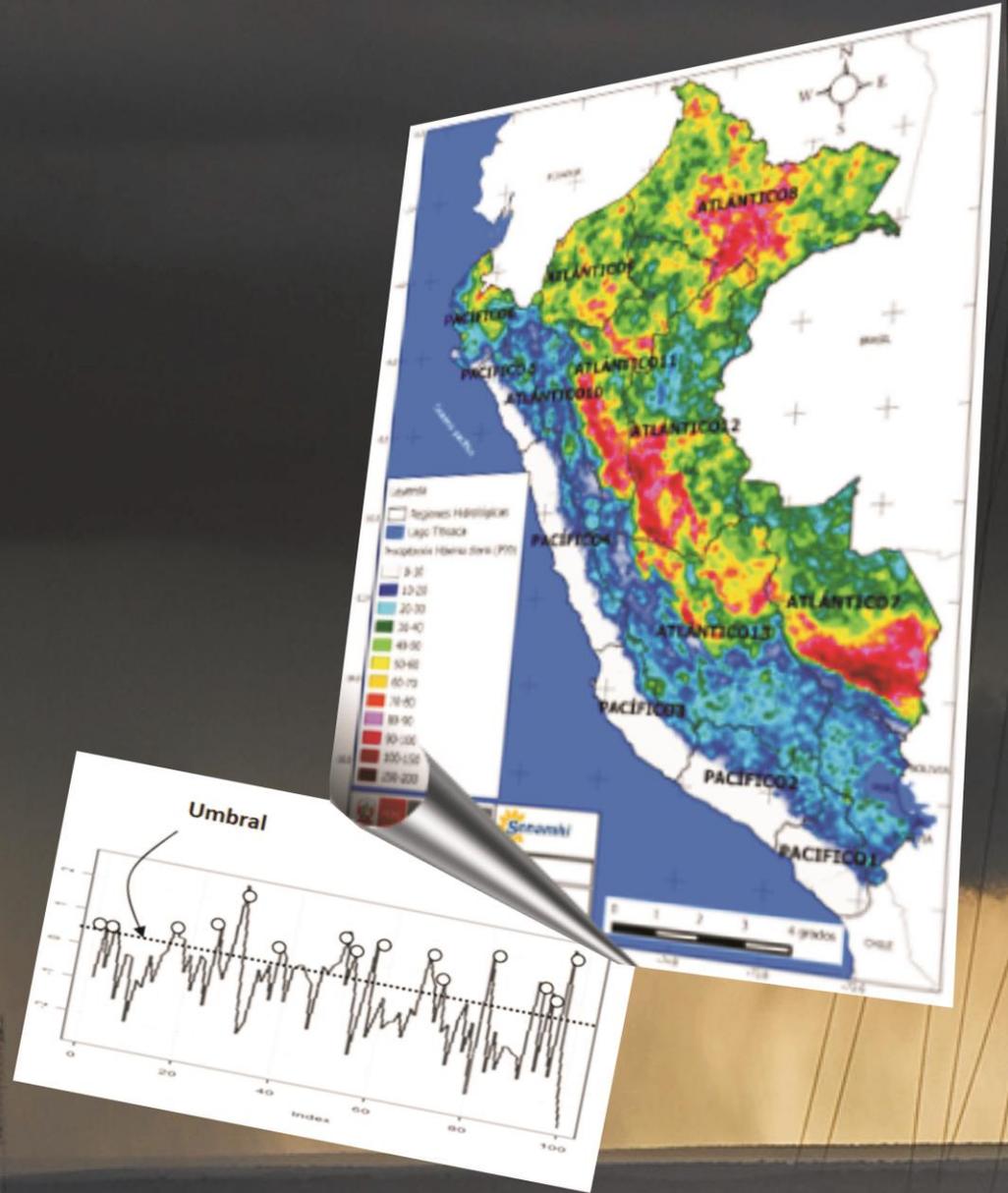


DETERMINACIÓN DE EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN A PARTIR DEL PISCO DIARIO



DETERMINACIÓN DE EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN A PARTIR DEL PISCO DIARIO



DIRECTORIO

Dr. Ken Takahashi Guevara
Presidente Ejecutivo del SENAMHI

Ing. Oscar Felipe Obando
Director de la Dirección de Hidrología del SENAMHI

Mg. Sc. Julia Acuña Azarte
Subdirectora de Estudios e Investigaciones Hidrológicas del
SENAMHI

REVISOR DEL ESTUDIO

Mg. Sc. Julia Acuña Azarte
Subdirectora de Estudios e Investigaciones Hidrológicas del
SENAMHI

RESPONSABLE DEL ESTUDIO

Sofía Endara Huanca
Especialista en Hidrología del SENAMHI

Lima - Perú
Noviembre - 2017

Citar como:

Endara, S. Determinación de extremos a precipitación a partir del PISCO diario. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología. Diciembre, 2017.

ÍNDICE

ÍNDICE	i
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABLAS	iv
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes	2
1.1 Justificación	3
1.2 Objetivo	3
1.1.1 Objetivo general	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Definiciones conceptuales.....	4
2.1.1 Precipitación extrema	4
2.1.2 Indicadores de precipitación extrema.....	5
2.2 Análisis Exploratorio de Datos.....	5
2.2.1 Medidas de Posición.....	6
2.2.2 Medidas de Centralización	6
2.2.3 Medidas de Dispersión	6
2.2.4 Medidas descriptivas resistentes	7
2.2.5 Q-Qplot para evaluar Normalidad.....	7
2.3 Medidas de comparación	8
2.3.1 Error medio.....	8
2.3.2 Porcentaje de sesgo	8
2.3.3 Error de la Raíz cuadrada de la media.....	8
2.3.4 Coeficiente de determinación	9
2.4 Distribución de probabilidades de valores extremos.....	9
2.4.1 Teoría de valores extremos y modelos	9
2.4.2 Distribución de valores extremos generalizado	10
2.4.3 Enlaces a las familias de Fréchet, Weibull y Gumbel	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1 Área de Estudio	11
3.1.1 Ubicación geográfica	11
3.1.2 Clasificación climática.....	13
3.1.3 Hidrología Superficial	18
3.2 Datos.....	20
3.2.1 Base de datos PISCO Pd v2.0	20
3.2.2 Precipitación diaria observada	20
3.3 Metodología	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 Validación de los datos PISCO precipitación diaria con datos observado.....	24
4.2 Análisis exploratorio de PISCO Pd v2.0 precipitación diaria por regiones hidrológicas.....	26
4.2.1 Diagrama de cajas de precipitación diaria por regiones hidrológicas.....	26
4.2.2 Histogramas de frecuencia de la precipitación diaria por regiones hidrológicas	28
4.2.3 Análisis de normalidad de la precipitación diaria por regiones hidrológicas.....	31

4.3	Caracterización de extremos de precipitación utilizando percentiles	34
4.4	Variabilidad espacial del parámetro de forma de la distribución GEV	40
4.5	Distribución de Extremos Generalizados para la precipitación areal en el Perú	43
5.	CONCLUSIONES.....	51
6.	RECOMENDACIONES	51
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS		54

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 (a) eventos máximos dentro de un bloque, los círculos indican eventos máximas, (b) eventos máximos por encima de un umbral, la línea punteada indica el umbral en un período dado.	4
Figura 2-2 Q-Qplot para evaluar Normalidad.....	8
Figura 3-1 Regiones hidrológicas del Perú sobre el modelo de elevación de terreno (STRM 1Km)	12
Figura 3-2 Clasificación climática por regiones hidrológicas (SENAMHI: 1988, Digitalizado 1994)	14
Figura 3-3 Característica de hidrología superficial	19
Figura 3-4 Distribución espacial de las 339 estaciones meteorológicas utilizadas	21
Figura 3-5 Diagrama de flujo de la metodología	23
Figura 4-1 Validación del producto PISCO Pd v2.0, (a) Error medio (me), (b) Error cuadrático medio (RMSE), (c) Porcentaje de sesgo (PBIAS) y (d) Coeficiente de determinación (R2).....	25
Figura 4-2 Diagrama de cajas en la Región Hidrográfica del Pacífico.....	26
Figura 4-3 Diagrama de cajas en la Región Hidrográfica del Amazonas	27
Figura 4-4 Diagrama de cajas en la Región Hidrográfica del Titicaca.....	27
Figura 4-5 Histograma de frecuencia para la Región hidrográfica del Pacífico.....	29
Figura 4-6 . Histograma de frecuencia para la Región hidrográfica del Amazonas.....	30
Figura 4-7. Histograma de frecuencia para la Región hidrográfica del Titicaca.....	31
Figura 4-8 QQ-plot, Región hidrográfica del Pacífico	32
Figura 4-9 QQ-plot, Región Hidrográfica del Amazonas	33
Figura 4-10 QQ-plot, Región Hidrográfica del Titicaca	33
Figura 4-11 Precipitación máxima diaria (PISCO Pd. v2.0, 1981-2016).....	35
Figura 4-12 Umbrales de precipitación máxima diaria (PISCO Pd. V2.0, 1981-2016).....	36
Figura 4-13 (a) Estimación del parámetro de forma, los colores rosados y rojos son valores positivos del parámetro de forma, mientras los azules son valores negativos; (b) Elevación (msnm); (c) precipitación multianual promedio 1981-2016.	41
Figura 4-14 Distribución de frecuencias del parámetro de forma en el Perú (n= 92964)	42
Figura 4-15 Dispersión del parámetro de forma estimado vs la precipitación multianual promedio (PN, Período 1981 al 2016)	42
Figura 4-16 Cuencas Hidrológicas (regiones de amarillo) seleccionadas.....	45
Figura 4-17 Precipitación máxima anual en las cuencas de RHT	46
Figura 4-18 Precipitación máxima anual en las cuencas de RHA	47
Figura 4-19 Precipitación máxima anual en las cuencas de RHP	48
Figura 4-20 Precipitación máxima anual caso una cuenca.....	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Determinación de Umbrales de extremos de precipitación	5
Tabla 3-1 Clasificación Climática Por El Método De Thornthwaite	13
Tabla 3-2 Porcentaje de superficie territorial por cada tipo de clima en las 14 regiones hidrológicas	18
Tabla 3-3 Unidades hidrográficas en el Perú.....	20
Tabla 4-1 Características estadísticas descriptivas por regiones hidrológicas del Perú.....	31
Tabla 4-2. Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 1.....	37
Tabla 4-3 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 2.....	37
Tabla 4-4 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 3.....	37
Tabla 4-5 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 4.....	37
Tabla 4-6 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 5.....	38
Tabla 4-7 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 6.....	38
Tabla 4-8 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 7.....	38
Tabla 4-9 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 8.....	38
Tabla 4-10 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 9.....	39
Tabla 4-11 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 10	39
Tabla 4-12 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 11	39
Tabla 4-13 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 12	39
Tabla 4-14 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 13	40
Tabla 4-15 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Titicaca.....	40
Tabla 4-16 Cuenca seleccionada por región hidrológica, área, elevación y precipitación areal anual.	44
Tabla 4-17 Parámetro de la distribución GEV ajustados a series de máximos anuales por cuenca hidrológica.....	49

RESUMEN

El estudio Determinación de extremos de precipitación a partir de la base de datos PISCO Pd v2.0. producto de precipitación diaria, muestra la caracterización de los eventos extremos de precipitación en 14 regiones hidrológicas del Perú (Halcrow, 2011). El período de análisis comprende del 1 de enero de 1981 al 31 de diciembre del 2016. Los datos utilizados fueron de precipitación de 218 estaciones meteorológicas que corresponden a la red de observación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, principalmente para el proceso de validación.

El Estudio presenta aspectos del clima del Perú, procesamiento y análisis de los datos PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations por sus siglas en ingles), así como el procesamiento estadístico para determinación de umbrales de precipitación y frecuencia de eventos extremos utilizando la técnica percentiles para cada una de las 14 regiones hidrológicas. Finalmente, se analizó el comportamiento espacial del parámetro de forma de la distribución de probabilidades de extremos máximos (GEV) con la finalidad de identificar el tipo de distribución que mejor se ajusta a las regiones hidrográficas del Pacífico (RHP), del Titicaca (RHT) y Amazonas (RHA).

Se concluye que el comportamiento de los precipitación extrema varía en cada región del Perú según la topografía y su variabilidad climática y es explicada por PISCO producto precipitación diario en promedio el 68.81% de la distribución espacial de la precipitación observada. La determinación de umbrales de precipitación demostró que los mayores niveles se localizan en la RHA (región hidrográfica del Atlántico) y en el norte de la RHP (región hidrográfica del Pacífico) y los valores bajos se localizan en el centro y sur de la RHP. El parámetro de forma de la distribución de extremos muestra homogeneidad en la RHP, para las cuencas de la RHT se ajustó a una distribución Weibull, y para las cuencas de la RHP y RHA el mejor ajuste fue la distribución del tipo Fréchet.

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú la presencia de fenómenos naturales extremos de origen hidrometeorológico es frecuente, estos ocasionan desastrosas consecuencias para la población y el ecosistema. Siendo los principales eventos extremos: inundaciones, sequías, sismos, heladas, la actividad volcánica, deslizamiento, entre otros. Es así, uno de los países más vulnerables a los eventos extremos debido a que presenta 28 de los 35 climas identificados en el planeta (SENAMHI, 2012).

Las inundaciones en Perú son recurrentes, debido a la estacionalidad de las precipitaciones; en la parte andina, tiene una época seca y lluviosa (diciembre a abril). La presencia del fenómeno del Niño o Niño Costero, ocasionan que los caudales de los ríos que bajan de la región andina a la costa aumenten varias veces su magnitud, desbordándose y ocasionando daños a las ciudades costeras, principalmente en la región norte del país: Tumbes, Piura y Lambayeque (Consejo Nacional de Gestión del Riesgo del Fenómeno El Niño, 2016). Asimismo, según la comunidad andina (CAN, 2009) menciona que el 20% de la población peruana se encuentra expuesta a las inundaciones, el cual generalmente se produce por lluvias intensas, y el 13% de la superficie agropecuaria de la superficie del Perú se encuentra expuesta a este fenómeno.

Por tanto, estimar los extremos máximos de precipitación es decisivo para el planeamiento y diseño de estructuras hidráulicas y sistemas de administración del agua, debido a que inciden directamente en el aspecto económico y la seguridad.

Desde 2014 el SENAMHI a través de la Subdirección de Estudios e Investigaciones hidrológicas de la Dirección de Hidrología ha comenzado a utilizar técnicas geo-estadísticas e información satelital de precipitación para la creación de productos de variables hidrológicas. En ese sentido, los productos PISCO ("Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations", por sus siglas en inglés) fue creado con la finalidad de obtener datos de las variables hidroclimáticas en todo el Perú con buena resolución espacial y temporal ~ 5 km, para fines del presente Estudio se ha analizado PISCO Pd v2.0 producto precipitación diaria en el período 1981 a 2016.

1.1 Antecedentes

Son diversos los Estudios relacionados a los eventos extremos de precipitación, sobre todo los relacionados al Fenómeno El Niño y su influencia en la lluvias en la costa norte del Perú.

(Lagos P. et al., 2008), analizó la relación entre anomalías de la temperatura superficial del mar (SST) promedio mensual y las regiones del Niño para 44 estaciones en el Perú con el período 1950-2002. Concluyó que la variabilidad interanual de precipitación es dominada por las características de las escalas de tiempo. La precipitación extrema en la costa norte peruana se encuentra altamente asociada linealmente a la SST en la región del Niño 1+2 con correlaciones positivas, mientras al Sur de los Andes las precipitaciones extremas tienen correlaciones moderadas con SST en la región Niño 4.

(Lavado W. & Espinoza J., 2014) evaluó los impactos del Niño y la Niña en las lluvias del Perú, utilizó datos de lluvia mensual (1965-2007) de 155 estaciones distribuidas sobre las tres vertientes hidrográficas del Perú: 85 en el Pacífico (VP), 21 en la del Lago Titicaca (VT) y 49 en Amazonas (VA). Los resultados mostraron que solo durante los eventos Niño moderado y Niño fuerte se observa alto

porcentaje de estaciones con anomalías significativas de precipitación y localizadas en la VP y la VT durante diciembre a mayo.

(Muñoz, Goddard, Robertson, Kushnir, & Baethgen, 2015) estudiaron los predictores potenciales y su influencia en los eventos extremos de precipitación al sureste de América del Sur. Concluyó que los eventos extremos de precipitación están asociados a dos predictores; uno de ellos caracterizada por la advección de la humedad, incursiones de latitudes bajas hacia el océano pacífico, y el otro la humedad por encima de lo normal advección hacia latitudes más bajas o los Andes, el cual se asocia con días secos.

1.1 Justificación

La caracterización espacial y temporal de los eventos extremos de precipitación en las 14 regiones hidrológicas del Perú (RH) es de relevante importancia porque permitirá brindar información cuantitativa de soporte para la toma de decisiones, principalmente para la mitigación de los posibles impactos por inundaciones.

Asimismo, el estudio presenta la ventaja del uso de la base de datos PISCO del producto de precipitación diaria Pd v2.0, disponible (ftp://ftp.senamhi.gob.pe/PISCO_v2.0/) a fin de generar avisos meteorológicos sobre la presencia de eventos extremos de precipitación, principalmente en zonas donde no se tiene información de precipitación medida, tales como las zonas de alta montaña, desiertos, bosques densos, entre otros.

El estudio constituye un análisis estadístico aplicando la teoría de valores extremos para la estimación de los eventos máximos de precipitación por regiones hidrológicas, juega un papel importante en el monitoreo y prevención de inundaciones. Del mismo modo, es un punto de partida para el análisis de frecuencias y períodos de retorno de precipitación máxima.

1.2 Objetivo

1.1.1 Objetivo general

Evaluar las características espaciales y temporales de la precipitación extrema en las 14 regiones hidrológicas delimitadas en el territorio peruano utilizando la base de datos PISCO Pd 2.0 producto precipitación diaria.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar umbrales de precipitación extrema por regiones hidrológicas
- Estimar las precipitaciones extremas utilizando la distribución de probabilidades de valores extremos generalizados

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Definiciones conceptuales

2.1.1 Precipitación extrema

La teoría de valores extremos, es el área de la estadística dedicada a desarrollar modelos y técnicas que permitan estimar los eventos inusuales o raros (Coles S., 2001). Estos eventos raros aparecen en la cola de la distribución y están alejados de la media y mediana.

Sin embargo no existe una definición formal de los eventos extremos. En muchos casos los eventos extremos se pueden definir como aquellos eventos que exceden en magnitud algún umbral. Pero también se puede definir como los máximos o mínimos de una variable sobre cierto período de tiempo.

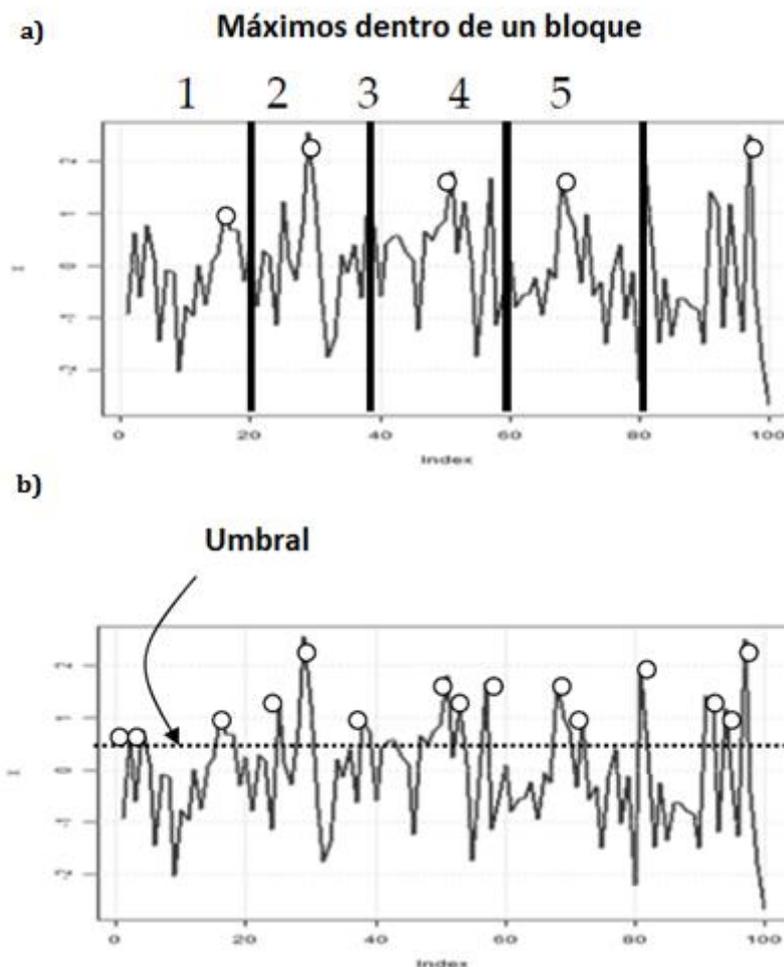


Figura 2-1 (a) eventos máximos dentro de un bloque, los círculos indican eventos máximas, (b) eventos máximos por encima de un umbral, la línea punteada indica el umbral en un período dado.

Fuente: Salas J., 2013. Riesgo hidrológico de eventos extremos en condiciones no estacionarias

2.1.2 Indicadores de precipitación extrema

Un criterio para determinar eventos extremos de precipitación diaria es bajo el enfoque de umbrales de precipitación. Para determinar los umbrales de precipitación máxima se siguió el procedimiento descrito por Alfaro L., 2014, en la Nota Técnica umbrales de precipitación para la emisión de avisos meteorológicos. Asimismo, se utiliza en la actualidad para el monitoreo de inundaciones en el SENAMHI (Lavado W., et. al, 2016).

Los umbrales de precipitación son estimados en base a información de precipitación diaria el cual toma las siguientes consideraciones:

- Se consideran los valores de precipitación que son mayores a 0.01 mm.
- Se estiman los percentiles p75, p90, p95 y p99, estos permiten categorizar los extremos de precipitación desde extremadamente lluvioso (valores mayores a p99); muy lluvioso (valores mayores a p95 y menores a p99); lluvioso (valores mayores a p90 y menores a p95) y moderadamente lluvioso (valores mayores a p75 y menores a p90).

A continuación, se listan los indicadores de precipitación extrema

Tabla 2-1. Determinación de Umbrales de extremos de precipitación

Técnica	Indicador	Categoría	Definición	Unidad
Índice de percentiles	P99	Extremadamente lluvioso	Precipitación diaria para días húmedos mayores a P99 (días con precipitación $\geq 0,01$ mm)	mm/día
	P95	Muy lluvioso	Precipitación diaria para días húmedos mayores a P95 y menores a P99 (días con precipitación $\geq 0,01$ mm)	mm/día
	P90	Lluvioso	Precipitación diaria para días húmedos mayores a P90 y menores a P95 (días con precipitación $\geq 0,01$ mm)	mm/día
	P75	Moderadamente lluvioso	Precipitación diaria para días húmedos mayores a P75 y menores a P90 (días con precipitación $\geq 0,01$ mm)	mm/día

2.2 Análisis Exploratorio de Datos

Las técnicas clásicas de la estadística trabajan con suposiciones bastante estrictas sobre la naturaleza de los datos. Por ejemplo, con frecuencia se asume que un conjunto de datos siguen una curva en forma de campana de la distribución Gaussiana. Las suposiciones pueden llevarnos a resultados erróneos si las suposiciones son aplicadas a los datos.

El análisis exploratorio de datos consiste en gran medida a gráficos que permite conocer la naturaleza de la variable a estudiar y comprimen y resumen los datos, mostrando las características inusuales del conjunto de datos.

Adicionalmente, analizar las características descriptivas numéricas de los datos juega un papel importante en el análisis de los datos.

2.2.1 Medidas de Posición

Las medidas de posición se basan en cuantiles, los cuales son valores de la distribución que dividen en partes iguales. Es decir, en intervalos que comprenden el mismo número de valores. Los más usados son los cuartiles, los deciles y percentiles (Córdova Z., 2003).

- Percentiles, son 99 valores que divide en 100 partes iguales el conjunto de datos ordenados.
- Cuartiles, son los tres valores que dividen el conjunto de datos ordenado en 4 partes iguales.
- Deciles, son nueve valores que divide al conjunto de datos ordenados en 10 partes iguales. Son también, un caso particular de los percentiles.

2.2.2 Medidas de Centralización

Proporciona valores alrededor del centro de la distribución, valores que se pueden tomar como representativos de los datos. Existen distintas medidas de centralización.

- **Media** (media aritmética o simplemente media) es el promedio aritmético entre las observaciones, es decir, el cociente entre la suma de todos los datos y el número de ellos. Si x_i representa algún valor de los datos y n el número total de datos, la media es representada por la ecuación 1.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \dots\dots\dots (1)$$

- **Mediana** es el valor que separa por la mitad a los datos ordenados (50%) de menor a mayor, de tal forma que el 50% de estos son menores a la mediana y los otros son mayores. Si el número de datos es impar la mediana será el valor central de los datos ordenados, si el número de datos es par la mediana será la media aritmética de los dos valores centrales.

2.2.3 Medidas de Dispersión

Son indicadores estadísticos que muestran la distancia que existe entre los datos y la media aritmética. Entre ellos, tenemos:

- **La Varianza** (S^2) es la medida de los cuadrados de las diferencias entre cada valor de la variable y la media aritmética de la distribución.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad \dots\dots\dots (2)$$

- **Desviación típica** es la raíz cuadrada de la varianza (S). Como consecuencia, la desviación típica no tiene la misma magnitud que la varianza. Por ejemplo, si las observaciones tienen

unidad de metros, la varianza también lo hace en metros, mientras la desviación típica o estándar tiene la misma dimensión que las observaciones porque toma la raíz cuadrada.

- **Coefficiente de variación** expresa la desviación típica como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad de los datos. Así mismo, no posee unidades y para su mejor interpretación se expresa en porcentajes.

$$CV = \frac{S}{|\bar{x}|} \quad \dots\dots\dots (3)$$

2.2.4 Medidas descriptivas resistentes

Las medidas descriptivas resistentes son medidas estadísticas robustas sin la influencias de posibles valores atípicos de un conjunto de datos. Entre ellas tenemos a la mediana, rango intercuartil y coeficiente de variación intercuartílico (Wilks, 2011).

- **La mediana**, es una medida robusta y resistente de tendencia central. Así mismo, la mediana se dice que es resistente a los valores atípicos, ya que considera la posición central de datos ordenados, se puede representar por el cuantil 0.5 ($q_{0.5}$).
- **Rango intercuartil**, es la medida más común y robusta. También conocida como medida de resistencia a la dispersión, escala, o rango intercuartil.

$$IQR = q_{0.75} - q_{0.25} \quad \dots\dots\dots (4)$$

El rango intercuartil, es un índice de dispersión sobre la región central del conjunto de datos, simplifica el rango de los 50% del total de datos. El cual ignora el 25% de valores muy bajas o muy altos de las observaciones de los datos.

- **Coefficiente de variación intercuartílico**, es una medida de dispersión, independiente de las unidades de los datos. Nos indica la dispersión de los datos respecto a la mediana, se considera como una medida robusta.

$$CV_Q = \frac{P_{75} - P_{25}}{P_{75} + P_{25}} * 100 \quad \dots\dots\dots (5)$$

2.2.5 Q-Qplot para evaluar Normalidad

Es un gráfico cuantil-cuantil que permite observar cuan cerca está la distribución de un conjunto de datos a alguna ideal o comparar la distribución de dos conjuntos de datos. Si se interesa comparar con la distribución gaussiana se llama gráfico de probabilidad normal. Se ordena los datos y se grafica el i-ésimo datos contra el correspondiente cuantil gaussiano.

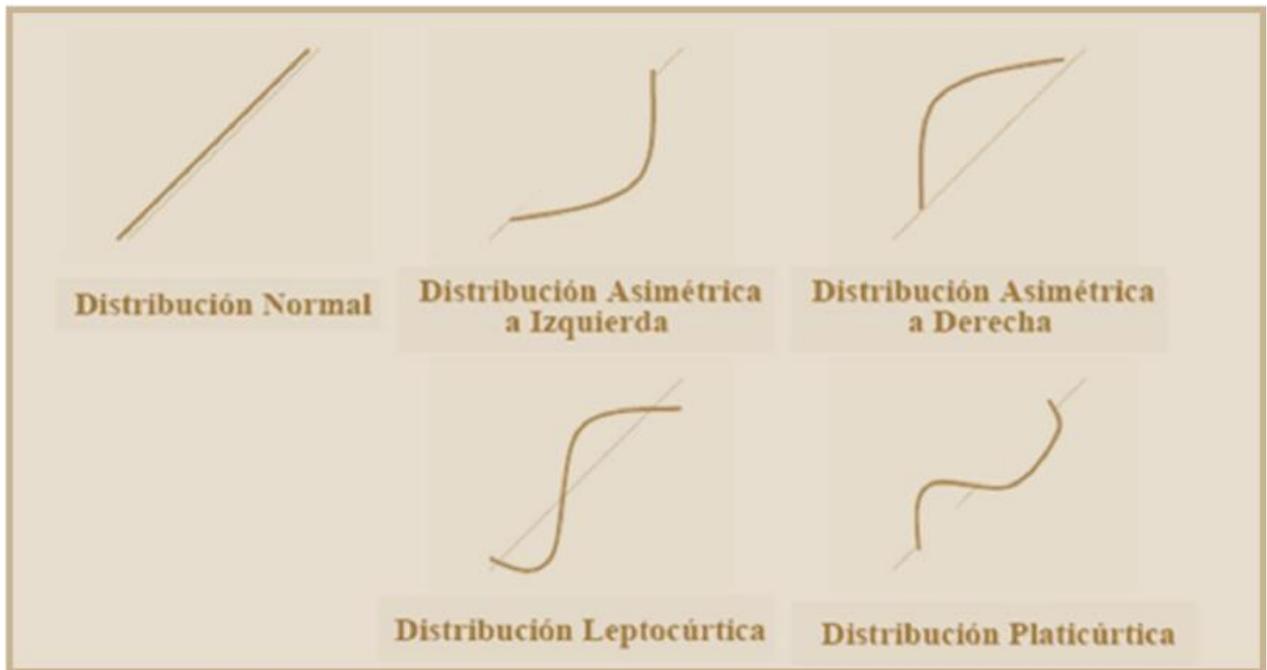


Figura 2-2 Q-Qplot para evaluar Normalidad

Fuente: Ponce E. (2017), UNMSM

2.3 Medidas de comparación

2.3.1 Error medio

Es el error medio (EM) entre los datos observados y simulados, en las mismas unidades.

$$me = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)}{n} \quad \dots\dots\dots (6)$$

2.3.2 Porcentaje de sesgo

Porcentaje de sesgo (PBIAS) es una medida de tendencia promedio de los valores simulados y observados. El valor óptimo de PBIAS es 0.0, los valores de magnitud baja representan mayor precisión entre los datos modelados y observados. Los valores positivos indican sobrestimación, mientras los valores negativos indican subestimación del sesgo.

$$PBIAS = 100 \times \left[\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)}{\sum_{t=1}^n y_t} \right] \quad \dots\dots\dots (7)$$

2.3.3 Error de la Raíz cuadrada de la media

El error de la raíz cuadrada de la media (RMSE) Proporciona la desviación estándar de predecir el modelo, un valor pequeño significa mayor eficiencia de los datos simulados.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

2.3.4 Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación (R^2) de un modelo estadístico describe la bondad de ajuste de dos conjuntos de observaciones dadas. Es una medida de bondad que resume las discrepancias entre los valores observados y los valores modelados.

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT} \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

SCR es la suma de cuadrados residuales y

SCT es la suma de cuadrados totales

2.4 Distribución de probabilidades de valores extremos

Las principales distribuciones de la teoría de valores extremos que son diseñadas para caracterizar los eventos de precipitación extrema, se han clasificado en tres tipos:

- Gumbel (EV0),
- Fréchet (EV1) y
- Weibull (EV2) (Reiss, 1989)

2.4.1 Teoría de valores extremos y modelos

Dado X_1, X_2, \dots, X_n una secuencia de variables aleatoria independientes e idénticamente distribuidas (i.i.d) con función de distribución F y dado $M_n = \max(X_1, X_2, \dots, X_n)$ denominado el máximo. La distribución del máximo puede ser descrita como,

$$P_r(M_n \leq z) = P_r(X_1 \leq z, \dots, X_n) \dots\dots\dots (10)$$

$$= P_r(X_1 \leq z), \dots, P_r(X_n \leq z) = (F(z))^n \dots\dots\dots (11)$$

El indicador asociado a la función de $I(X_n > z)$ el cual es una proceso de Bernoulli con una probabilidad de éxito de $p(z)=(1-F(z))$ que depende de la magnitud z . El número de eventos extremos con n -éxitos siguen una distribución binomial y el número de éxitos antes que ocurre el evento siguen una distribución geométrica con valor esperado y desviación estándar del mismo orden $O(1/p(z))$.

En la práctica n se trabaja con la función distribución F , pero Fisher- Tippett-Gnedenko proporcionaron los siguientes resultados asintóticos:

Teorema 2.1.- Si existe una secuencia de constantes $a_n > 0$ y $b_n \in \mathbb{R}$ tal que $\mathbb{P}\{(M_n - b_n)/a_n \leq z\} \rightarrow G(z)$ Cuando n se aproxima al infinito y G es una distribución no degenerada, entonces G pertenece a una de las siguientes familias:

$$\text{Gumbel: } G(z) = \exp\left\{-\exp\left(-\left(\frac{z-b}{a}\right)\right)\right\}, z \in \mathbb{R} \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Fréchet: } G(z) = \begin{cases} 0 & \text{si } z \leq b \\ \exp\left\{-\left(\frac{z-b}{a}\right)^{-\alpha}\right\} & \text{si } z > b, \end{cases} \dots\dots\dots (13)$$

$$Weibull: G(z) = \begin{cases} \exp\{-(-\frac{z-b}{a})^\alpha\} & \text{si } z < b \\ 1 & \text{si } z \geq b \end{cases} \dots\dots\dots (14)$$

Donde $\alpha > 0$

2.4.2 Distribución de valores extremos generalizado

En la teoría de probabilidad y estadística, la distribución de valores extremos generalizado (GEV) es una familia de distribuciones de probabilidad continua incluyendo las distribuciones de Gumbel (ecuación 2.12), Fréchet (ecuación 2.13) y Weibull (ecuación 2.14). En el teorema de extremos, la distribución GEV es una distribución límite normalizada, una secuencia correcta de máximos de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuida. Por esta razón, la distribución GEV suele ser una aproximación para modelar secuencias largas de variables aleatorias de máximos.

Las tres distribuciones (ecuación 2.12, 2.13 y 2.14) pueden ser caracterizadas por una sola función de distribución generalizada acumulada (ver ecuación 2.13), esta es la razón del porque se le llama distribución de extremos generalizado.

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \exp\{-[1 + \xi(\frac{x-\mu}{\sigma})]^{-1/\xi}\} \dots\dots\dots (15)$$

Para $1 + \xi(x-\mu)/\sigma > 0$, donde $\mu \in \mathbb{R}$ es el parámetro de forma. Para $\xi=0$ la expresión es formalmente indefinida y se da por entendido como un caso limitante.

La función de densidad es,

$$\exp\{-[1 + \xi(\frac{x-\mu}{\sigma})]^{-1/\xi}\} \dots\dots\dots (16)$$

Para $1 + \xi(x-\mu)/\sigma > 0$

2.4.3 Enlaces a las familias de Fréchet, Weibull y Gumbel

El parámetro de forma (ξ) gobierna el comportamiento de la cola de la distribución. Las subfamilias definidas por $\xi=0$, $\xi>0$ y $\xi<0$ correspondientes a la familias Gumbel, Fréchet y Weibull respectivamente, las cuales sus respectivas función de distribución acumulada son mostradas a continuación,

$\xi=0$: Gumbel

$$F(x; \mu, \sigma, 0) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right\}, x \in \mathbb{R} \dots\dots\dots (17)$$

Dicha distribución tiene una ligera cola superior y curtosis positive.

$\xi>0$: Fréchet

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq \mu \\ \exp\left\{-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-\alpha}\right\} & \text{si } x > \mu, \end{cases} \dots\dots\dots (18)$$

Es una distribución con una cola superior fuerte y momentos de orden superior infinitos.

$\xi<0$: Weibull

$$Weibull: G(z) = \begin{cases} \exp\{-(-\frac{x-\mu}{\sigma})^\alpha\} & \text{si } x < \mu \\ 1 & \text{si } x \geq \mu \end{cases} \dots\dots\dots (19)$$

Donde $\sigma > 0$, la distribución de Weibull tiene una cola superior limitada.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de Estudio

3.1.1 Ubicación geográfica

El territorio peruano se localiza en el hemisferio Sur, en el sector centro occidental de América del Sur con sus costas bañadas por las aguas del Océano Pacífico, extendiéndose al continente Antártico por factores geográficos, ecológicos y por antecedentes históricos. Este territorio está comprendido dentro de la zona intertropical del hemisferio Sur, entre los dos principales paralelos que son: la Línea Ecuatorial y el Trópico de Capricornio.

La superficie continental del territorio peruano se extiende entre los meridianos 68° 39' 27" de longitud Este (Boca del Río Health o Abuyama en el Departamento de Madre de Dios) y 81° 19' 34,5" longitud Oeste (Punta Balcón, en el Departamento de Piura); y entre los paralelos 0° 01' 48" (Thalweg en el río Putumayo, Departamento de Loreto) y 18° 21' 03" (Pascana del Hueso, en el Departamento de Tacna). El territorio peruano abarca una superficie total de 1'285 215,6 km² que incluyen las islas y la parte peruana del lago Titicaca. Además, tiene soberanía y jurisdicción sobre una franja de 200 millas (371 km² del Mar Pacífico Peruano) del océano Pacífico.

El territorio Antártico Peruano tiene una extensión de 9 km², está comprendido entre los meridianos 84° y 90° Longitud Oeste y hasta el Polo Sur, a los 90° Latitud Sur (desde el 10 de abril de 1981; en virtud al Tratado Antártico, firmado en Washington D.C., Estados Unidos de América, el 1º de diciembre de 1959). Limita al Norte con Ecuador, en una extensión de 1 529 km de frontera, y con Colombia, en 1 506 km de frontera; al Sur con Chile, en una extensión de 169 km de frontera; al Este con Brasil, con una frontera de 2 822 km y Bolivia, en una extensión de 1 047 km de frontera, y al Oeste sus costas son bañadas por el Océano Pacífico, a lo largo de 3 080 km.

El Perú presenta aproximadamente el 10% del total de la Cuenca Amazónica y se caracteriza por ser la región con menor distribución de estaciones de lluvia, sobre todo en la Selva baja (Lavado W. 2009).

Cabe mencionar, que para una apropiada caracterización de los eventos extremos máximos de precipitación se utilizó las regiones hidrológicas propuestas por (Halcrow, 2011) en el estudio de Atlas del Potencial hidroeléctrico por encargo del Ministerio de Energía y Minas del Perú. En dicho estudio se propone para el Perú la conformación de 14 regiones hidrológicas homogéneas basadas en criterios de similitud física, geomorfológica y climática. Del total, 6 de estas regiones hidrológicas pertenecen a la Región hidrográfica del Pacífico (RPP, Pacífico 1 a Pacífico 6), 7 a la Región Hidrográfica del Amazonas (RHA, Atlántico 7 a Atlántico 13) y 1 a la Región Hidrográfica del Titicaca (RHT).

La ubicación de las 14 regiones homogéneas en Perú se ilustra en la Figura 3-1 sobre el modelo de elevación del terreno, el cual muestra una variación de altitud entre los 0 a 6000 msnm.

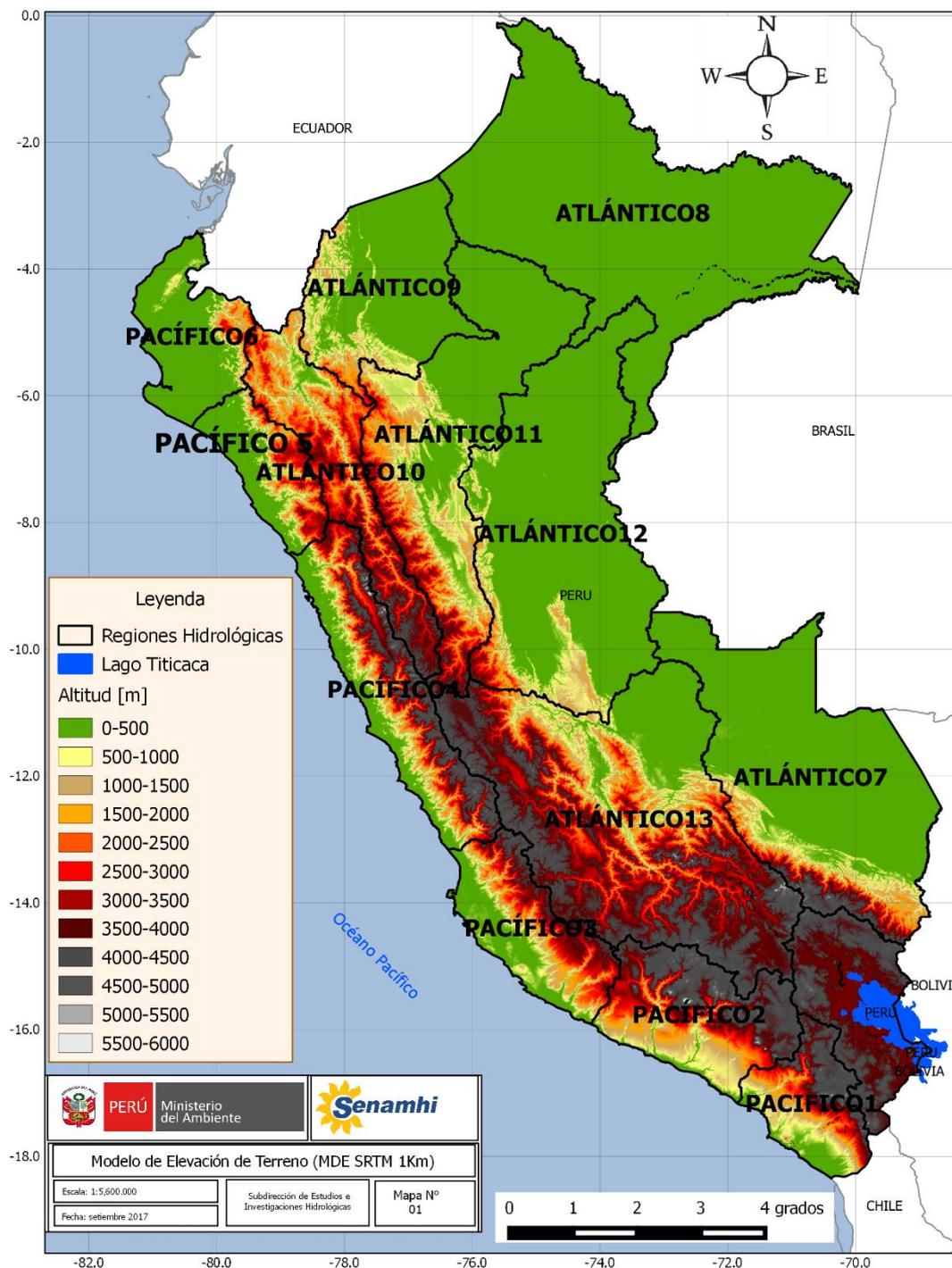


Figura 3-1 Regiones hidrológicas del Perú sobre el modelo de elevación de terreno (STRM 1Km)

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Clasificación climática

La clasificación climática presentada, se basa en el Mapa de clasificación climática del Perú (SENAMHI, 1988), el cual ha sido elaborado considerando factores que condicionan de modo preponderante al clima, como la latitud, la Cordillera de los Andes, la Corriente Costera Peruana (de aguas frías), el Anticiclón del Pacífico Sur y la continentabilidad. La información base de esta clasificación se sustenta en datos meteorológicos de veinte años (1965-1984), a partir de la cual se formula los índices climáticos de acuerdo con el sistema de clasificación de climas de Werren Thornthwaite.

La clasificación climática del Perú se caracteriza por presentar 29 tipos, la nomenclatura de cada Tipo se presentan en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Clasificación Climática Por El Método De Thornthwaite

Indicador	Clase	Condiciones
A	Muy Lluvioso	Precipitación Efectiva
B	Lluvioso	
C	Semiseco	
D	Semiárido	
E	Árido	
A'	Cálido	Eficiencia de temperatura
B'1	Semicálido	
B'2	Templado	
B'3	Semifrío	
C'	Frío	
D'	Semifrígido	
E'	Frígido	
F'	Polar	
r	Precipitación abundante en todas las estaciones	Distribución de la precipitación en el año
i	Invierno seco	
p	Primavera seca	
v	Verano seco	
o	Otoño seco	
d	Deficiencia de lluvias en todas las estaciones	Humedad atmosférica
H1	Muy seco	
H2	Seco	
H3	Húmedo	
H4	Muy húmedo	

De este modo, la Figura 3-2 muestra la distribución espacial de los tipos de clima para cada una de las 14 regiones hidrológicas analizadas.



Figura 3-2 Clasificación climática por regiones hidrológicas (SENAMHI: 1988, Digitalizado 1994)

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta una breve descripción de los climas existentes en el territorio nacional basados en índices climáticos basados en la clasificación de Werren Thornthwaite.

- **A(r)A'H4** : Zona de clima cálido muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda.
Corresponde los lugares siguientes: Gueppi, Pijuayal, Curaray, Iquitos, Borja, Requena, Tocache, Uchiza, Tulumayo, Tingo María, Quincemil, Puerto Bermúdez, Caballococha, y El Sepa.
- **A(r)B'1H4**: Zona de clima semicálido muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda.
Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Pozuzo, zona del río Unime (S.O. de Atalaya), zona del río Aporoquiari (N.O. del Río Unime) y Pilcopata (Cuzco).
- **A(r)B'2H3**: Zona de clima templado muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda.
Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Tocaz, Umaparco, San Miguel.
- **B(i)A'H3**: Zona de clima cálido, lluvioso, con lluvia deficiente en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Contamaná, Juanjuí, Pachiza, Tournavista, Pucallpa.
- **B(i)B'1H3**: Zona de clima semicálido, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.
Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Chachapoyas, Rodríguez de Mendoza, Rioja y Roque.
- **B(i)B'2H3**: Zona de clima templado, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.
Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: San Antonio (Chontolí), Cutervo, San José de Lourdes (San Ignacio).
- **B(i)D'H3**: Zona de clima semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno con humedad relativa calificada como húmeda.
Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Surasaca, Marcapomacocha, Milpo, Cerro de Pasco, Pachachaca, Junín, Morococha, Pomacocha y Yauricocha.
- **B(i)F'H2**: Zona de clima polar, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como seca.
Corresponde este tipo climático, a los lugares de nieves perpetua.
- **B(o,i)B'3H3**: Zona de clima semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.
Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Ayabaca, Chota, Celendín, Cajabamba, Tayabamba, Huamachuco y Ambo (Huánuco).
- **B(o,i)C'H3**: Zona de clima frío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Huallanca, Panao, Tarma, La Oroya, Pampas, Paucarbamba, Huancavelica, La Quinoa, Yauri, Jauja, Concepción y Huancayo.

- **B(o,i)D'H3:** Zona de clima semifrío lluvioso, con deficientes lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Pañe, Imata, Macusani, Lagunillas, Mazo Cruz.

- **B(r)A'H3:** Zona de clima cálido, lluvioso con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda.

Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: San Ramón (Junín), Puerto Ocopa, Satipo, Iñapari, Quillabamba, Iberia.

- **B(r)A'H4:** Zona de clima cálido, lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda.

Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Yurimaguas, San Ramón (San Martín), Moyobamba, Lamas, San Jorge y zona ubicada entre los ríos Marañón y Huallaga, entre Borja y Yurimaguas.

- **B(r)B'1H4:** Zona de clima semicálido, lluvioso, precipitación abundante en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda.

Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Oxapampa, Acobamba (Cuzco), Llaylla (R. Mazamari) y Santa Teresa (Cuzco).

- **B(r)B'2H3:** Zona de clima templado, lluvioso, precipitación abundante en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda.

Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Sandía y Ollachea.

- **B(r)C'H3:** Zona de clima frío, lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda.

Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Sima, Ayapata, Coroni.

- **C(i)C'H3:** Zona de clima semiseco, frío, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Quiruvilca, Pacra, Cordillera Negra, sobre los 4,000 m. y Cordillera Blanca, entre 4,000 y 5,000 m.

- **C(o,i)B'2H3:** Zona simiesca, templada, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Copallín Nuevo, Bagazán (Amazonas), Huanta, Ayacucho, San Miguel (Ayacucho), Abancay y Andahuaylas.

- **C(o,i)C'H2:** Zona de clima semiseco, frío, con deficiencias de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como seca.

Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Anta, Cuzco, Paruro, Sicuani, Ayaviri, Yauri, Azángaro, Huancané, Acomayo, Chuquibambilla (Apurímac), Antabamba, Puno, Desaguadero.

- **C(o,i,p)A'H3:** Zona semiseca, cálida, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda.
Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: San Ignacio, Jaén, Chontalí, Bagua, Río Marañón, Tarapoto, Río Huallaga, Río Biabo.
- **C(o,i,p)B'2H3:** Zona semiseca, templada, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda.
Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Huancabamba, Huambos, Santa Cruz, Cajamarca, Contumaza, Otuzco, Caraz, Canta, Matucana.
- **C(o,i,p)B'3H3:** Zona semiseca, semifrías, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Santiago de Chuco, Conchucos, Corongo, Bambamarca, Huaraz.
- **C(o,i,p)C'H2:** Zona de clima frío, semiseco, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seca.
Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Puquio, Parinacochas, Coracora, Sibayo, Candarave y Tarata.
- **C(o,i,p)C'H3:** Zona de clima frío, semiseco, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda.
Corresponde este tipo climático a los siguientes lugares: Aija, Chiquián, Cajatambo, Huarochiri.
- **D(o,i,p)B'2H2:** Zona de clima semiárido, templado, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seca.
Corresponde los siguientes lugares: Cotahuasi, Chuquibamba, Characato, Omate, Carumas.
- **E(d)A'H2:** Zona desértica, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y con humedad relativa calificada como seca.
Corresponde a este tipo climático los siguientes lugares: Piura, Tierra Rajada(Piura), Pampa La Para (Piura) y Pampa El Colorado(Piura).
- **E(d)A'H3:** Zona desértica cálida, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y con humedad relativa, calificada como húmeda.
Corresponden a este tipo de clima, lugares tales como: Zarumilla, Tumbes, Zorritos, Lancones, San Lorenzo, La Tina, Tejedores, El Tablazo, Morropón, Olmos, Motupe.
- **E(d)B'1H3:** Zona desértica semicálida, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año, y con humedad relativa calificada como húmeda.
Corresponden este tipo de clima a los lugares tales como: Talara, Bayóvar, Jayanca, Ferreñafe, Tinajones, Lambayeque, Chiclayo, Pimentel, Cayaltí, Casa Grande, Cartavio, Jequetepeque, Laredo Trujillo, Paramonga, Huacho, Lomas de Lachay, Huaral, Lima Metropolitana, Cañete, Pampa de Majes, Vítor, La Joya, Moquegua, Pisco, Ocucaje, Palpa y Tacna.

La Tabla 3-2 resume el porcentaje de tipo de clima en cada una de las 14 regiones hidrológicas a analizar en el presente Estudio

Tabla 3-2 Porcentaje de superficie territorial por cada tipo de clima en las 14 regiones hidrológicas

Porcentaje de superficie territorial por cada tipo de clasificación climática (%)														
CATEGORÍA	ALT14	ALT9	ALT10	ALT12	ALT11	ALT7	ALT13	TIT	PAC2	PAC6	PAC5	PAC4	PAC3	PAC1
LAGO	-	-	-	-	-	-	-	18,2	-	-	-	-	-	-
E(d) A' H3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38,7	5,0	-	-	-
E(d) A' H2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,3	-	-	-	-
B(i) B'2 H3	-	0,8	7,1	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-
A(r) A' H4	100	68,9	-	56,1	37,0	81,1	14,6	-	-	-	-	-	-	-
B(i) A' H3	-	-	-	10,4	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B(r) A' H4	-	18,8	-	21,5	22,0	-	5,4	-	-	-	-	-	-	-
C(o,i,p) A' H3	-	0,8	25,2	0,1	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C(o,i,p) B'3 H3	-	-	25,2	-	3,8	-	-	-	-	1,5	12,3	17,4	12,7	-
B(o,i) B'3 H3	-	-	18,3	-	7,0	-	-	-	-	3,5	-	-	-	-
C(o,i) B'2 H3	-	4,9	0,8	-	2,7	-	3,7	-	-	-	-	-	-	-
B(i) B'1 H3	-	5,8	1,6	-	13,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C(o,i,p) C' H2	-	-	-	-	-	-	-	-	17,0	-	-	-	6,0	12,5
B(r) A' H3	-	-	-	-	-	0,4	1,4	-	-	-	-	-	-	-
A(r) B'1 H4	-	-	-	5,4	-	9,7	3,0	-	-	-	-	-	-	-
B(o,i) D' H3	-	-	-	-	-	5,1	20,1	52,9	38,7	-	-	-	5,7	25,1
C(i) C' H3	-	-	8,9	-	1,2	-	-	-	-	-	0,4	8,7	-	-
C(o,i,p) B'2 H3	-	-	5,9	-	-	-	-	-	-	0,6	15,7	13,7	11,9	-
N	-	-	0,8	-	-	1,1	0,6	1,2	1,5	-	-	1,4	0,1	0,4
A(r) B'2 H3	-	-	-	2,2	0,2	2,6	9,4	-	-	-	-	-	-	-
B(r) B'2 H3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C(o,i) C' H2	-	-	-	-	-	-	7,4	27,2	-	-	-	-	-	-
B(r) C' H3	-	-	-	-	-	0,1	0,6	-	-	-	-	-	-	-
B(i) D' H3	-	-	2,4	0,2	1,6	-	11,0	-	-	-	-	15,2	6,6	-
L	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-
B(o,i) C' H3	-	-	3,7	1,2	3,6	-	14,4	-	-	-	-	-	-	-
D(o,i,p) B'2 H2	-	-	-	-	-	-	-	-	11,6	-	-	-	3,1	13,5
B(r) B'1 H4	-	-	-	3,0	-	-	8,5	-	-	-	-	-	-	-
E(d) B'1 H3	-	-	-	-	-	-	-	-	31,2	43,3	65,8	43,6	54,0	48,4
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Donde: N: Nevados, L: Lagos

3.1.3 Hidrología Superficial

El Perú cuenta con un territorio que abarca sólo el 0,87% de la superficie continental del planeta pero le corresponde casi el 5% de las aguas dulces del planeta. Esto, sin duda constituye una ventaja en términos de recurso, sin embargo la realidad nos dice que las aguas superficiales se distribuyen en forma desigual en el tiempo y a través del territorio (SENAMHI, 2015). Por otro lado, el relieve del Perú permite que cualquier gota de agua que drene su territorio lo haga únicamente en tres posibles direcciones: hacia el océano Pacífico, hacia el océano Atlántico o hacia el lago Titicaca.

Es por esta razón que hablamos de tres grandes conjuntos hidrográficos: La región hidrográfica del Pacífico, región hidrográfica del Amazonas y la del Titicaca. Cada una de ellas con características distintas. La Figura 3-3 muestra algunas características de los recursos hídricos en el Perú.



Figura 3-3 Característica de hidrología superficial
Fuente: WWF Perú & Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2015

Según (ANA, 2015), 2% de disponibilidad se presenta en la región hidrográfica del Pacífico, sin embargo existe una población de 63% en dicha región, el cual produce un PBI de 80%. Por otro lado, para la región hidrográfica del Atlántico presenta el 98% de agua disponible. Sin embargo cuenta con baja densidad de población de 34%. Por último, para la región hidrográfica del Titicaca presenta el 0.3% de la disponibilidad de agua y el 4% de la población.

Según el método del sistema Pfafstetter de codificación analítica, organizado, con características de aplicación global y sobre todo coherente con el territorio nacional, designado por la conformación por la Región Pacífico, Amazonas y Titicaca, con un total de 159 unidades hidrográficas (Resolución Ministerial N°033-2008-AG del 5 de enero de 2008).

Tabla 3-3 Unidades hidrográficas en el Perú

Región	Unidades Hidrográficas				Lago Titicaca (Perú)	Total	
	Cuenca		Intercuenca			Cantidad	Km ²
	Cantidad	Km ²	Cantidad	Km ²			
Pacífico	62	228 329	0	50 153	-	62	278 482
Amazonas	39	572 054	45	385 768	-	84	957 823
Titicaca	12	37 675	1	6 035	5 201	13	48 911
Total	113	838 058	46	441 956	5 201	159	1'285 216

3.2 Datos

3.2.1 Base de datos PISCO Pd v2.0

La base de datos PISCO producto de precipitación diaria (Pd v2.0), es información obtenida de la combinación de datos observados de las estaciones meteorológicas del SENAMHI (total 434 estaciones) con datos de precipitación de sensoramiento remoto. El producto PISCO v2.0 utiliza como covariable imágenes de satélite del CHIRP (“Climate Hazards Group InfraRed Precipitation”) producto de precipitación diaria el cual presenta una resolución espacial de ~0.05° (5 x 5 Km) y tiene una resolución temporal diaria, desde enero de 1981 al presente, incorpora procesos de control de calidad de datos que evalúa extremos con valores vecinos y quiebres; así como la completación de datos faltantes mediante la técnica de cut off, basada en una correlacional lineal con estaciones vecinas y cuantil mapping cuando las estaciones están muy lejanas.

El período del estudio comprende del 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre del 2016 y tienen una de 13149 archivos en formato ráster (GeoTIFF) y disponible en: <ftp://ftp.senamhi.gob.pe/>

3.2.2 Precipitación diaria observada

Datos de precipitación diaria proveniente de estaciones meteorológicas terrenas de una total de 339 estaciones distribuidas a nivel nacional, corresponden a la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, www.senamhi.gob.pe). La Figura 3-4 muestra la distribución espacial de las estaciones utilizadas en el presente Estudio.

Los datos de precipitación se encuentran disponibles para diversos periodos, dependiendo de las estaciones, el periodo común seleccionado para este Estudio es 1981-2016.

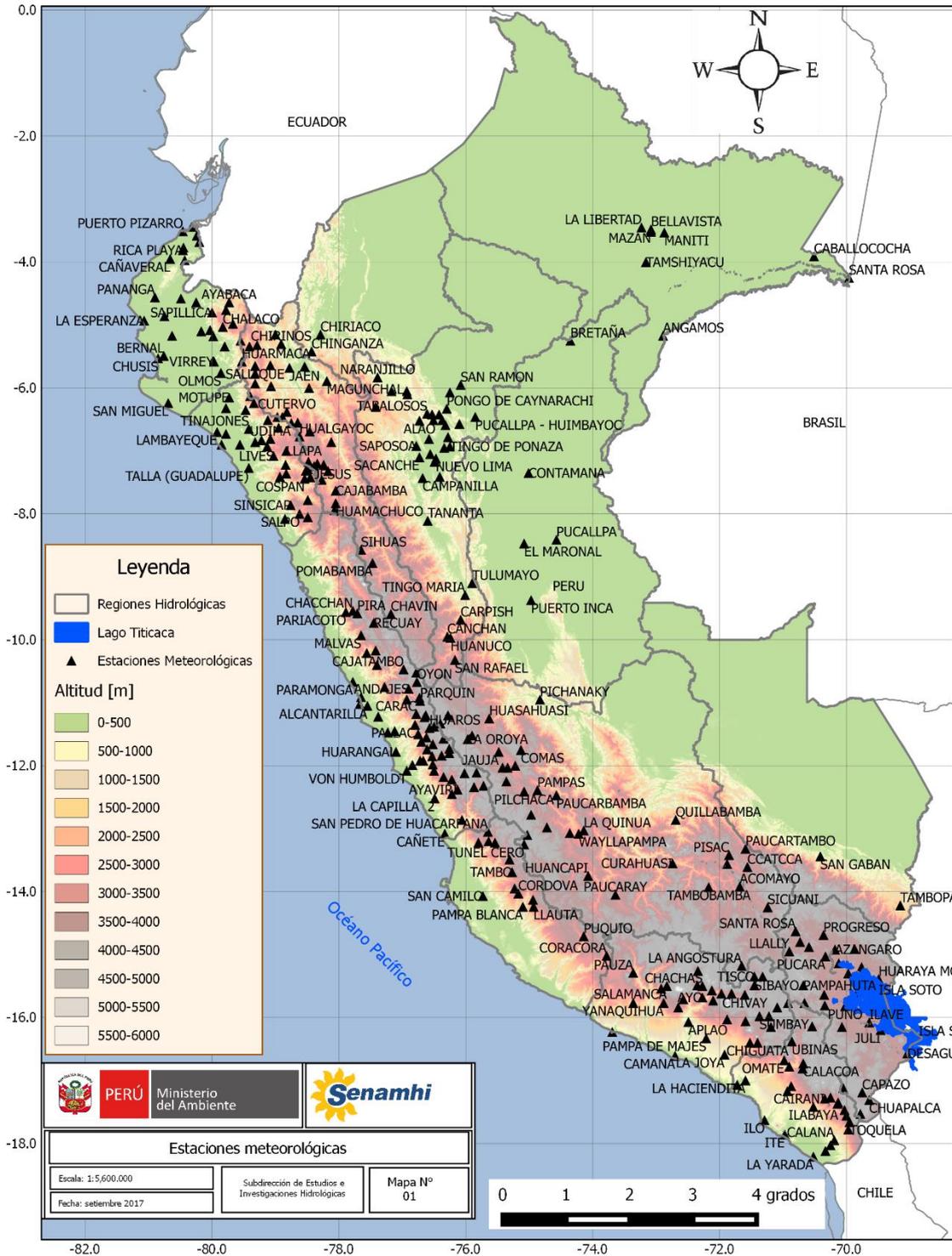


Figura 3-4 Distribución espacial de las 339 estaciones meteorológicas utilizadas

Fuente: Elaboración propia

3.3 Metodología

La metodología de trabajo consiste en 5 etapas:

Etapa 1. Selección de datos de precipitación de estaciones meteorológicas (datos observados): En este proceso se realizó una revisión de los datos observados de precipitación diaria para las 339 estaciones meteorológicas proporcionada por el área de hidrología del SENAMHI, de los cuales 218 estaciones tiene el 80% de datos, este total se utilizó para la validación de los datos de PISCO precipitación diario, asimismo se utilizó para la determinación de extremos de precipitación en las diferentes regiones hidrológicas.

Etapa 2. Validación de datos grillados (PISCO Pd v2.0) y observados de precipitación: Este proceso consistió en estimar diferentes medidas de comparación para cada punto de estación y su píxel respectivo, se seleccionó la grilla donde se situaba una estación meteorológica (218 veces), obteniendo dos series de tiempo de precipitación para los datos observados y simulados (PISCO Pd v2.0).

El **Anexo 1** presenta los indicadores estadísticos de comparación como el error de la raíz cuadrada del cuadrado de la media (RMSE), Porcentaje de Sesgo (PBIAS), Coeficiente de determinación (R^2), entre otros. Los cuales fueron aplicados a las series de precipitación de los datos observados y PISCO. Caso ejemplo: la estación meteorológica de SAPOSOA ubicada en el departamento de San Martín (Longitud 76°46'46'; Latitud 6°54'54' y Altura 312 msnm, cabe mencionar, que este proceso se realizó para todas las estaciones meteorológicas seleccionadas (218), asimismo, basado en la librería "hydroGOF" del Lenguaje de programación estadístico R (<https://cran.r-project.org/web/packages/hydroGOF/hydroGOF.pdf>).

Etapa 3. Análisis exploratorio de datos grillados de precipitación por regiones hidrológicas: se cálculos diferentes características estadísticas descriptivas de la precipitación diaria para los datos PISCO Pd v2.0 por regiones hidrológicas. Así mismo, se calculó el comportamiento mensual de precipitación por regiones hidrológicas.

Etapa 4. Caracterización de extremos máximos de precipitación utilizando percentiles: Esta etapa consiste en determinar los extremos de precipitación utilizando los percentiles 99, 90, 95, y 75 como umbrales para clasificar la lluvia extrema en el Perú. Del mismo modo, se caracterizó los eventos extremos de precipitación ilustrando su frecuencia en el territorio peruano.

Etapa 5. Estimación de parámetros utilizando teoría de valores extremos: En esta sección se estimó el parámetro de forma de las series de precipitación extrema máxima para cada píxel para el período de análisis. Se utilizó método de Block Máxima para calcular los máximos anuales de precipitación para cada año sobre los datos grillados de precipitación. Luego de este proceso se analizó el parámetro de forma y se seleccionó regiones homogéneas, 20 cuencas hidrológicas distribuidas en todo el Perú donde el parámetro de forma es homogéneo y donde se tiene mejores resultados de análisis de validación de los datos PISCO Pd v2.0.

Posteriormente, de estas nuevas regiones seleccionadas se determinó la lluvia máxima anual y se estimó los parámetros de distribuciones de extremos ajustando a la familia de la distribución GEV. Con el fin de determinar el tipo de distribución que mejor ajuste a los datos hidrológicos.

La Figura 3-5 presenta el flujograma metodológico para determinación de extremos de precipitación a partir del producto PISCO diario v2.

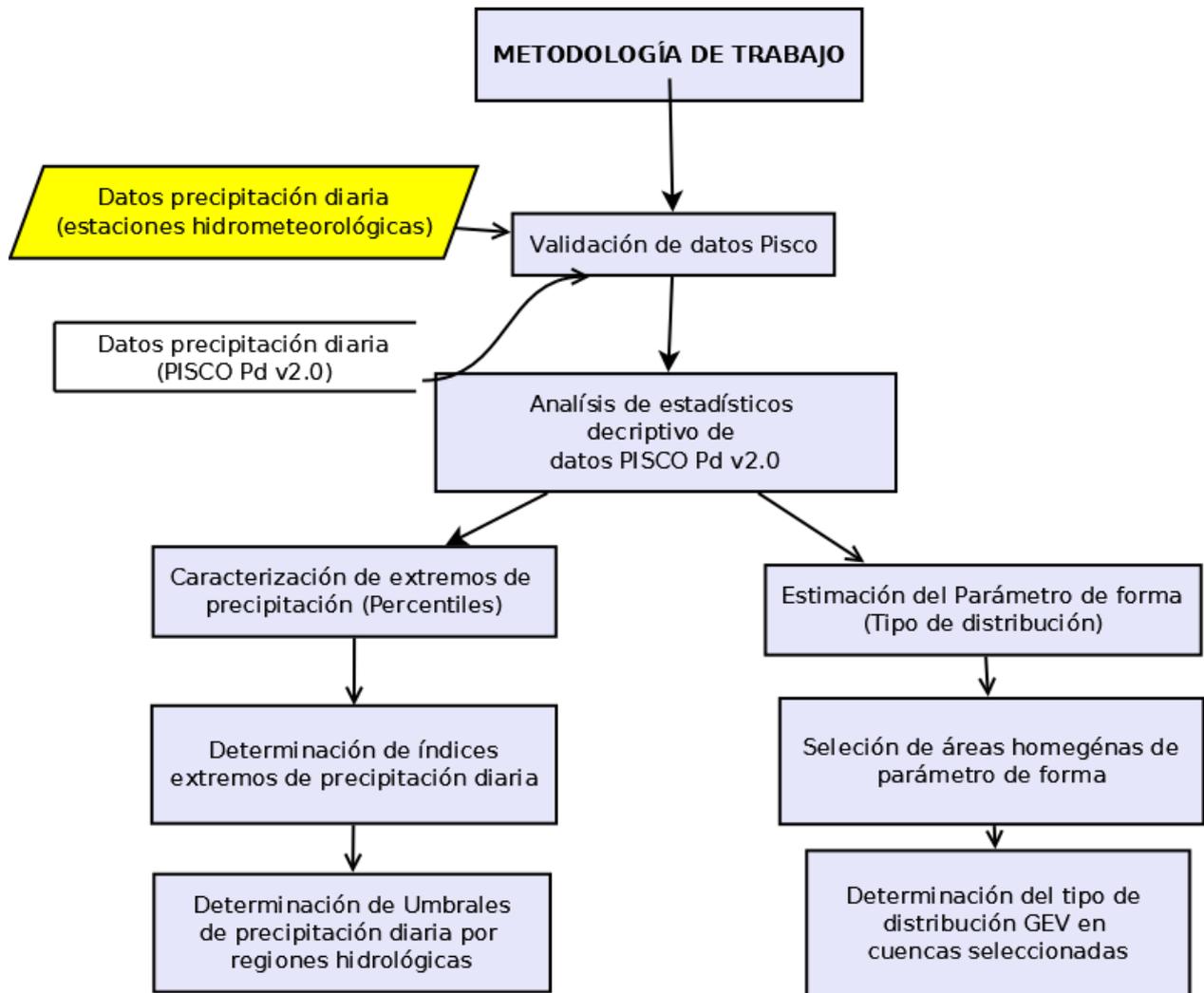


Figura 3-5 Diagrama de flujo de la metodología

Fuente: Elaboración propia

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Validación de los datos PISCO precipitación diaria con datos observado

El proceso de validación del producto PISCO Pd v2.0, consideró 4 indicadores de comparación: Error medio (ME), Error de la raíz cuadrada del cuadrado de la media (RMSE), Porcentaje de sesgo (PBIAS) y el Coeficiente de determinación (R^2), para ello se utilizó en total 218 estaciones distribuidas sobre las regiones hidrológicas del Perú. Este proceso consistió en seleccionar los valores de las series de tiempo de la precipitación diaria de las coordenadas geográficas de Latitud y Longitud de la estación y el píxel correspondiente donde se situaba dicha estación, para las 218 estaciones meteorológicas evaluadas.

En la Figura 4-1 se observa la distribución espacial de los indicadores estadísticos: ME, RMSE, PBIAS y R^2 obtenidos sobre el territorio nacional.

La Figura 4-1 (a) presenta el indicador de validación error medio (ME), se observa que en las regiones hidrológicas pertenecientes al Pacífico se tiene un ME de ± 1 mm en todas las estaciones. Por otro lado, en las regiones hidrológicas de Atlántico 7, 8, 9, y 12 se presentó ME menor a $-1,5$ mm (subestimación de PISCO respecto a los datos observados). Mientras, para el Atlántico 10, 11 y 13 presentó $-2,0$ a $1,0$ mm de ME, el cual significa la subestimación y sobreestimación de la precipitación media sobre estas regiones del PISCO Pd v2.0. La región hidrológica del Titicaca también presentó un ME de ± 1 mm.

La Figura 4-1 (b) presenta el indicador de validación error cuadrático medio (RMSE), los valores más pequeños significan mejor eficiencia de los datos PISCO Pd v2.0. En las regiones hidrológicas del Pacífico 1, 2 y 3 muestra valores bajos de RMSE. Mientras, en el Pacífico 4, 5 y 6 se observa valores ligeramente bajos del RMSE. Para las regiones hidrológicas pertenecientes al Atlántico se obtuvo de bajos a valores medios y en algunos casos muy altos del RMSE. Finalmente, en el Titicaca se obtuvo valores bajos del RMSE.

En la Figura 4-1 (c) presenta el indicador de validación de Porcentaje de sesgo (PBIAS), esta medida nos permite cuantificar la precisión de los datos PISCO Pd v2.0 con los datos observados. Se observa que para las diferentes regiones hidrológicas el PBIAS es muy variable sobre todo en las regiones del Pacífico, y Atlántico mientras, en el Titicaca los valores son más homogéneos. Los valores debajo de cero significan subestimación de la precipitación y los valores positivos sobreestimación. Asimismo, los cuadrados turquesas y verdes (-10% a 10%) manifiestan mejor precisión de los datos PISCO.

Finalmente, la Figura 4-1 (d) muestra el coeficiente de determinación R^2 como indicador de validación de los datos PISCO Pd. v2.0, el cual nos indica la proporción de la varianza de una variable predecible respecto a otra. Se observa que los círculos más grandes se aproximan más a la unidad y por lo tanto se ajustan mejor a los datos observados, mientras los círculo pequeños no. En general, para todas las regiones hidrográficas del Pacífico, Atlántico y el Titicaca se observa valores mayores a 0.5 de R^2 a excepción de algunas estaciones, sobretodo en el Atlántico 8, 9 y 12 que tienen poco número de estaciones que validar.

El análisis, se concluye que PISCO Pd. v2.0 presenta una mejor representación de la precipitación diaria en las 6 regiones hidrológicas del Pacífico, Atlántico 10, Atlántico 11, Atlántico 13 y la región hidrológica del Titicaca, resumiéndose en un total de 10 regiones hidrológicas. Por lo tanto, los datos PISCO diario v2 explican en promedio el 68.8 % de la precipitación observada.

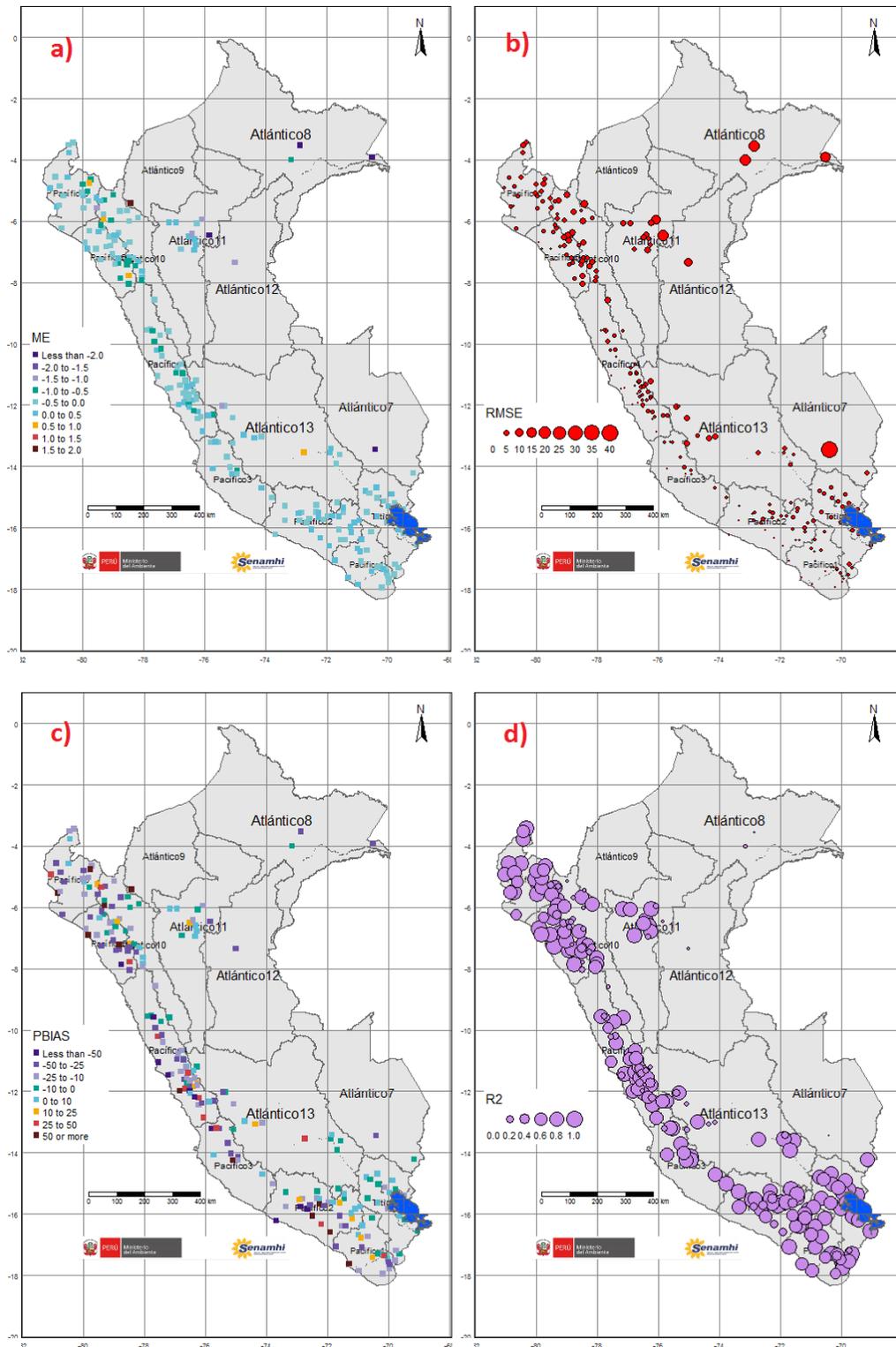


Figura 4-1 Validación del producto PISCO Pd v2.0, (a) Error medio (me), (b) Error cuadrático medio (RMSE), (c) Porcentaje de sesgo (PBIAS) y (d) Coeficiente de determinación (R2)

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis exploratorio de PISCO Pd v2.0 precipitación diaria por regiones hidrológicas

El análisis exploratorio de datos PISCO Pd v2.0 consistió en el cálculo de la precipitación promedio areal para cada día del período de 1981 al 2016 (13149 ráster), con el fin de representar las características estadísticas principales de la precipitación diaria por regiones hidrológicas. Se aplicó distintos métodos estadístico como el diagrama de cajas para visualizar las medidas estadísticas descriptivas y observar la presencia de datos atípicos y extremos, también se calculó los histogramas de frecuencia, análisis normalidad y umbrales de precipitación utilizando percentiles.

4.2.1 Diagrama de cajas de precipitación diaria por regiones hidrológicas

La Figura 4-2 presenta el diagrama de cajas para las Regiones Hidrológicas del Pacífico (RHP), se observa la presencia de datos extremos máximos, obteniendo casi 50 mm de precipitación acumulada en 1 día en promedio para la región hidrográfica del Pacífico 6 (ubicado al norte del Perú, departamentos de Tumbes y Piura). Además, también en todas las regiones no se observa una distribución normal o gaussiana, propio del comportamiento de la lluvia.

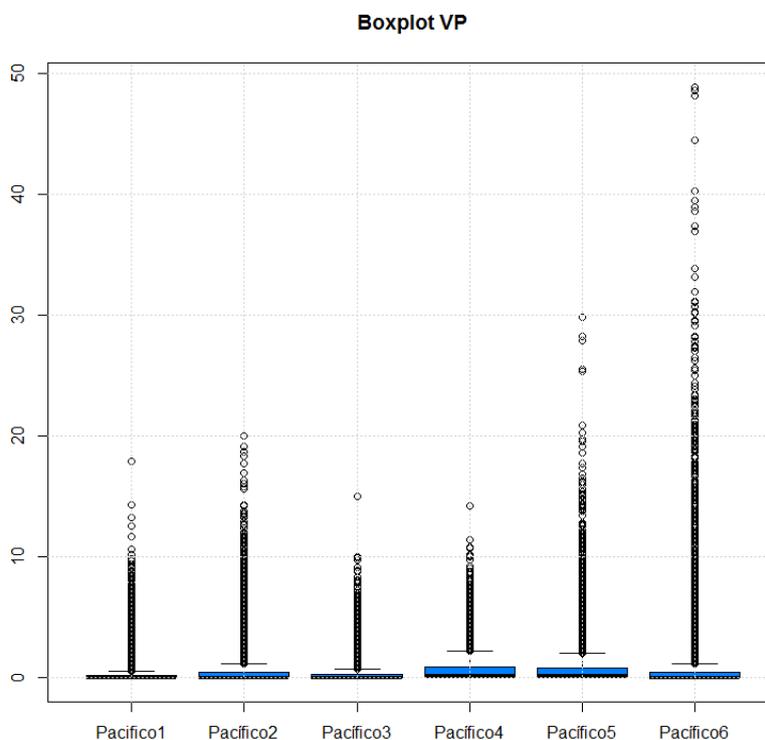


Figura 4-2 Diagrama de cajas en la Región Hidrográfica del Pacífico

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-3 muestra los diferentes diagramas de caja para las 7 Regiones Hidrológicas del Amazonas (RHA). Para el Atlántico 7, 8 y 9 se distribuyen los datos de forma similar para cada región asimismo, se observa la presencia de extremos máximos de precipitación obteniendo más de 200 mm de precipitación para el Atlántico 9. También se observa que el valor de la mediana es cercano a cero. Para el Atlántico 10, se observa que el extremo máximo no logra alcanzar los 50 mm de precipitación.

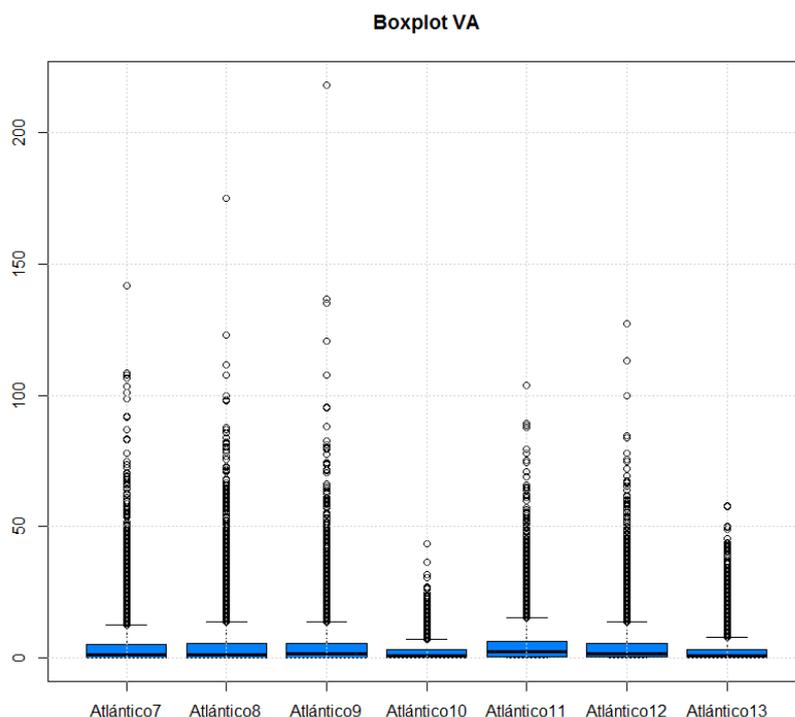


Figura 4-3 Diagrama de cajas en la Región Hidrográfica del Amazonas

Fuente: Elaboración propia

Para la región hidrográfica del Titicaca (**RHT**) (Figura 4-4), se observa la presencia de extremos máximos, la mediana alrededor de cero y una lluvia extrema de 35 mm.

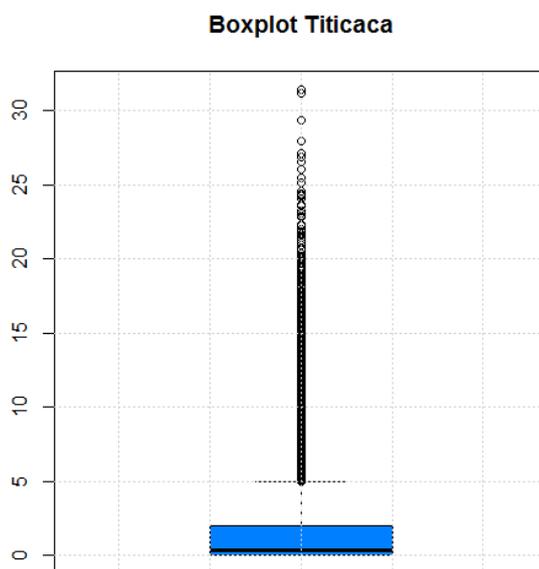


Figura 4-4 Diagrama de cajas en la Región Hidrográfica del Titicaca

Fuente: Elaboración propia

En general, los box plot muestran la variabilidad de la precipitación, e indican que en la RHA es muy fuerte a excepción de la Atlántico 10 y 13, en relación también a la RHP y RHT.

4.2.2 Histogramas de frecuencia de la precipitación diaria por regiones hidrológicas

A continuación en las Figuras 4-5, 4-6 y 4-7 presentan los histogramas de frecuencia para las 14 regiones hidrológicas del Perú.

La Figura 4-5 muestra los histogramas de frecuencia en porcentajes para las **RHP**, en la mayoría de las regiones se observa una distribución asimétrica sesgada a la derecha, esto muestra la existencia de valores extremos máximos con baja probabilidad de ocurrencia.

Asimismo, el histograma de frecuencia (**HF**) para el Pacífico 1 varía en precipitación diaria de 0 a 18 mm y más del 75% de los datos se encuentran cercanos a 0 mm. Para el Pacífico 2 varía de 0 a 20 mm de precipitación y más del 75% de los datos también se encuentran cercanos a 0 mm. Para las regiones hidrológicas Pacífico 3 y 4 la precipitación diaria varía entre 0 a 15 mm y más del 75% de los datos se encuentran cercanos a 0 mm. Mientras, el Pacífico 5 varía de 0 a 30 mm en precipitación diaria y más del 80% de los datos se encuentran cercanos a 0 mm. Por último, el Pacífico 6 varía de 0 a 50 mm y más del 75 % de los datos se encuentran cercanos a 0 mm.

La Figura 4-6 muestra **HF** para **RHA**, las cuales se caracterizan por tener más intervalos de frecuencia y valores más altos de precipitación en comparación con las **RHP**. Para las regiones del Atlántico 7, 8 y 9 los histogramas son muy parecidos que el 50 % de los datos son cercanos a 0 a 10 mm y la precipitación diaria varía de 0 a 200 mm. Para el Atlántico 11 y 12, más del 50% de los datos se encuentra entre 0 a 10 mm y la precipitación diaria varía de 0 a 130 mm. Por último, **HF** para el Atlántico 10 y 13 tienen menor número de intervalos y casi el 60% de los datos son cercanos a 0 mm y la precipitación diaria varía de 0 a 60 mm.

Para la **RHT** (Figura 4-7), más del 60% de los datos se encuentran cercanos a 0 mm. Asimismo, la precipitación diaria varía de 0 a 32 mm.

Para más detalle de las características estadísticas descriptivas de las 14 RH del Perú se realizó una tabla resumen (Tabla 4-1). En ella se observa los estadísticos como: el mínimo, el valor medio, la mediana, el rango intercuartil, el valor máximo y el coeficiente de variación intercuartílico de la precipitación diaria.

Se concluye que los histogramas para las tres regiones hidrográficas informan, entre otras cosas, sobre la forma de la variable asimétrica sesgada a la izquierda. El histograma muestra que una gran proporción de casos ocurre en menores de 5 mm para las tres regiones y que la proporción desciende a medida que aumenta la lluvia.

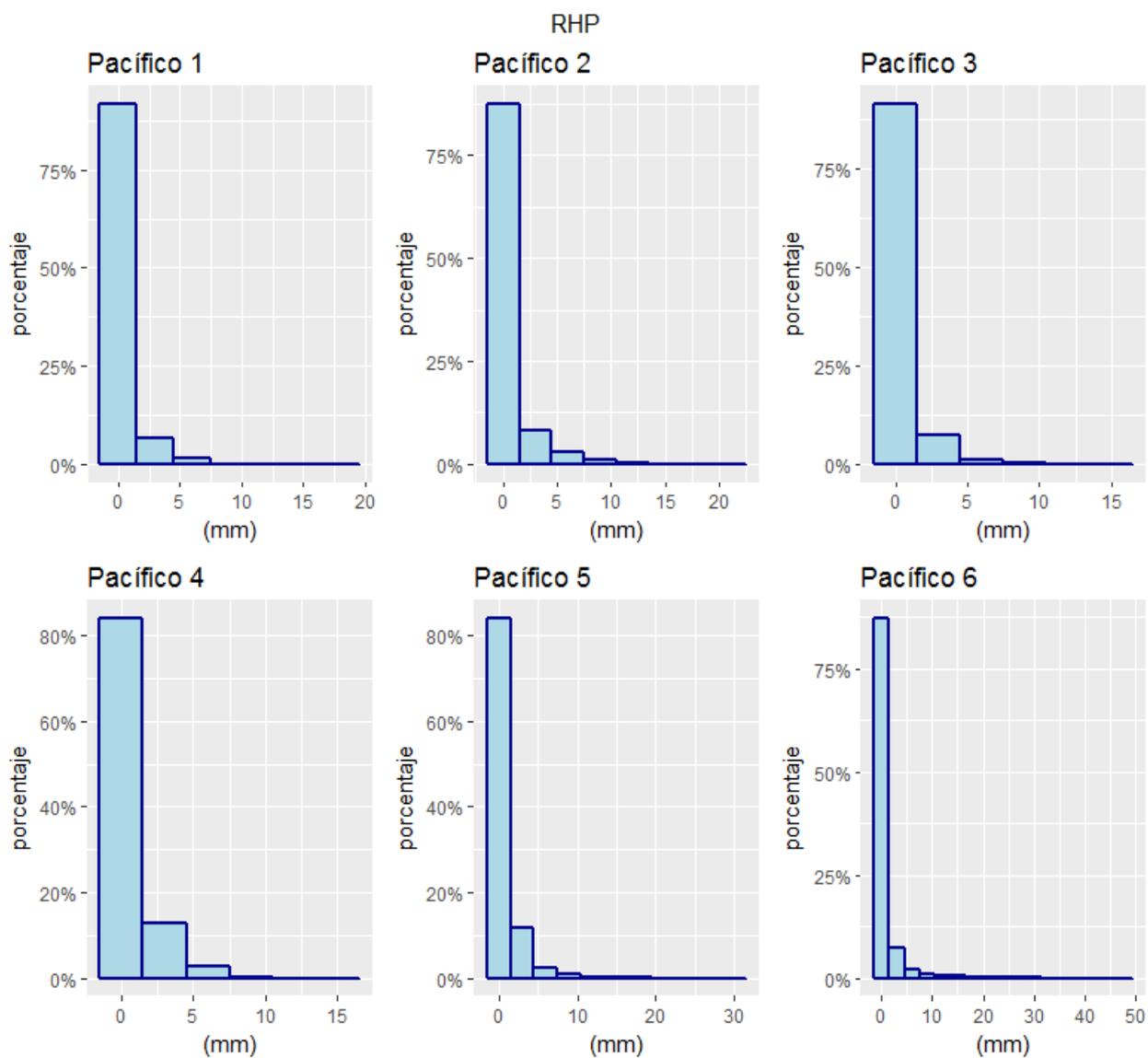


Figura 4-5 Histograma de frecuencia para la Región hidrográfica del Pacífico
Fuente: Elaboración propia

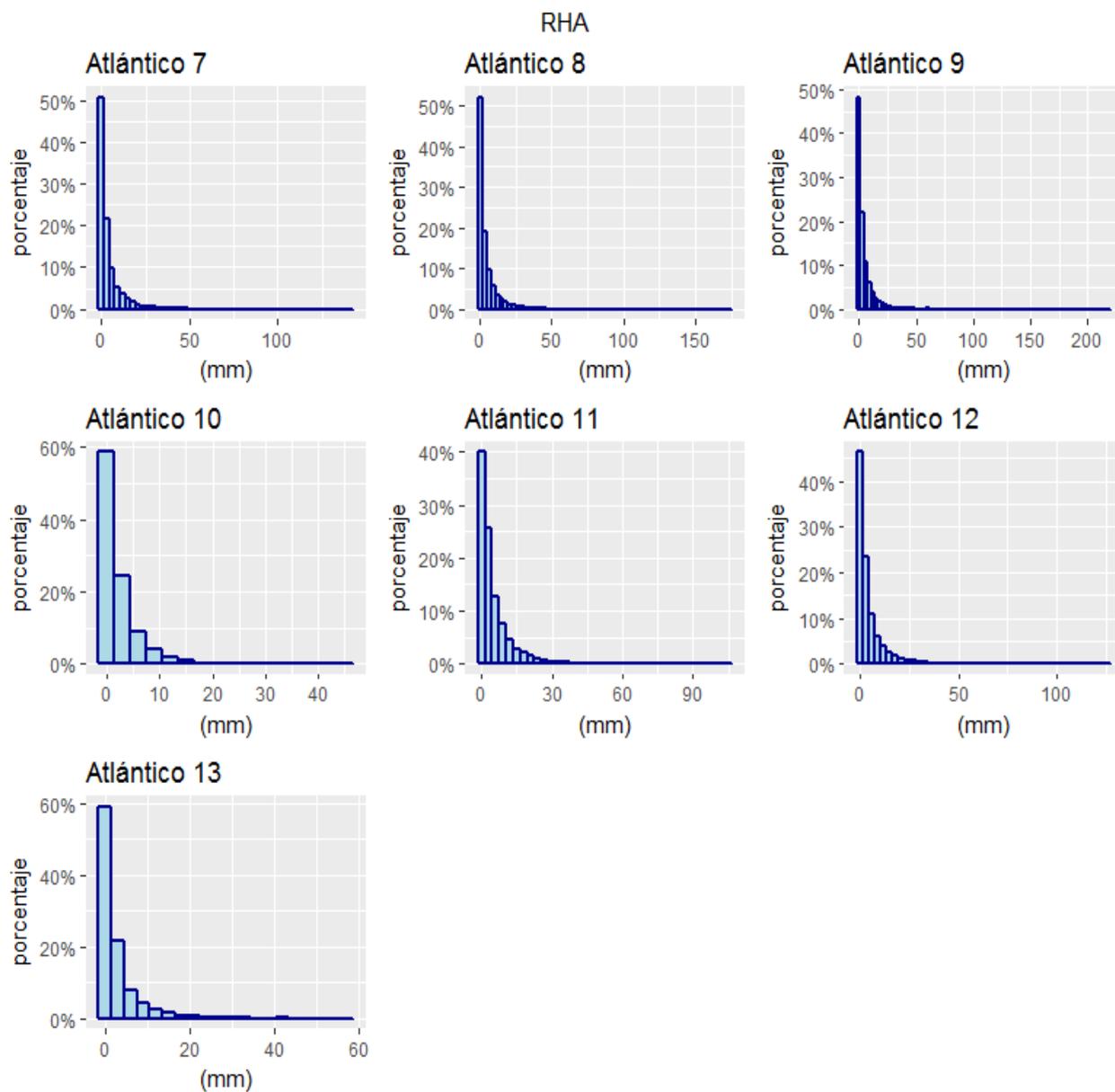


Figura 4-6 . Histograma de frecuencia para la Región hidrográfica del Amazonas

Fuente: Elaboración propia

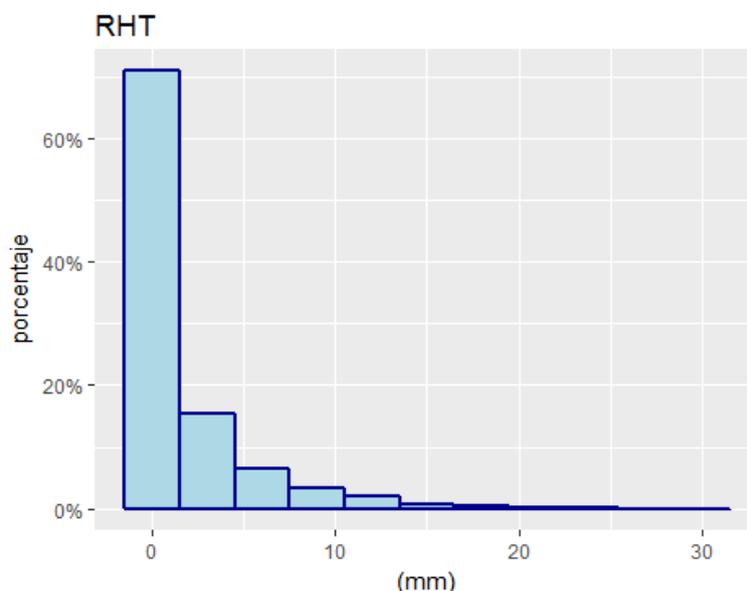


Figura 4-7. Histograma de frecuencia para la Región hidrográfica del Titicaca

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-1 Características estadísticas descriptivas por regiones hidrológicas del Perú

N°	Regiones Hidrológicas	Mínimo	Media	Mediana	Rango Intercuartílico	Máximo	Coficiente de Variación Intercuartílico
1	Pacífico 1	0,0	0,4	0,0	0,2	17,9	1,0
2	Pacífico 2	0,0	0,7	0,1	0,5	20,0	1,0
3	Pacífico 3	0,0	0,4	0,0	0,3	15,0	1,0
4	Pacífico 4	0,0	0,8	0,2	0,9	14,2	0,9
5	Pacífico 5	0,0	0,8	0,2	0,8	29,8	0,9
6	Pacífico 6	0,0	0,9	0,1	0,4	48,9	1,0
7	Atlántico 7	0,0	4,6	1,4	5,0	141,8	0,9
8	Atlántico 8	0,0	4,8	1,3	5,5	175,0	1,0
9	Atlántico 9	0,0	4,7	1,7	5,5	218,2	0,9
10	Atlántico 10	0,0	2,3	1,0	2,8	43,6	0,9
11	Atlántico 11	0,0	5,0	2,4	5,8	103,6	0,8
12	Atlántico 12	0,0	4,6	1,8	5,3	127,2	0,9
13	Atlántico 13	0,0	2,9	0,9	3,1	58,1	0,9
14	Titicaca	0,0	1,9	0,3	2,0	31,4	1,0

4.2.3 Análisis de normalidad de la precipitación diaria por regiones hidrológicas

Para evaluar la normalidad de la serie de tiempo de precipitación diaria de las regiones hidrológicas se utilizó graficas de QQ-plot. Para las 14 series de tiempo de precipitación, se demostró que no siguen una distribución normal y todas presentan valores atípicos y valores extremos.

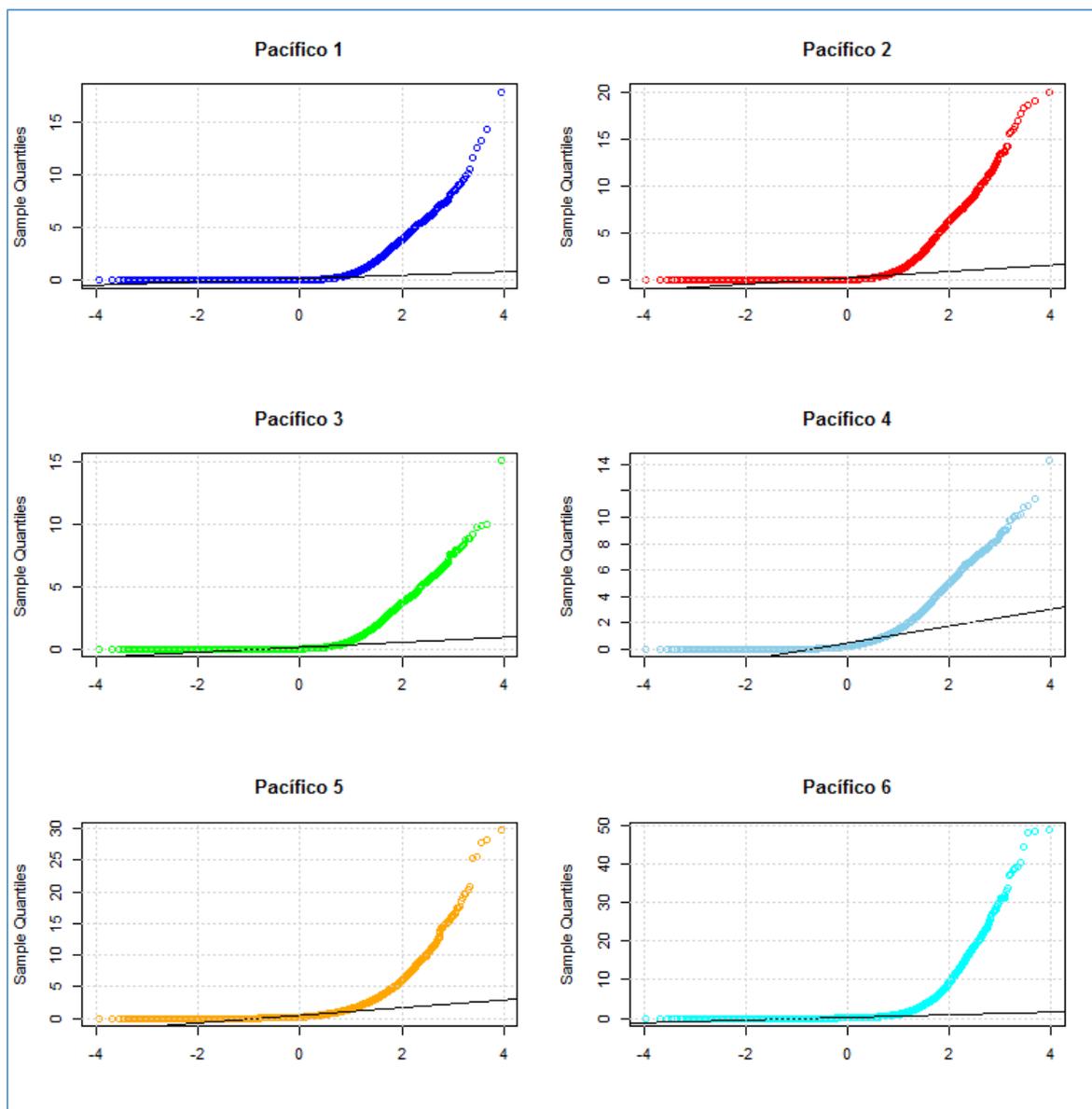


Figura 4-8 QQ-plot, Región hidrográfica del Pacífico

Fuente: Elaboración propia

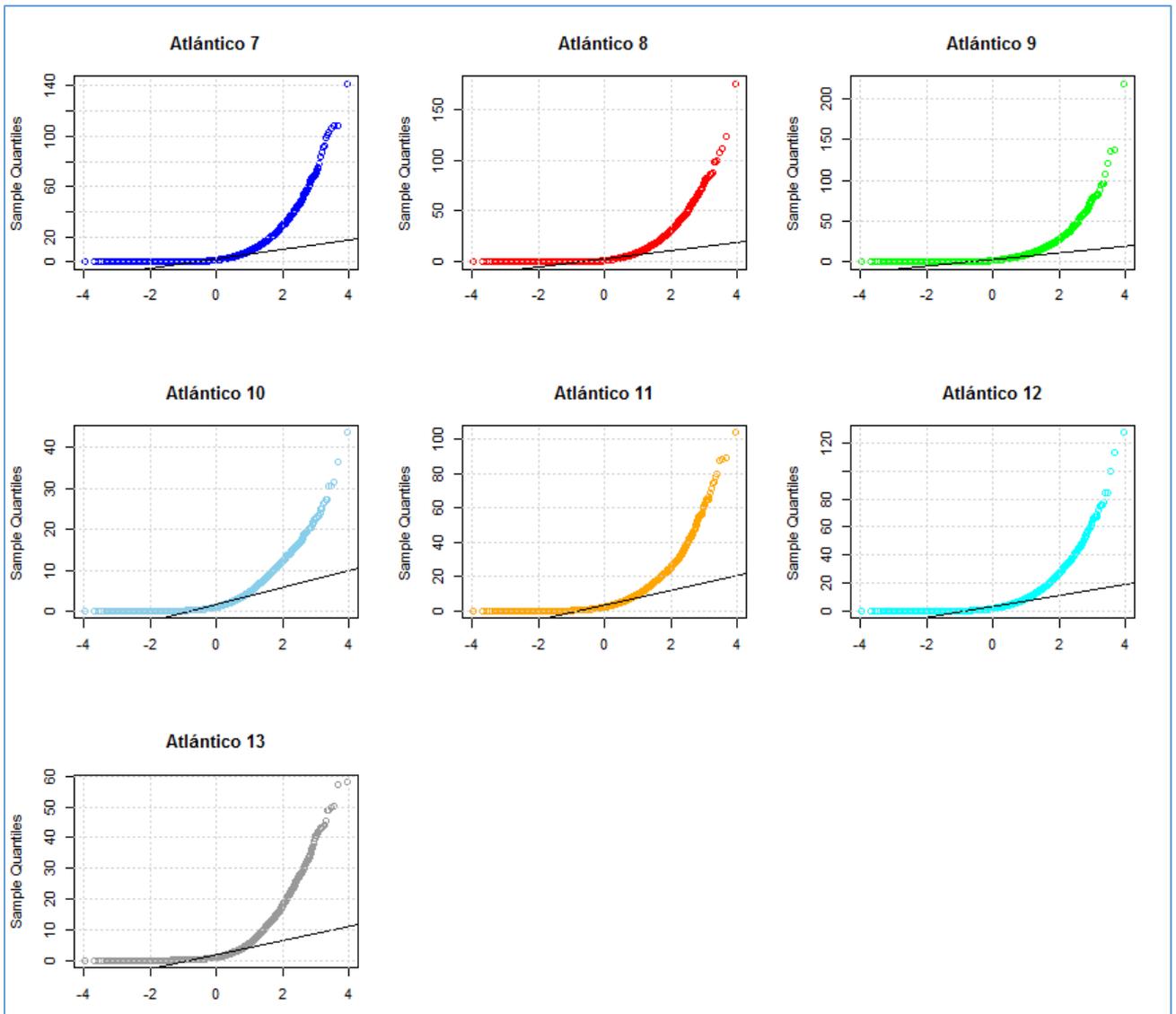


Figura 4-9 QQ-plot, Región Hidrográfica del Amazonas
Fuente: Elaboración propia

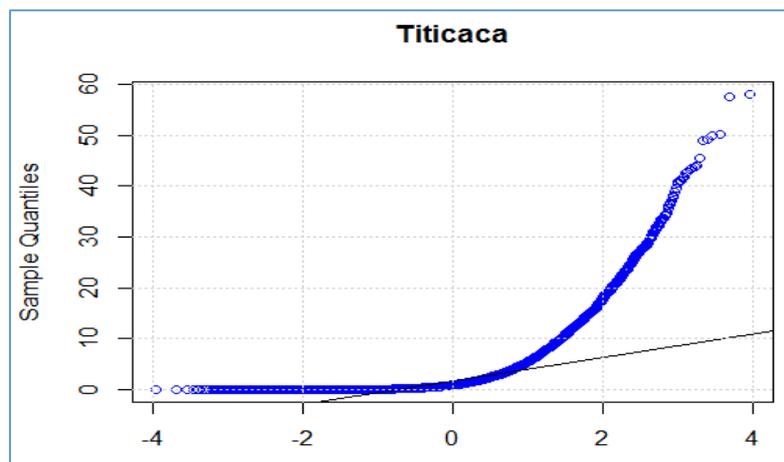


Figura 4-10 QQ-plot, Región Hidrográfica del Titicaca
Fuente: Elaboración propia

Finalmente el análisis exploratorio de datos de PISCO Pd. v2.0 confirma la variabilidad de la precipitación diaria, como la existencia de valores muy extremos sobretodo máximos de precipitación y el alto porcentaje de la ausencia de precipitación por región hidrológica. Asimismo, la precipitación diaria no se distribuye normalmente típica de esta variable.

4.3 Caracterización de extremos de precipitación utilizando percentiles

La caracterización de la precipitación máxima diaria en Perú (Figura 4-11) para el período 1 enero del 1981 al 31 de diciembre del 2016, muestra la distribución espacial de las precipitaciones máximas sobre las 14 regiones hidrológicas.

Para la **RHP** la precipitación máxima varía de 0 a 90 mm, a excepción del Pacífico 5 y 6 que varía de 0 a 200 mm de precipitación.

Para la **RHA** la precipitación máxima diaria varia de 0 a 1277 mm. Entre los 1000 a 1277 mm se presenta al sur del departamento de Madre de Dios.

Y para la **RHT** varía de 0 a 60 mm de precipitación máxima diaria.

Así, la Figura 4-12 muestra los valores de umbrales para P75, P90, P95 y PP99 para los datos PISCO Pd v2.0 como es de esperarse se observa que los valores de los percentiles se incrementan acorde como se incrementan sus valores.

Espacialmente los mayores valores de umbrales de precipitación se localizan en la **RHA** y en el norte de la **RHP**. Asimismo, los valores de bajos de umbrales de precipitación se localizan en la zona central y sur de **RHP**. Cabe resaltar que al percentil 75, la precipitación diaria varía de 0 a 30 mm localizados hacia el Atlántico 11, 12,8 y 7 principalmente.

Para resumir la distribución espacial de la precipitación máxima diaria y umbrales de precipitación, se presenta los valores extremos alcanzados por regiones hidrológicas (Tabla 4-2 a 4-15), cabe mencionar que para todas las regiones se caracterizan por ser extremadamente lluvioso para percentil 99.

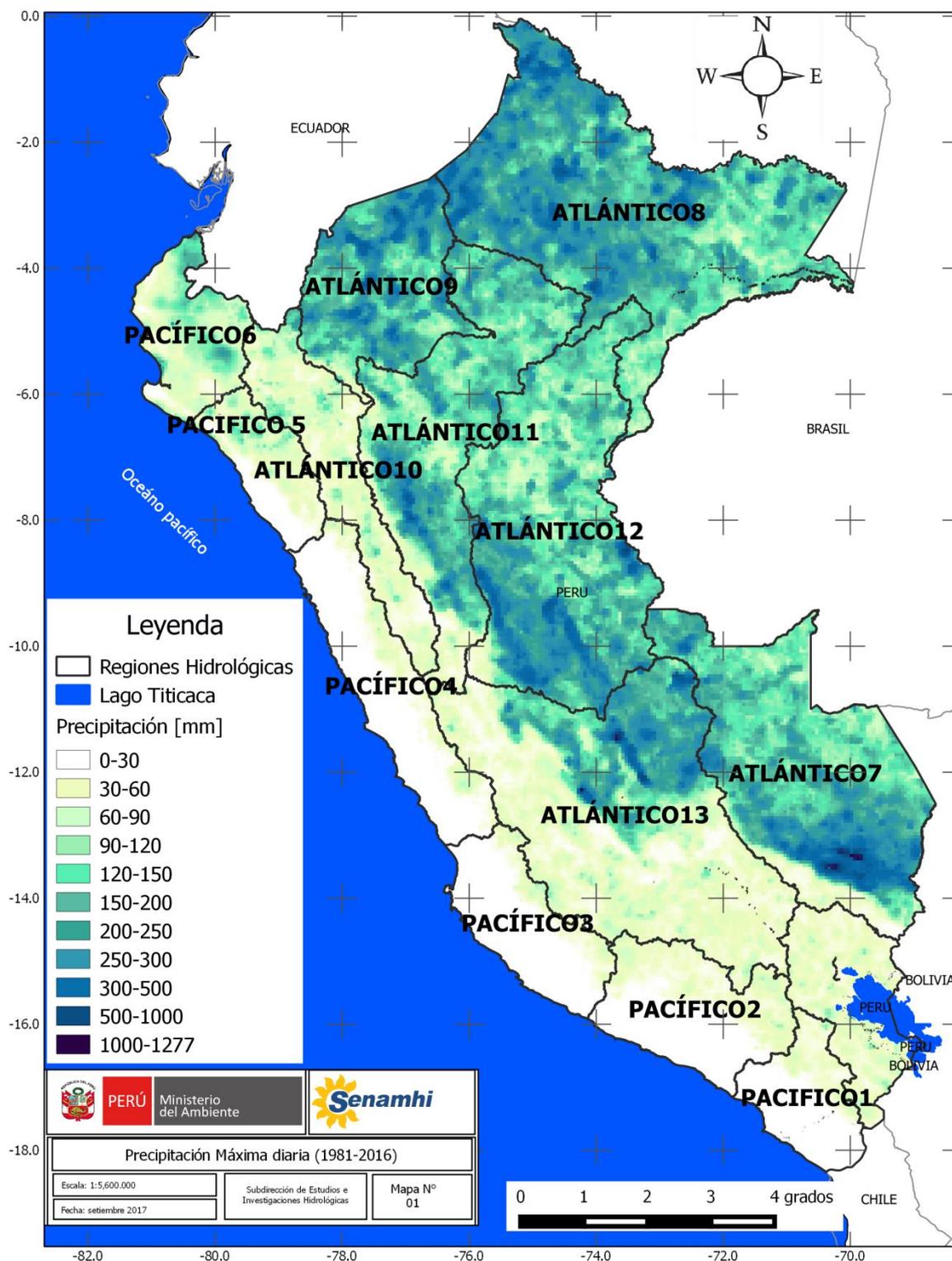


Figura 4-11 Precipitación máxima diaria (PISCO Pd. v2.0, 1981-2016)

Fuente: Elaboración propia

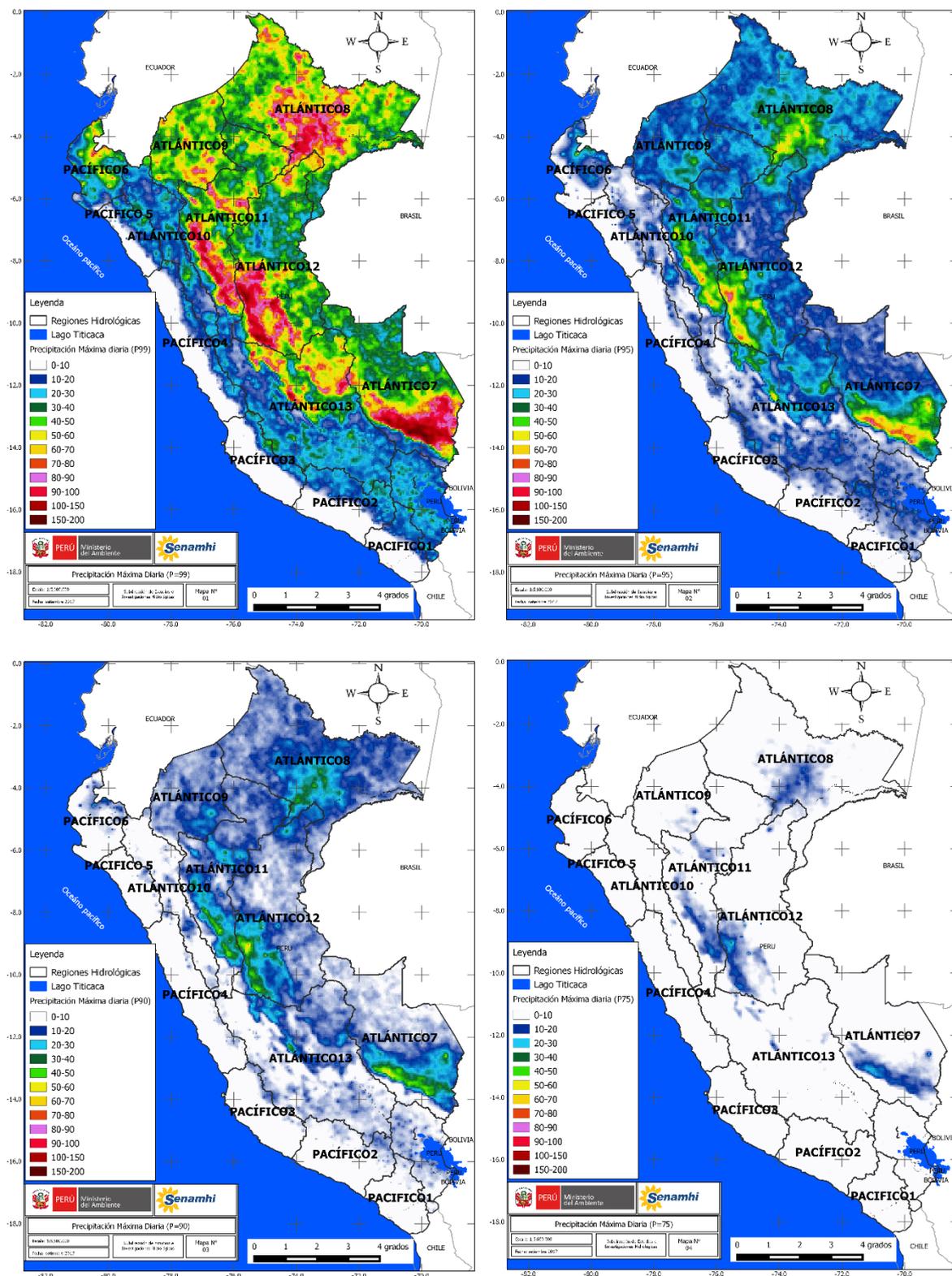


Figura 4-12 Umbrales de precipitación máxima diaria (PISCO Pd. V2.0, 1981-2016)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-2. Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 1

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día > 10,7	Pacífico 1	24,3
2	Muy lluvioso	95p <RR/día ≤99p	6,1<RR/día ≤10,7		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	4,3<RR/día ≤6,1		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	2,0<RR/día ≤4,3		

Tabla 4-3 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 2

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día > 15,4	Pacífico 2	34,7
2	Muy lluvioso	95p <RR/día ≤99p	8,9 RR/día ≤15,4		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	6,2 RR/día ≤8,9		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	2,8 RR/día ≤6,2		

Tabla 4-4 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 3

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día > 9,6	Pacífico 3	22,7
2	Muy lluvioso	95p <RR/día ≤99p	5,5 RR/día ≤9,6		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	3,8 RR/día ≤5,5		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	1,8 RR/día ≤3,8		

Tabla 4-5 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 4

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día > 10,6	Pacífico 4	25,5
2	Muy lluvioso	95p <RR/día ≤99p	6.3 RR/día ≤10,6		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	4.5 RR/día ≤6,3		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	2.2 RR/día ≤4,5		

Tabla 4-6 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 5

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día > 17,1	Pacífico 5	59,3
2	Muy Iluvioso	95p <RR/día ≤99p	7,7 RR/día ≤17,1		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	4,8 RR/día ≤7,7		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	2,0 RR/día ≤4,8		

Tabla 4-7 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Pacífico 6

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día > 38,1	Pacífico 6	98,1
2	Muy Iluvioso	95p <RR/día ≤99p	16,1 RR/día ≤38,1		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	8,8 RR/día ≤16,1		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	2,7 RR/día ≤8,8		

Tabla 4-8 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 7

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día > 60,0	Atlántico 7	226,1
2	Muy Iluvioso	95p <RR/día ≤99p	28,4 RR/día ≤60,0		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	18,5 RR/día ≤28,4		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	8,3 RR/día ≤18,5		

Tabla 4-9 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 8

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día > 60,4	Atlántico 8	253,3
2	Muy Iluvioso	95p <RR/día ≤99p	29,5 RR/día ≤60,4		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	19,4 RR/día ≤29,5		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	9,2 RR/día ≤19,4		

Tabla 4-10 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 9

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día > 53,4	Atlántico 9	256,6
2	Muy Lluvioso	95p <RR/día ≤99p	24,9 RR/día ≤53,4		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	16,3 RR/día ≤24,9		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	7,8 RR/día ≤16,3		

Tabla 4-11 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 10

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día > 25,7	Atlántico 10	72,8
2	Muy Lluvioso	95p <RR/día ≤99p	14,3 RR/día ≤25,7		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	9,9 RR/día ≤14,3		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	4,8 RR/día ≤9,9		

Tabla 4-12 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 11

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día >56,8	Atlántico 11	180,1
2	Muy Lluvioso	95p <RR/día ≤99p	29,6 RR/día ≤56,8		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	20,0 RR/día ≤29,6		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	9,5 RR/día ≤20,0		

Tabla 4-13 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 12

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día >57,6	Atlántico 12	214,9
2	Muy Lluvioso	95p <RR/día ≤99p	28,8 RR/día ≤57,6		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	19,2 RR/día ≤28,8		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	8,9 RR/día ≤19,2		

Tabla 4-14 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Atlántico 13

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día >38,1	Atlántico 13	125,1
2	Muy Lluvioso	95p <RR/día ≤99p	19,8 RR/día ≤38,1		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	13,5 RR/día ≤19,8		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	6,3 RR/día ≤13,5		

Tabla 4-15 Umbrales de Precipitación para la región hidrográfica del Titicaca

N°	Caracterización de Lluvia Extrema	Umbrales de Precipitación (mm)		Región Hidrológica	Precipitación Máxima diaria (mm)
1	Extremadamente Lluvioso	RR/día > 99p	RR/día >28.3	Titicaca	61,3
2	Muy Lluvioso	95p <RR/día ≤99p	17,2 RR/día ≤28,3		
3	Lluvioso	90p <RR/día ≤95p	12,5 RR/día ≤17,2		
4	Moderadamente Lluvioso	75p <RR/día ≤90p	6,4 RR/día ≤12,5		

4.4 Variabilidad espacial del parámetro de forma de la distribución GEV

Acorde a varios estudios, los extremos diarios de precipitación siguen una distribución del tipo 2 (para la cola pesada superior; $\xi > 0$ (Koutsoyiannis D., 2004). Dicha distribución también representa el bajo riesgo en estructuras de ingeniería.

Para el diseño hidráulico principalmente, los valores considerados, son más altos, y la distribución del tipo 1 y 3. (Wilson & Toumi, 2005) presentan evidencia de un parámetro de forma universal y es sostenido en (Veneziano, Langousis, & Lepore, 2009), quienes sugieren un parámetro de forma universal debe depender de la duración.

(Koutsoyiannis, 2004) estudió el parámetro de forma usando varios métodos de estimación e indica el valor de $\xi > 0,15$ como apropiado para áreas de latitudes medias del hemisferio norte. (Wilson & Toumi, 2005) encontró un parámetro de forma de $\xi > 0.10$ cuando se ajustan datos de precipitación diaria de largo periodo en Europa.

Para estudiar de la distribución espacial del parámetro de forma en el Perú, se utilizó el método de estimación de máxima verosimilitud (**MLE**, por sus siglas inglés) (P. Prescott A. T. Walden, 1980).

La Figura 4-13 (a) representa la estimación del parámetro de forma a una resolución espacial de 5 x 5 km de datos grillados PISCO Pd. v2.0.

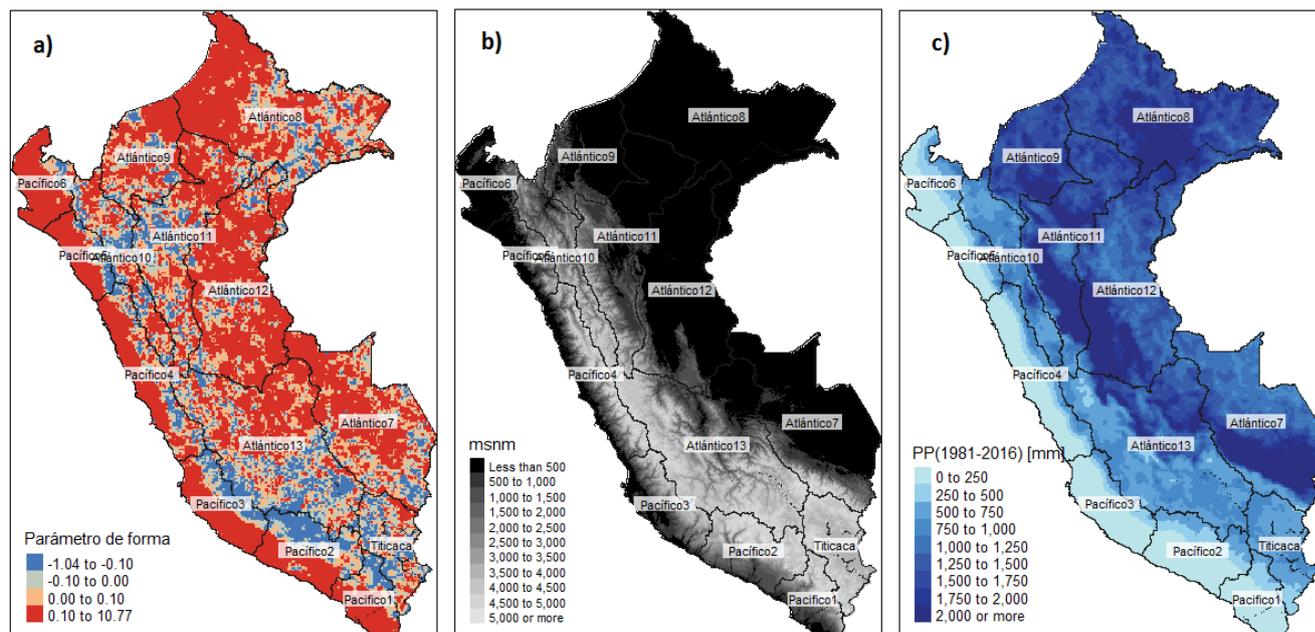


Figura 4-13 (a) Estimación del parámetro de forma, los colores rosados y rojos son valores positivos del parámetro de forma, mientras los azules son valores negativos; (b) Elevación (msnm); (c) precipitación multianual promedio 1981-2016.

Fuente: Elaboración propia

En la **RHP** se observó, parámetro de forma ($\xi > 0$) positivos, sobre todo en la parte baja y media de dichas regiones. Mientras, en **RHA** también es variable ξ , y para la **RHT** del mismo modo se repite la variabilidad del ξ . En síntesis, el ξ es positivo en la costa y algunas zonas de la selva peruana y negativo en la sierra.

Si analizamos las Figuras 4-13 (a) y (b) se observa que existe una fuerte relación entre la Elevación y el parámetro de forma. Las zonas donde los valores del parámetro forma son positivos indican alturas menores a 1500 msnm, esto en principio nos indicaría que en estas áreas los extremos de precipitación tienen una distribución del tipo 1 o tipo 2. Mientras, las áreas con valores negativos del parámetro de forma tienden a pertenecer a una distribución del tipo 3, algunas zonas de la **RHA** y **RHT**.

La Figura 4-13 (c) representa la precipitación multianual promedio desde 1981 al 2016 (**PN**) especializada en todo el Perú. Como es de esperarse, la **PN** varía de 0 a 500 mm en la **RHP**, de 500 a 2500 mm en la **RHA** y de 250 a 1000 mm en la **RHT**. Asimismo, comparando con el ξ (Figura 4-13 (a)), para bajas precipitaciones el ξ es positivo en la **RHP**. Sin embargo, en la **RHA** donde la **PN** tiene valores altos el ξ es variable, esto en principio indicaría que bajas precipitaciones no necesariamente indican ξ positivos, distribución del Tipo 2 y altas precipitaciones ξ negativo (Tipo 3).

Por otro lado, una interrogante que surge del análisis espacial del ξ es *¿Qué tipo de distribución de eventos extremos máximos de precipitación predomina en el Perú?*, para responder esta interrogante se realizó un histograma de frecuencias del parámetro de forma, mostrada en la Figura 4-14.

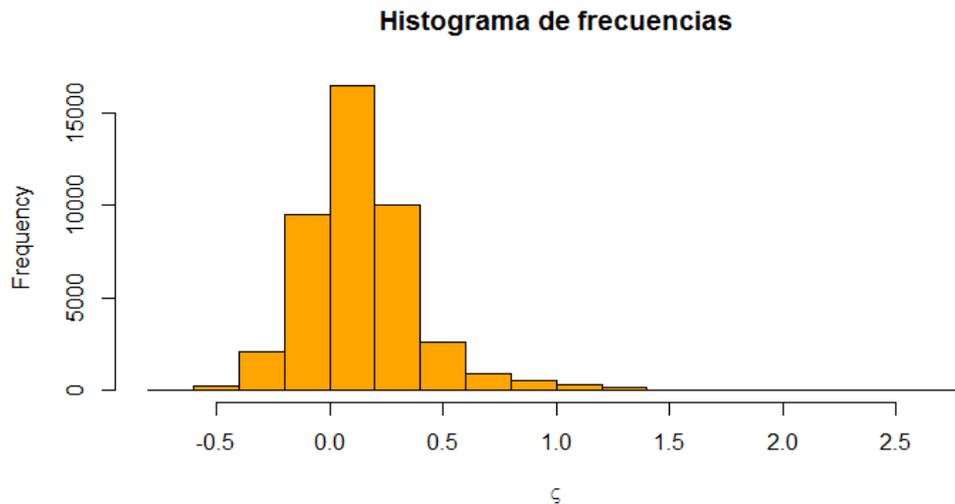


Figura 4-14 Distribución de frecuencias del parámetro de forma en el Perú (n= 92964)

Fuente: Elaboración propia

El histograma de frecuencias, **HF** para el ξ en el Perú y $n=92\ 964$ representa el número de grillas. Se observó que predominan las distribuciones del tipo 1 y 2. Asimismo, El 38,7% del área espacial del Perú tiene de $0 < \xi < 0,25$, el 22,3% tiene un rango de $-0,25 < \xi < 0$, estos porcentajes son los más altos, mientras el porcentaje restante del área especial del Perú tienen valores del ξ fuera de estos intervalos.

Para verificar a detalle la relación entre el parámetro de forma y el comportamiento espacial de la PN, se realizó un análisis de dispersión entre las dos variables (Figura 4-15) del cual, se observó que para cantidades bajas precipitación el ξ varía de -0,60 a 2,5 (distribución del tipo 1, 2 y 3) y para altas cantidades de precipitación ξ varía de 0 a 0.5 (distribución del Tipo 2) a excepción de algunas grillas. Debido a la heterogeneidad del parámetro de forma para la distribución GEV en las 14 regiones hidrológicas analizadas se seleccionó 20 subcuencas donde el ξ es homogéneo y sobre la región hidrológica donde PISCO se ajusta mejor a los datos observados.

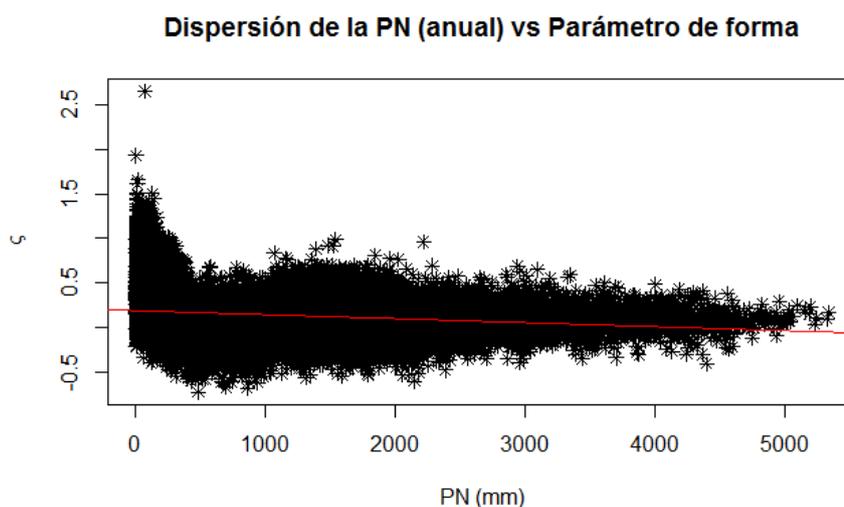


Figura 4-15 Dispersión del parámetro de forma estimado vs la precipitación multianual promedio (PN, Período 1981 al 2016)

Fuente: Elaboración propia

4.5 Distribución de Extremos Generalizados para la precipitación areal en el Perú

Como resultado en la sección anterior el parámetro de forma (ξ), varía de acuerdo a la cantidad de precipitación y efectos orográficos. Otro aspecto importante es la precipitación areal que es diferente de al punto de grilla, los procesos y el grado de correlación espacial de la precipitación de las cuales creará una muestra diferente de extremos que dependen del tamaño de la cuenca seleccionada. Para minimizar los efectos de la inhomogeneidad del ξ , se seleccionó 20 cuencas hidrográficas donde el ξ es homogéneo para cada una de las regiones hidrológicas.

De este modo, la Tabla 4-16 proporciona los detalles relevantes de las 20 cuencas seleccionadas de las cuales 3 pertenecen a la **RHT**, 4 a **RHA** y 13 al **RHP**. Variando en tamaño de 667,3 a 10872,1 Km² en área. Asimismo en la tabla se muestra la precipitación anual promediada para la cuenca (PN) y la elevación promedio.

Para la **RHT** se seleccionó las cuencas llave, Coata y Huancané con una elevación en promedio de 4224 a 4347 msnm y una precipitación areal anual mayor a 600 mm.

La **RHA** contiene las cuencas Cutivireni, Intercuenca 49955, Intercuenca bajo Huallaga y la cuenca Chinchipe de las cuales su elevación promedio es de 3033 a 8414 msnm y precipitación areal anual de 896 a 1613 mm.

Finalmente, la **RHP** contiene las cuencas Pariñas, Piura, Cascajal, Zaña, Intercuenca 13773, Nepeña, Casma, Culebras, Omas, Chala, Ilo- Moquegua, Locumba y Sama con elevaciones que varía de 254 a 2665 msnm en promedio y de 27 a 355 mm de precipitación anua areal.

La Figura 4-16 muestra la distribución espacial de las cuencas seleccionadas.

Tabla 4-16 Cuenca seleccionada por región hidrológica, área, elevación y precipitación areal anual

Nombre	Región Hidrológica	Área [Km ²]	Elevación [msnm]	P [mm]
1.- Cuenca Ilave	RHT	7791,00	4323,7	600,1
2.- Cuenca Coata	RHT	4882,42	4347,8	694,8
3.- Cuenca Huancané	RHT	3611,92	4224,2	664,3
4.- Cuenca Cutivireni	RHA	3033,61	1879,2	1384,2
5.- Intercuenca 49955	RHA	3857,39	1287,6	1230,9
6.- Intercuenca Bajo Huallaga	RHA	8416,68	163,8	1612,8
7.- Cuenca Chinchipe	RHA	6621,52	1650,4	896,4
8.- Cuenca Chala	RHP	1225,84	2318,2	26,7
9.- Cuenca Cascajal	RHP	3942,36	254,3	214,5
10.- Cuenca Piura	RHP	10872,09	454,6	354,9
11.- Cuenca Zaña	RHP	1745,40	1112,5	353,5
12.- Cuenca Nepeña	RHP	1878,29	2038,9	77,3
13.- Cuenca Casma	RHP	2973,97	2086,7	111,7
14.- Cuenca Culebras	RHP	667,28	1701,4	86,9
15.- Cuenca Omas	RHP	1111,12	2176,5	68,6
16.- Cuenca Ilo - Moquegua	RHP	3388,49	2426,9	48,2
17.- Cuenca Locumba	RHP	5803,28	2665,9	103,5
18.- Cuenca Sama	RHP	4591,15	2050,9	73,7
19.- Cuenca Pariñas	RHP	1704,86	341,5	185,6
20 Intercuenca.- 13773	RHP	2439,59	392,6	33,3

Luego de determinar la precipitación areal para cada cuenca hidrológica se calculó los máximos anuales de cada año (1981-2016), obteniendo 36 registros para cada serie de precipitación.

La Figura 4-17 al 4-19 muestra la serie de tiempo de precipitación máxima para cada cuenca y por región hidrológica.



Figura 4-16 Cuencas Hidrológicas (regiones de amarillo) seleccionadas
Fuente: Elaboración propia

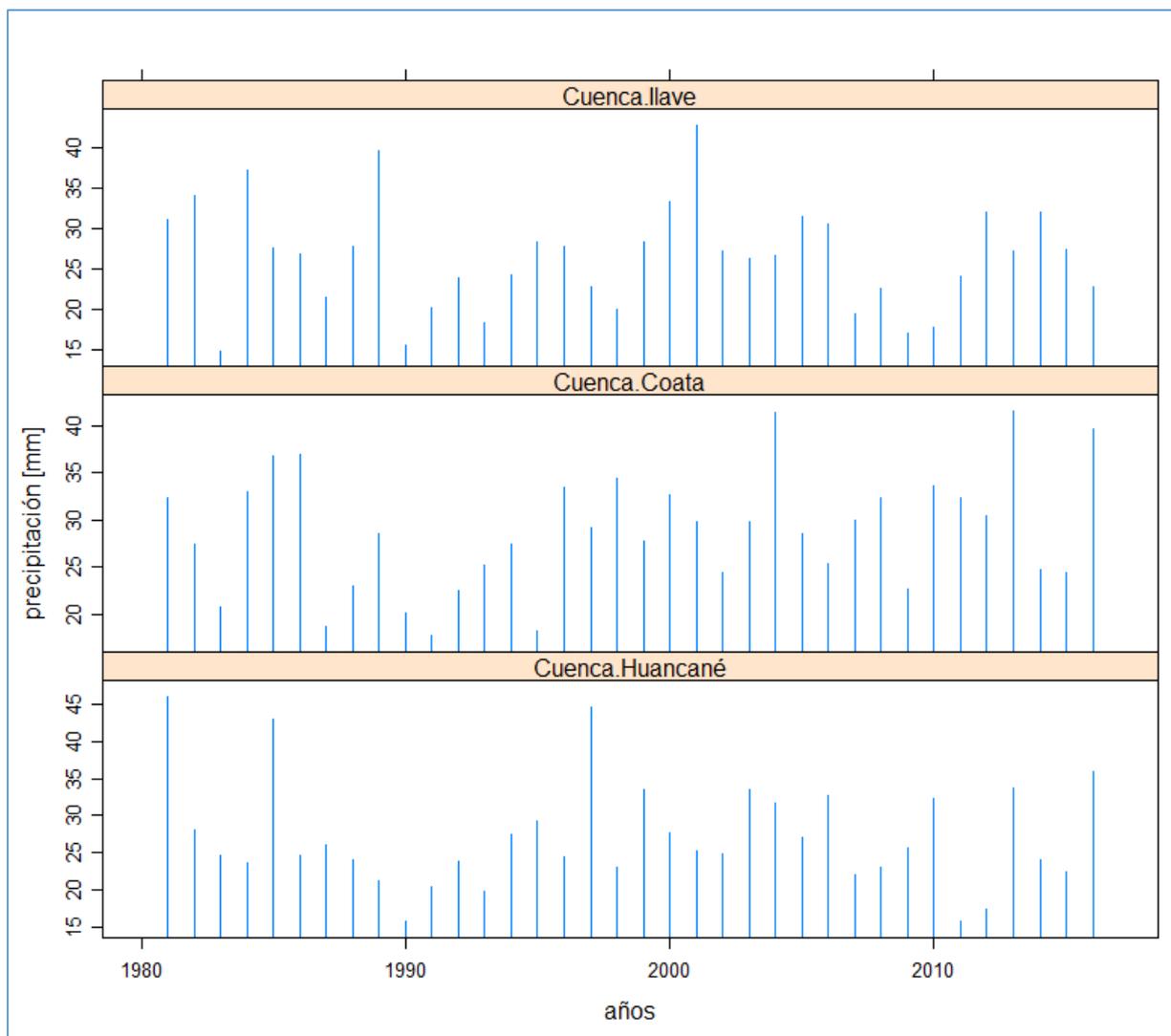


Figura 4-17 Precipitación máxima anual en las cuencas de RHT

Fuente: Elaboración propia

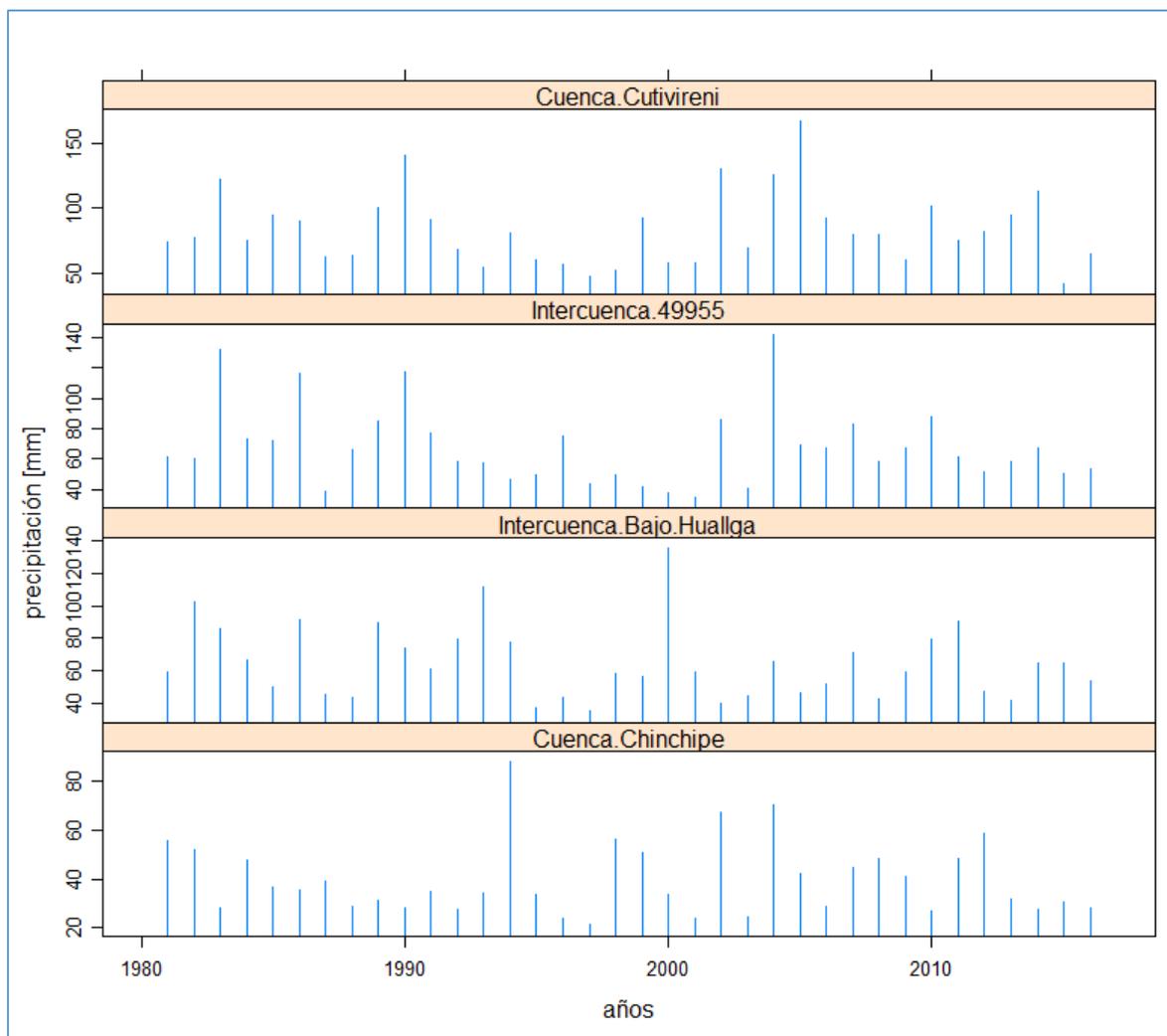


Figura 4-18 Precipitación máxima anual en las cuencas de RHA

Fuente: Elaboración propia

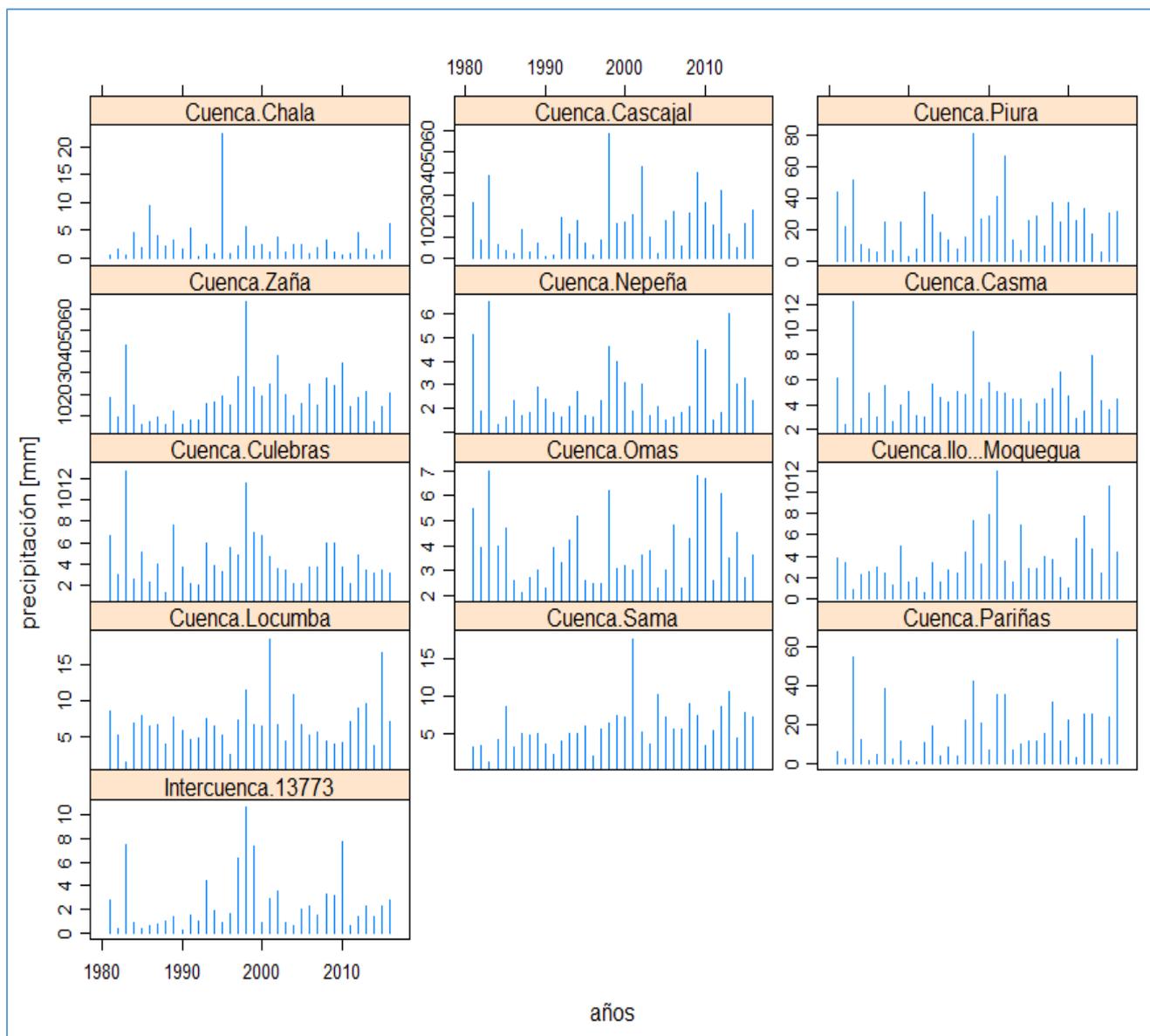


Figura 4-19 Precipitación máxima anual en las cuencas de RHP

Fuente: Elaboración propia

Luego de calcular la precipitación máxima anual para las 20 series de precipitación areal de las cuencas seleccionadas se realizó la estimación de los parámetros de la distribución GEV (μ , σ , ϵ), para tal objetivo se utilizó el método de máxima verosimilitud (MLE).

La Tabla 4-17 presenta los parámetros estimados de los máximos de precipitación de las cuencas hidrológicas seleccionadas y además una columna de la variación espacial del parámetro de forma en dicha región.

Tabla 4-17 Parámetro de la distribución GEV ajustados a series de máximos anuales por cuenca hidrológica

Cuencas	Parámetro de locación	Parámetro de escala	Parámetro de forma	de	Variación del Parámetro de forma (datos grillados)
1.- Cuenca Ilave	23,80	5,94	-0,17		-1,04 a 10,77
2.- Cuenca Coata	26,56	6,06	-0,26		-1,04 a 10,77
3.- Cuenca Huancané	23,98	5,68	-0,02		-1,04 a 10,77
4.- Cuenca Cutivireni	70,26	20,02	0,08		0 a 10,77
5.- Intercuenca 49955	55,40	16,50	0,16		0 a 10,77
6.- Intercuenca Bajo Huallaga	53,22	15,08	0,17		0 a 10,77
7.- Cuenca Chinchipe	31,72	8,76	0,29		-1,04 a 10,77
8.- Cuenca Chala	1,29	1,05	0,60		0 a 10,77
9.- Cuenca Cascajal	9,43	8,09	0,25		0 a 10,77
10.- Cuenca Piura	16,76	11,92	0,14		-1,04 a 10,77
11.- Cuenca Zaña	12,90	7,12	0,21		0 a 10,77
12.- Cuenca Nepeña	1,92	0,57	0,54		0 a 10,77
13.- Cuenca Casma	3,91	1,19	0,15		0 a 10,77
14.- Cuenca Culebras	3,36	1,47	0,17		0 a 10,77
15.- Cuenca Omas	3,07	0,87	0,28		0 a 10,77
16.- Cuenca Ilo - Moquegua	2,53	1,58	0,20		0 a 10,77
17.- Cuenca Locumba	5,47	2,32	0,05		-1,04 a 10,77
18.- Cuenca Sama	4,53	2,19	0,04		-1,04 a 10,77
19.- Cuenca Pariñas	7,86	7,56	0,54		0 a 10,77
20.- Intercuenca 13773	1,19	0,97	0,56		0 a 10,77

Como se mencionó anteriormente el parámetro de forma determina el tipo de distribución de extremos, por lo tanto, este análisis se centró en evaluar ξ .

Para las cuencas pertenecientes a la RHT podría ajustarse a una distribución del tipo 3. Sin embargo, la variación espacial en dichas regiones tiende a ser muy variable de -1,04 a 10,77. Mientras, en las cuencas de la RHA el ξ es mayor a cero, esto nos indica que podría ajustarse a una distribución del tipo 1. Del mismo modo, para la RHP las cuencas seleccionadas podrían ajustarse a una distribución del tipo 1.

Para más detalle de la calidad del ajuste se realizó la Figura 4-20, el cual presenta el proceso realizado y 4 esquemas de la calidad del ajuste para la serie de máximos, por ejemplo para la cuenca Intercuenca 13773 se observa un ajuste razonable, pues los datos más o menos se encuentran sobre la línea recta en el gráfico probabilístico y el de cuantiles. Los niveles de retorno, se puede ver que aproximadamente a un nivel de retorno igual a 20 corresponde a un periodo de retorno de 100 años.

En el Anexos 2 se pueden las distribuciones probabilísticas, cuantiles, niveles de retorno y la densidad de ajuste para cada una de las cuencas hidrológicas seleccionadas en el Estudio.

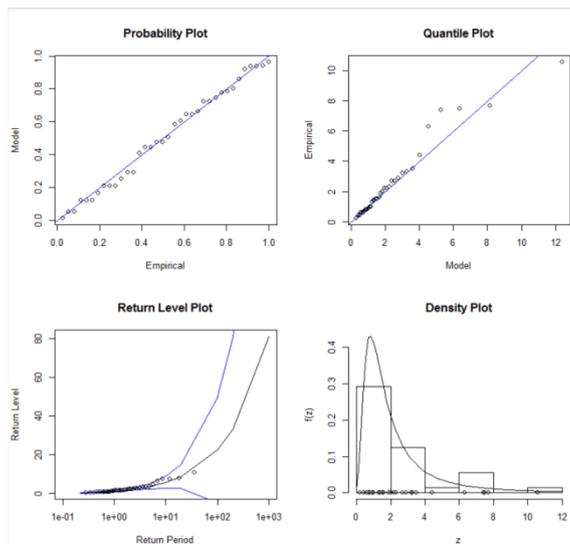


Figura 4-20 Precipitación máxima anual caso una cuenca.

Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

- El producto PISCO Pd v2.0 refleja el comportamiento espacial de la precipitación diaria en el Perú en las regiones hidrográficas del Pacífico, Atlántico 10, 11, 13 y la región hidrográfica del Titicaca. Asimismo, PISCO productos precipitación diario explica en promedio el 68.81% de la distribución espacial de la precipitación observada. La diferencia porcentual no representada podría deberse a la baja densidad de estaciones meteorológicas sobre todo en la RHA.
- El análisis estadístico descriptivo de datos por regiones hidrológicas confirma la variabilidad del histograma de frecuencias de la precipitación diaria. Además, la precipitación diaria no se ajusta a una distribución de probabilidad normal. En la parte baja de la región hidrográfica del Pacífico es natural la ausencia de precipitación corresponde a su patrón típico. Por otro lado.
- La determinación de umbrales de precipitación espacializada demostró que los mayores umbrales se localizan en la RHA y en el norte de la RHP y los valores bajos se localizan en la RHP. Sin embargo, debido a los extremos máximos y a la cantidad de días sin lluvia podría influir en la utilización de percentiles para estimar los umbrales ya que es una medida de posición. Por este motivo, se calculó la precipitación areal por región hidrológica para minimizar la variabilidad de extremos.
- Se determinó que el parámetro de forma de la distribución de extremos varía espacialmente en Perú. Identificando homogeneidad en la RHP. Asimismo, se seleccionó 20 cuencas hidrográficas y se ajustó a una distribución de extremos como resultado para cuencas de la RHT se ajustó a una distribución Weibull en cambio para las cuencas de la RHP y RHA se ajustó a una distribución del tipo Fréchet.

6. RECOMENDACIONES

- A fin de mejorar el producto PISCO Pd v2.0 se recomienda instalar estaciones terrenas, en regiones donde la densidad es casi nula, caso en la región Atlántico 7 y 12 ello permitirá mejorar la predicción de la precipitación y ajustar mejor el mapa de incertidumbre.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

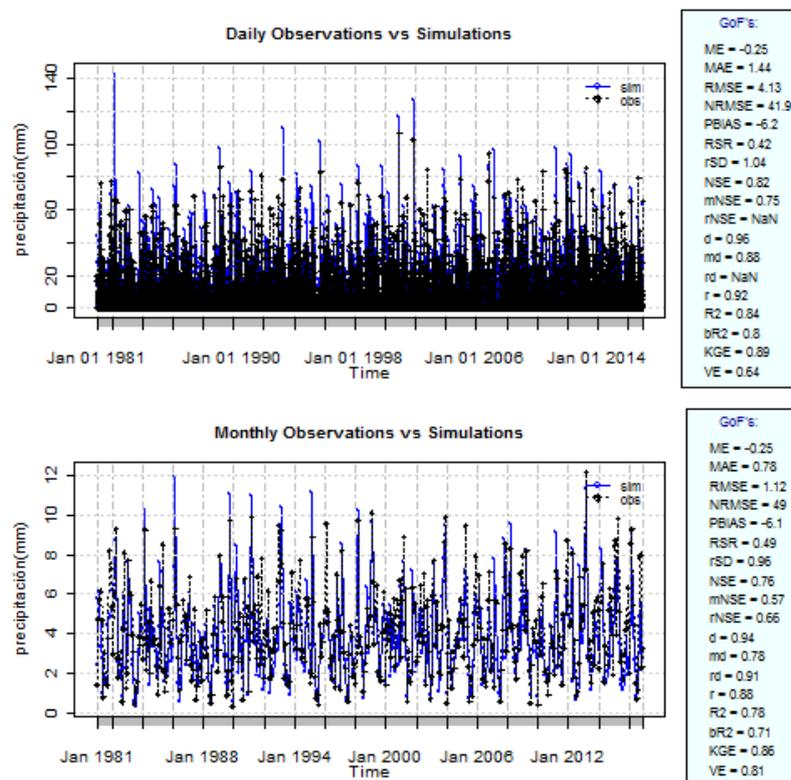
- Alfaro L. (SENAMHI). (2014). *Estimación de Umbrales de Precipitaciones Extremas para la emisión de avisos Meteorológicos*. (SENAMHI, Ed.). Lima, Perú.
- ANA. (2015). Huella hídrica del Perú. Sector agropecuario. Lima, Perú.
- Coles, S. G. (2001). An introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer Series in Statistics. <http://doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>
- Comunidad, A. (2009). *Atlas de las dinámicas del territorio Andino: Poblacion Bienes expuestos a amenazas naturales*. Retrieved from <http://www.comunidadandina.org/predecan/atlasweb/index.html>
- Consejo Nacional de Gestión del Riesgo del Fenómeno El Niño. (2016). *Plan Multisectorial de Prevención y Reducción de Riesgos ante Sequías 2016*. Lima, Perú.
- Córdova Z. (2003). *ESTADÍSTICA*. (PUCP, Ed.) (5th ed.). Lima, Perú: MOSHERA S.R.L.
- Halcrow. (2011). Atlas del potencial hidroeléctrico del Perú.
- Koutsoyiannis, D. (2004). Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation / Statistiques de valeurs extrêmes et estimation de précipitations extrêmes: I. Recherche théorique. *Hydrological Sciences Journal*, 49(3). <http://doi.org/10.1623/hysj.49.4.575.54430>
- Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., Mosquera, K., Lagos, P., Silva, Y., ... Ni, K. M. El. (2008). El Niño related precipitation variability in Peru To cite this version : Advances in Geosciences – related precipitation variability in Peru, (3), 231–237.
- Lavado W, Aybar, C., Huerta, A., Sabino, E., Zevallos, J. & F. O. (2016). Generación de datos grillados de precipitación diaria (PISCO Pd 1981-2015) y su utilidad para la estimación de umbrales de precipitaciones máximas.
- Lavado, W., & Espinoza, J. C. (2014). IMPACTOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA EN LAS LLUVIAS DEL PERÚ (1965-2007) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y Universidad Nacional Agraria La Molina, Instituto Geofísico del Perú y Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Peru. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(2), 171–182. <http://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>
- Muñoz, Á. G., Goddard, L., Robertson, a. W., Kushnir, Y., & Baethgen, W. (2015). Cross-Time Scale Interactions and Rainfall Extreme Events in Southeast South America for the Austral Summer. Part I: Potential Predictors. *Journal of Climate*, 150904104833007. <http://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00693.1>
- P. PRESCOTT A. T. WALDEN. (1980). Maximum likelihood estimation of the parameters of the generalized extreme-value distribution. *Biometrika*, 63(1), 723–724. <http://doi.org/doi:10.1093/biomet/67.3.723>
- Reiss, R. D. (1989). *Approximate Distributions of Order Statistics. Book*. <http://doi.org/10.1007/978-1-4613-9620-8>
- SENAMHI. (2012). Mapa de clasificación climática del Perú. Retrieved from <http://www.senamhi.gob.pe/?p=0240>
- SENAMHI. (2015). Regionalización y caracterización de sequías en el Perú dirección general de hidrología y recursos hídricos. SENAMHI. Lima, Perú.
- Veneziano, D., Langousis, A., & Lepore, C. (2009). New asymptotic and preasymptotic results on rainfall maxima from multifractal theory. *Water Resources Research*, 45(11), 1–12. <http://doi.org/10.1029/2009WR008257>

Wilks, D. S. (2011). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. (D. H. and H. T. R. RENATA DMOWSKA, Ed.) (3rd ed.). USA: Academic Press.

Wilson, P. S., & Toumi, R. (2005). A fundamental probability distribution for heavy rainfall. *Geophysical Research Letters*, 32(14), 1–4. <http://doi.org/10.1029/2005GL022465>

ANEXOS

Anexo 1

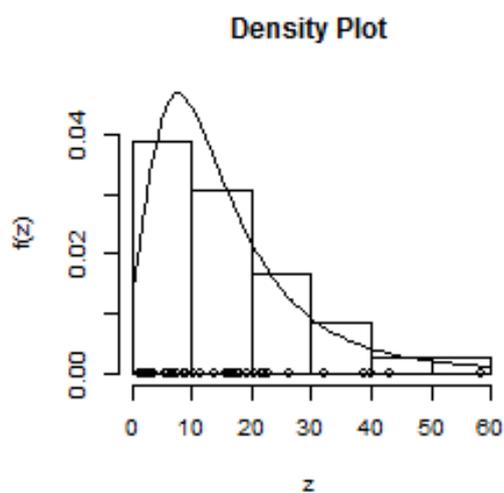
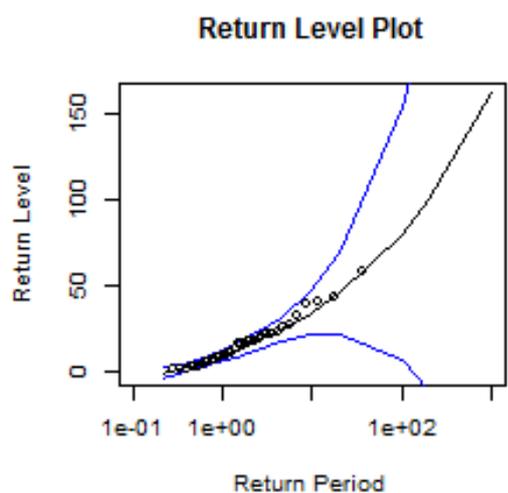
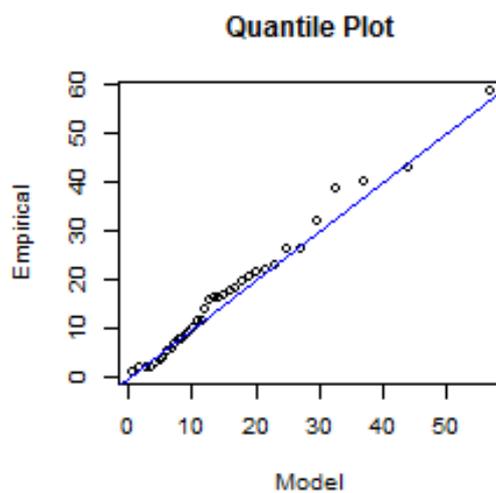
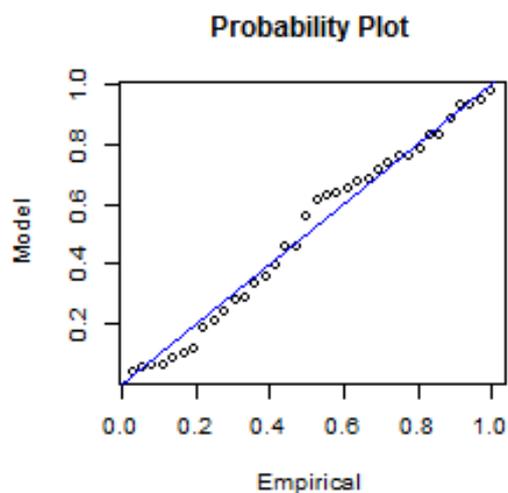


Value

me	Mean Error
mae	Mean Absolute Error
rmse	Root Mean Square Error
nmse	Normalized Root Mean Square Error
PBIAS	Percent Bias
pbiasfdc	PBIAS in the slope of the midsegment of the Flow Duration Curve
RSR	Ratio of RMSE to the Standard Deviation of the Observations, $RSR = rms / sd(obs)$. ($0 \leq RSR \leq +Inf$)
rSD	Ratio of Standard Deviations, $rSD = sd(sim) / sd(obs)$
NSE	Nash-Sutcliffe Efficiency ($-Inf \leq NSE \leq 1$)
mNSE	Modified Nash-Sutcliffe Efficiency
rNSE	Relative Nash-Sutcliffe Efficiency
d	Index of Agreement ($0 \leq d \leq 1$)
md	Modified Index of Agreement
rd	Relative Index of Agreement
cp	Persistence Index ($0 \leq PI \leq 1$)
r	Pearson product-moment correlation coefficient ($-1 \leq r \leq 1$)
r.Spearman	Spearman Correlation coefficient ($-1 \leq r.Spearman \leq 1$)
R2	Coefficient of Determination ($0 \leq R2 \leq 1$). Gives the proportion of the variance of one variable that is predictable from the other variable
br2	R2 multiplied by the coefficient of the regression line between sim and obs ($0 \leq br2 \leq 1$)
KGE	Kling-Gupta efficiency between sim and obs ($0 \leq KGE \leq 1$)
VE	Volumetric efficiency between sim and obs ($-Inf \leq VE \leq 1$)

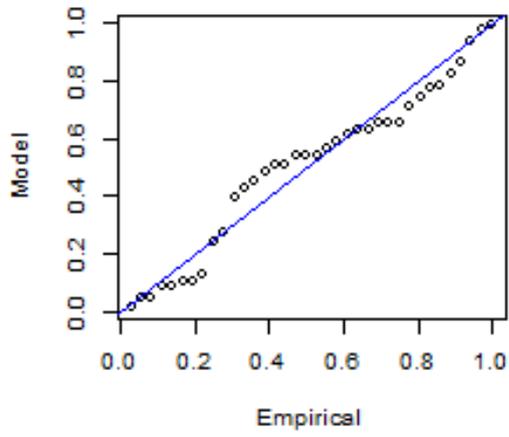
Anexo 2

CUENCA CASCAJAL

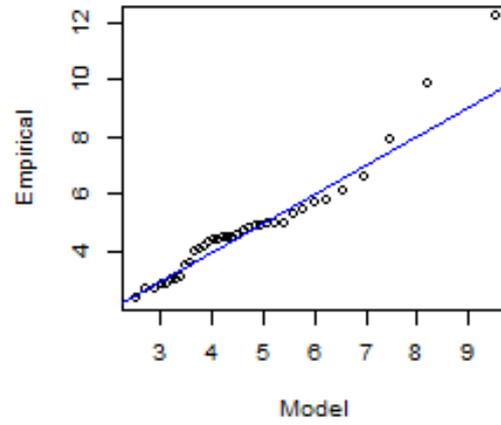


CUENCA CASMA

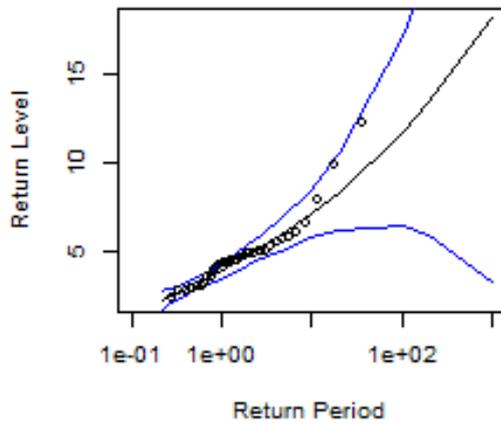
Probability Plot



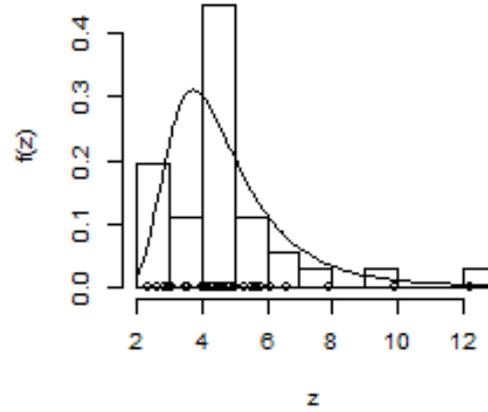
Quantile Plot



Return Level Plot

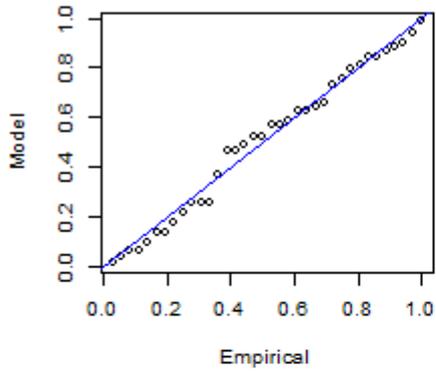


Density Plot

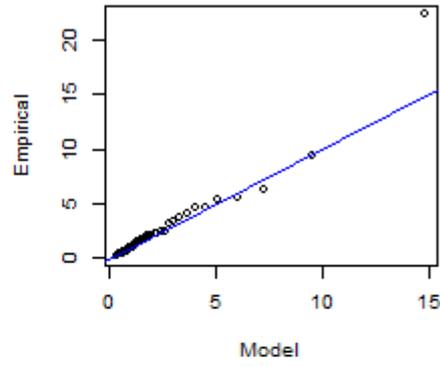


CUENCA CHALA

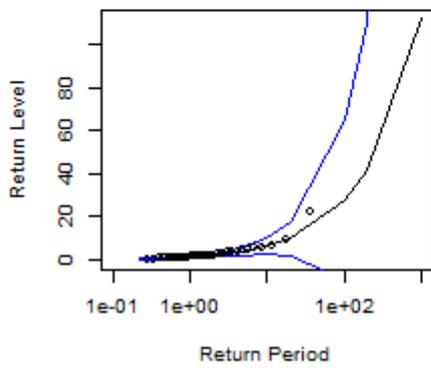
Probability Plot



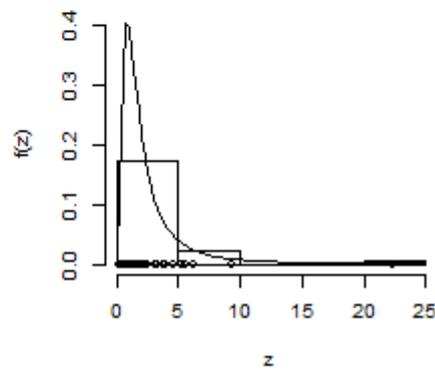
Quantile Plot



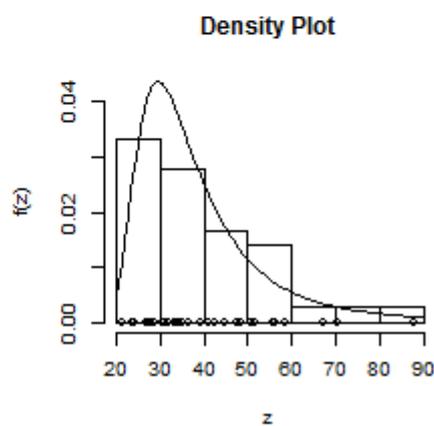
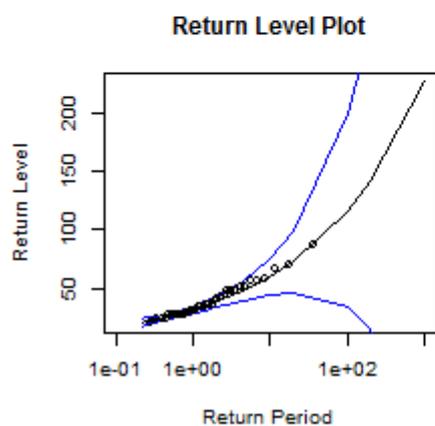
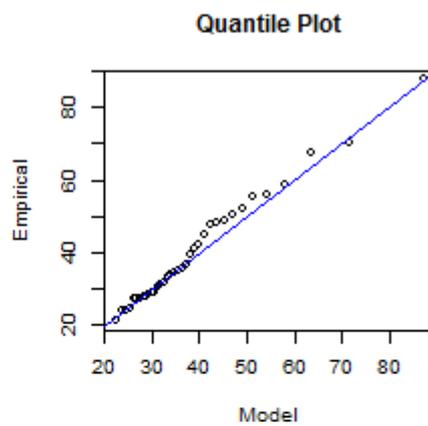
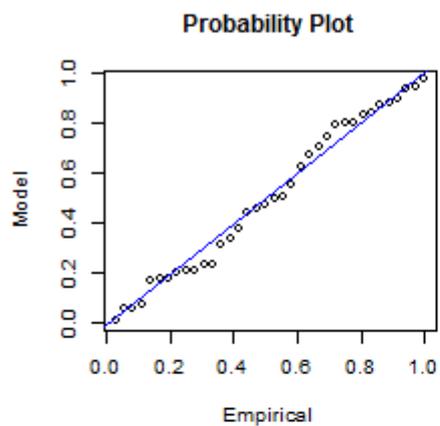
Return Level Plot



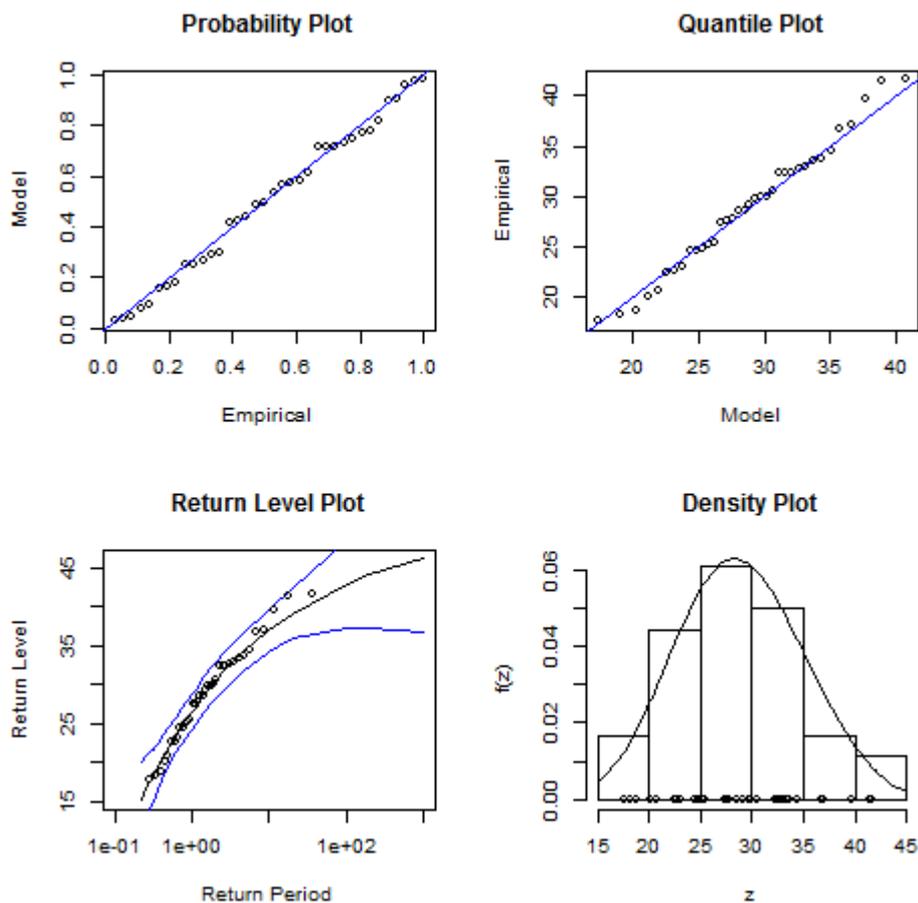
Density Plot



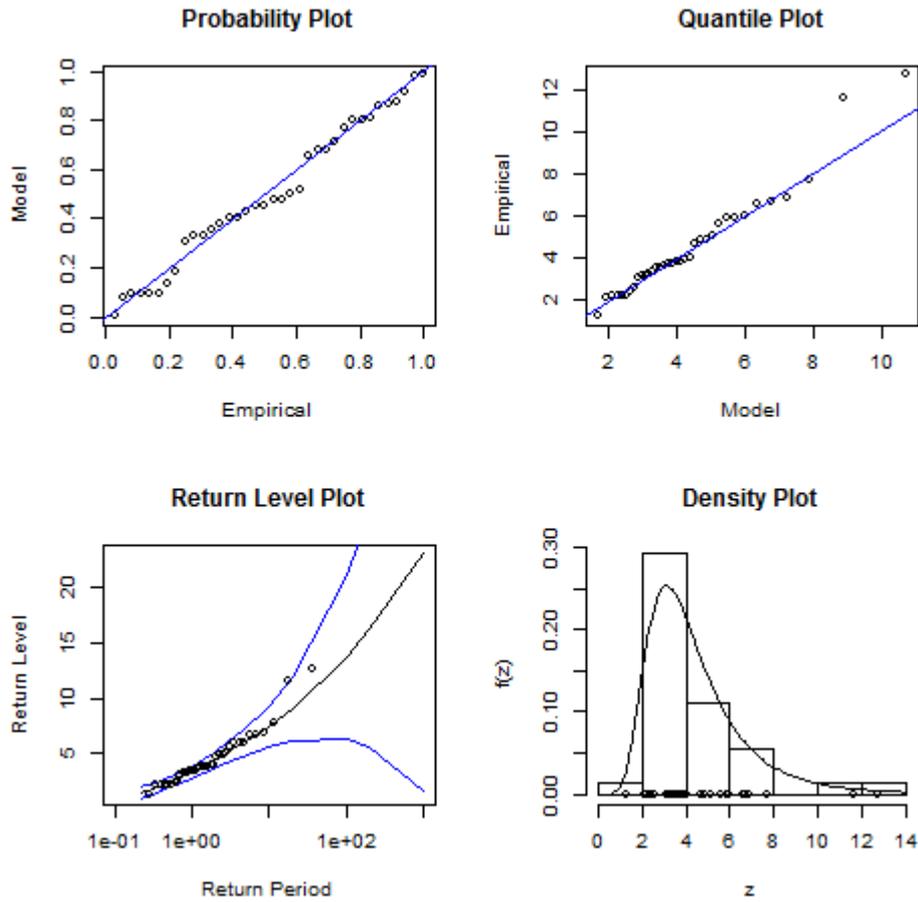
CUENCA CHINCHIPE



CUENCA COATA

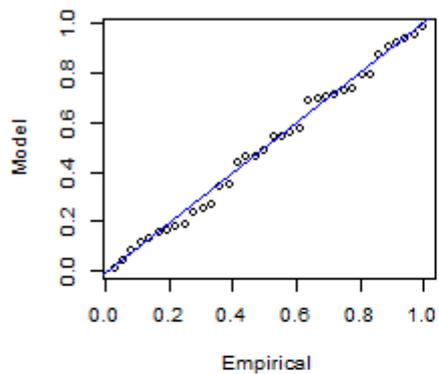


CUENCA CULEBRAS

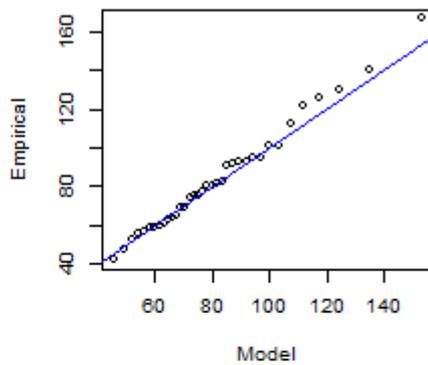


CUENCA CUTIVIRENI

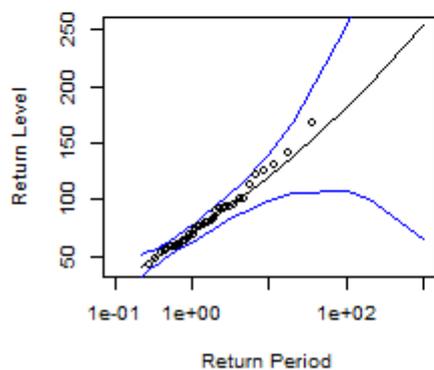
Probability Plot



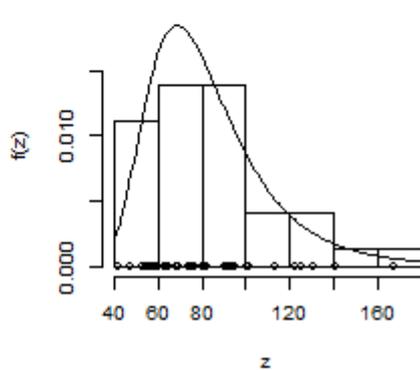
Quantile Plot



Return Level Plot

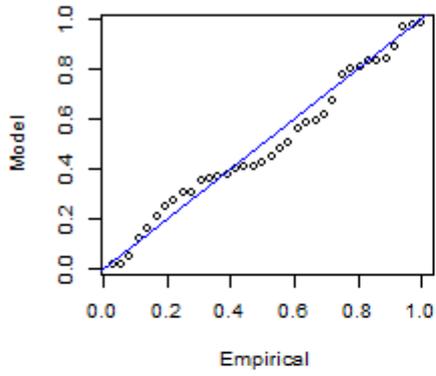


Density Plot

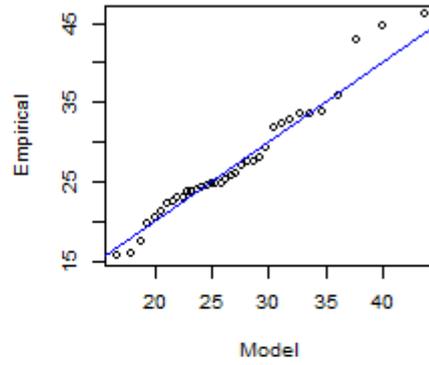


CUENCA HUANCANÉ

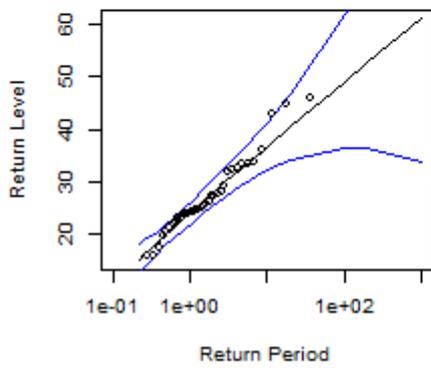
Probability Plot



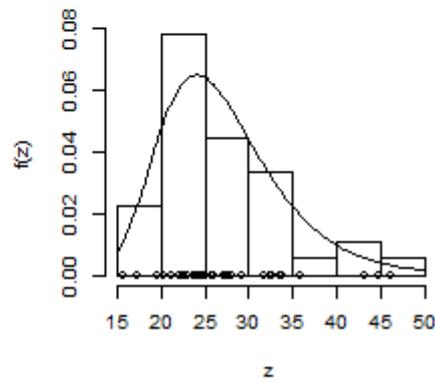
Quantile Plot



Return Level Plot

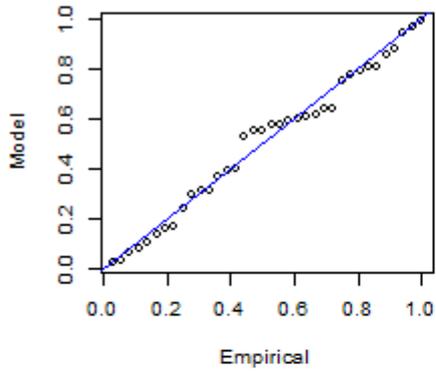


Density Plot

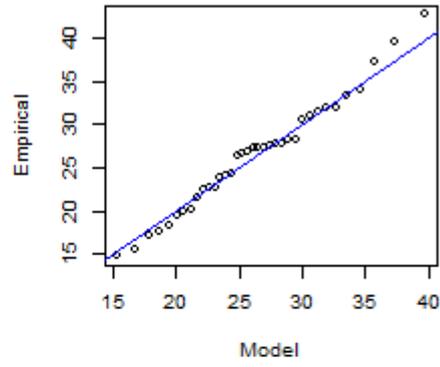


CUENCA ILAVE

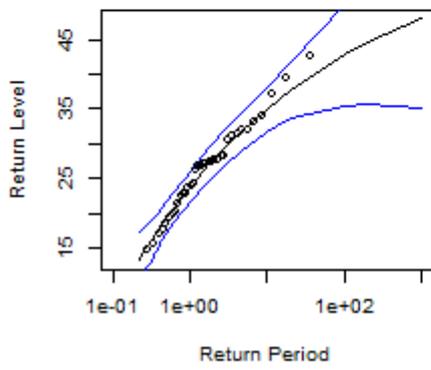
Probability Plot



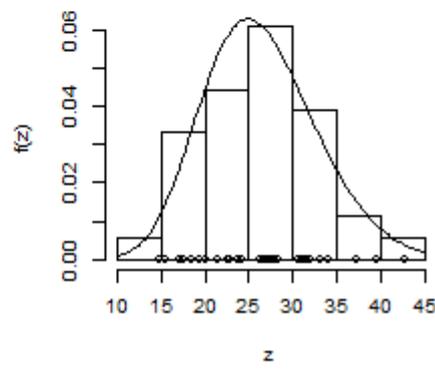
Quantile Plot



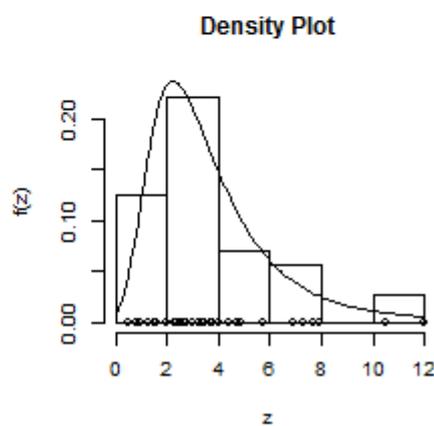
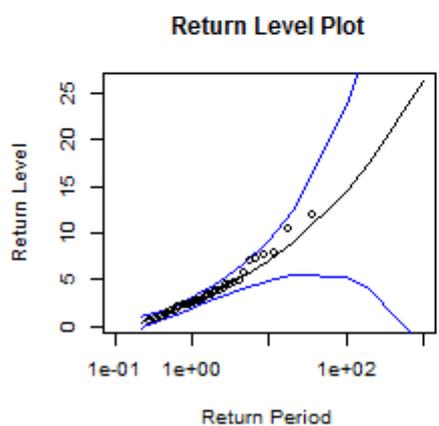
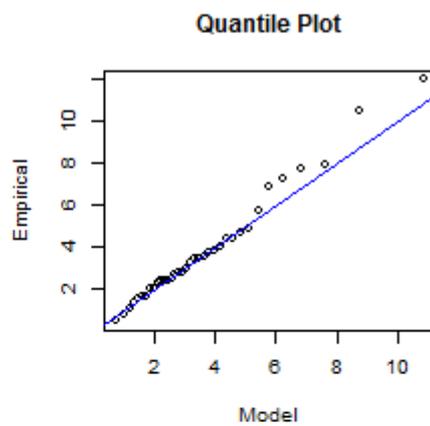
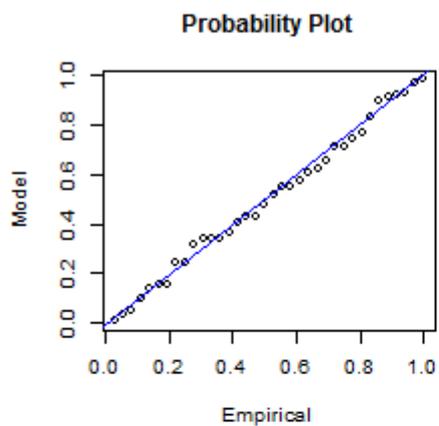
Return Level Plot



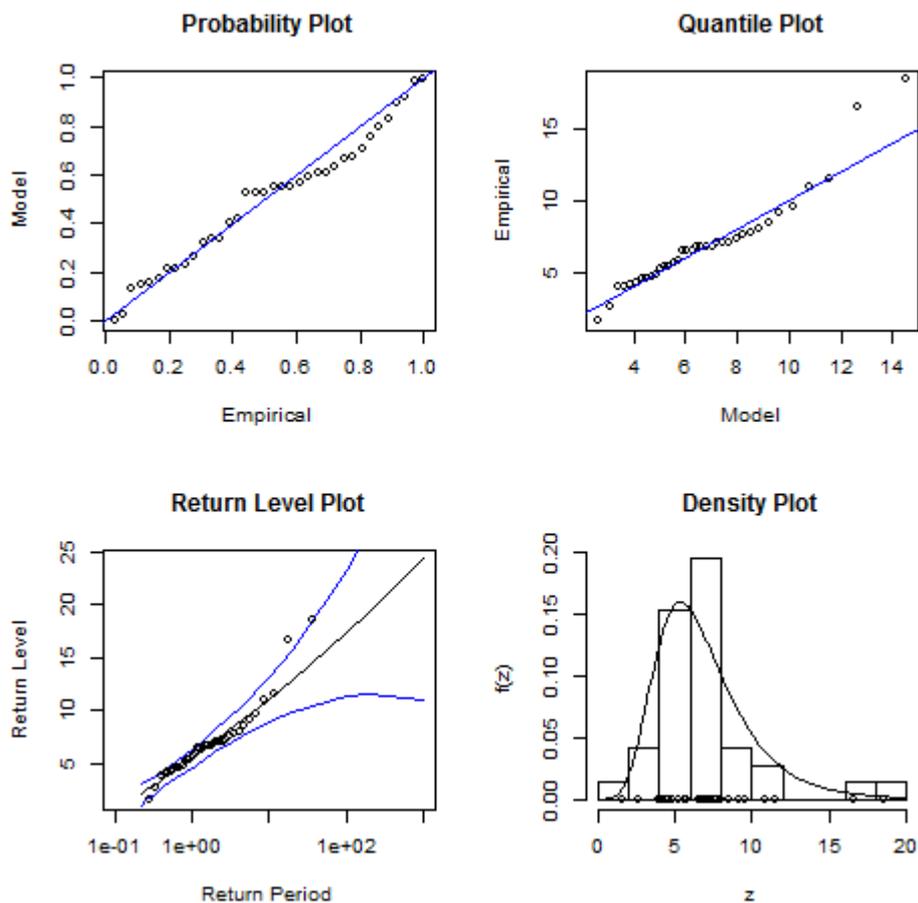
Density Plot



CUENCA ILO-MOQUEGUA

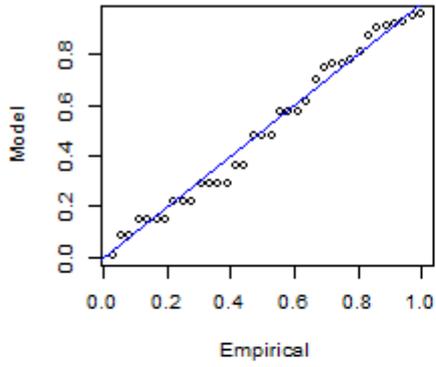


CUENCA LOCUMBA

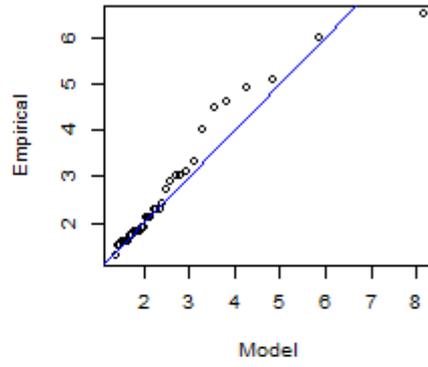


CUENCA NEPEÑA

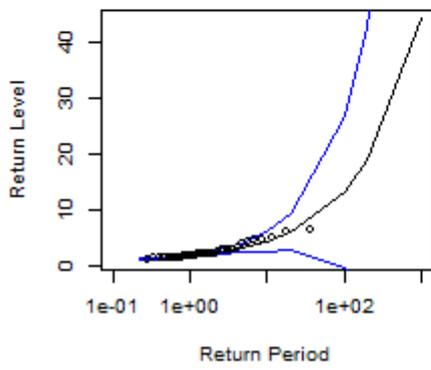
Probability Plot



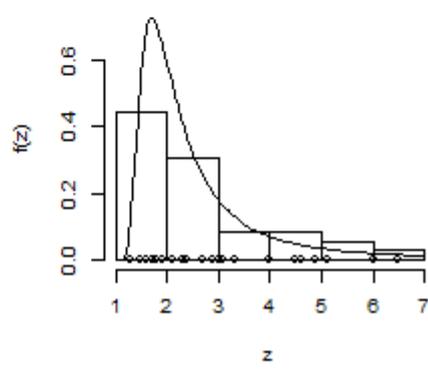
Quantile Plot



Return Level Plot

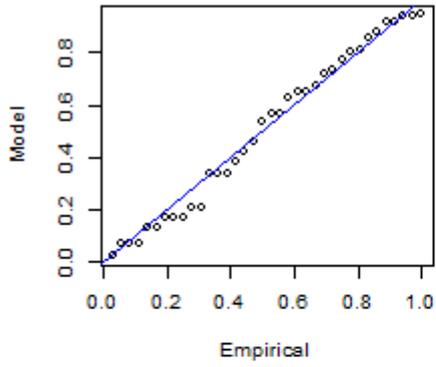


Density Plot

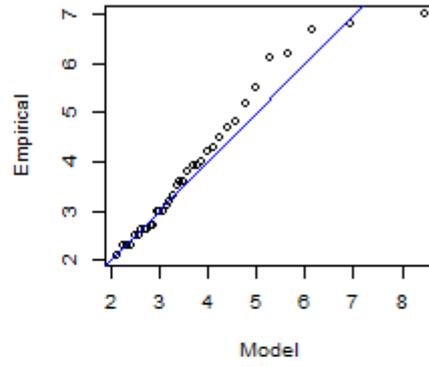


CUENCA OMAS

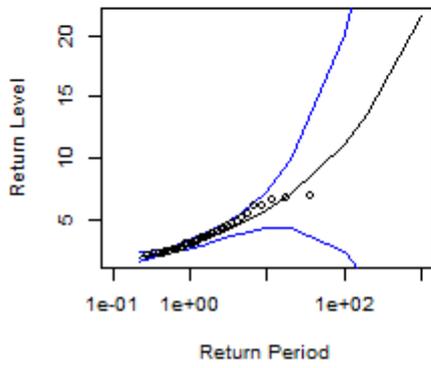
Probability Plot



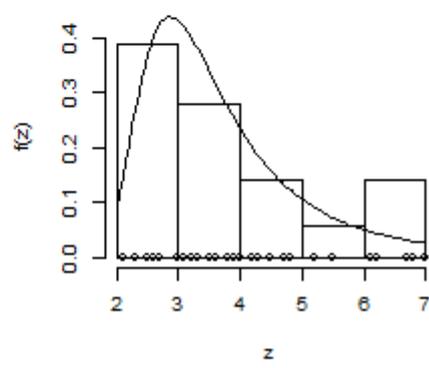
Quantile Plot



Return Level Plot

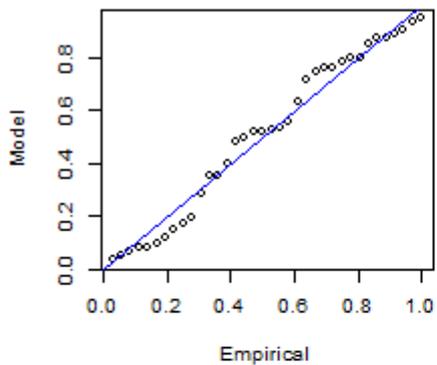


Density Plot

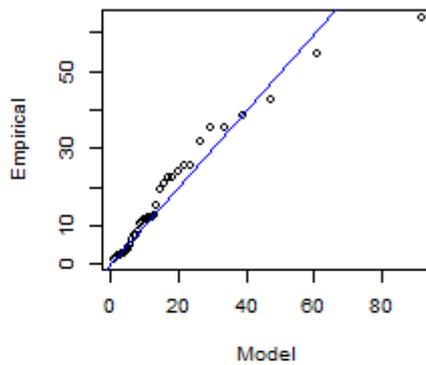


CUENCA PARIÑAS

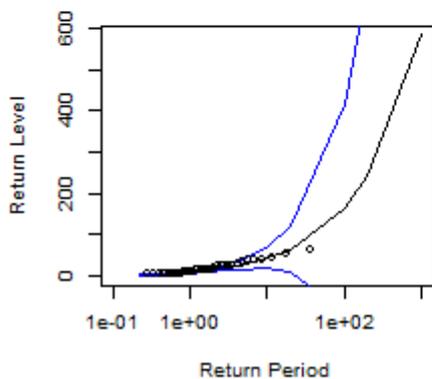
Probability Plot



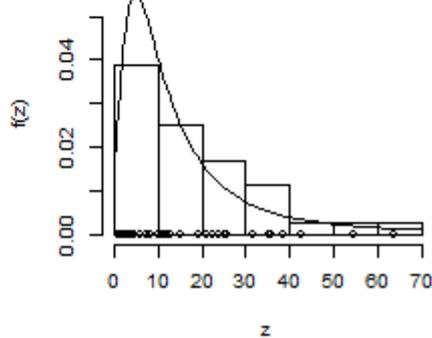
Quantile Plot



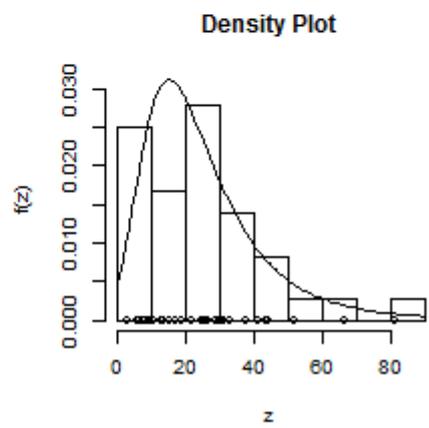
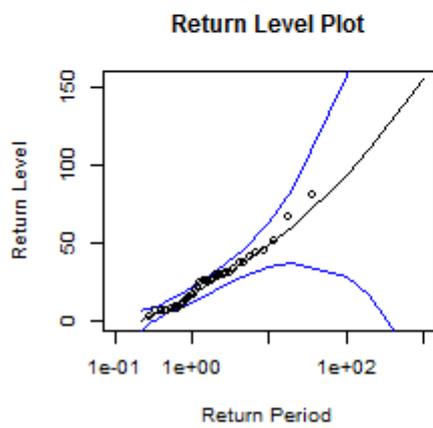
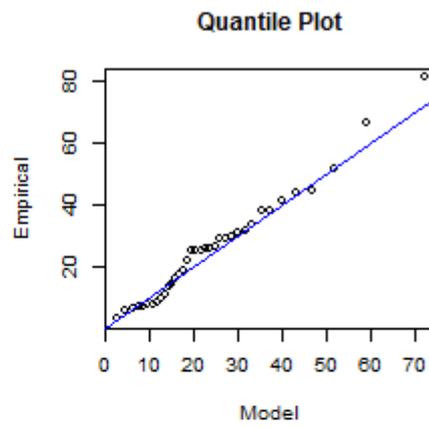
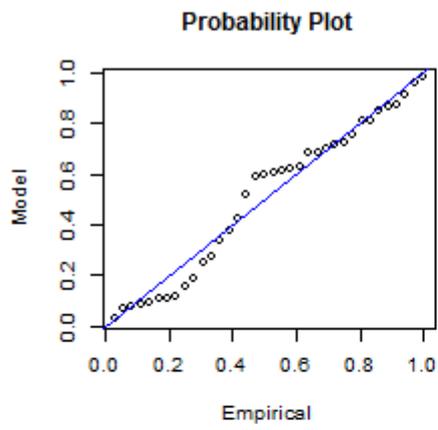
Return Level Plot



Density Plot

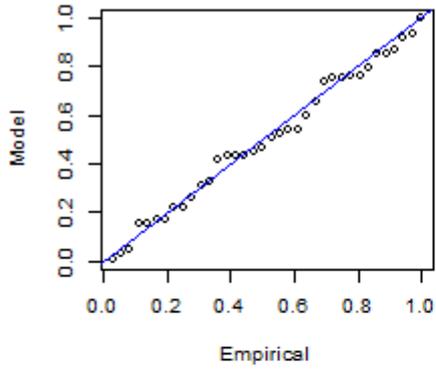


CUENCA PIURA

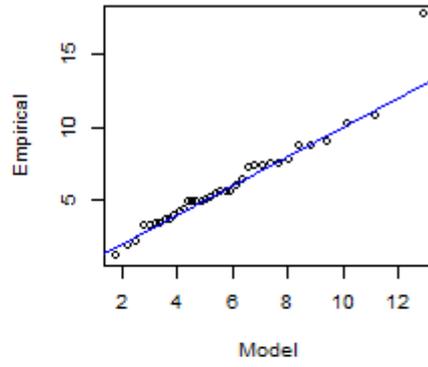


CUENCA SAMA

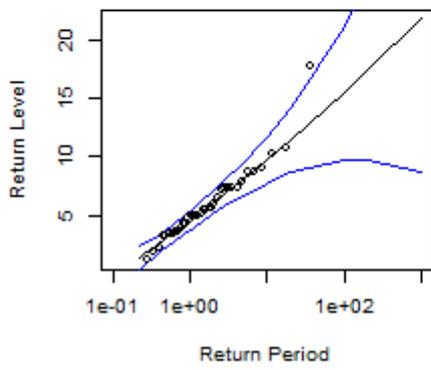
Probability Plot



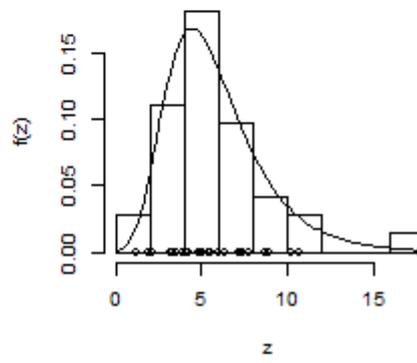
Quantile Plot



Return Level Plot

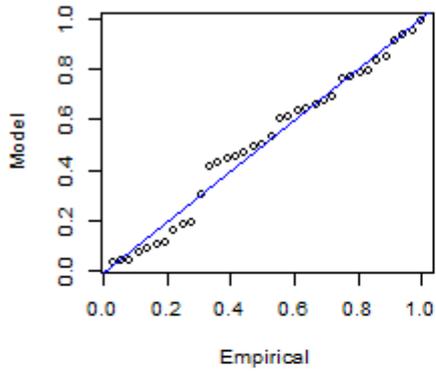


Density Plot

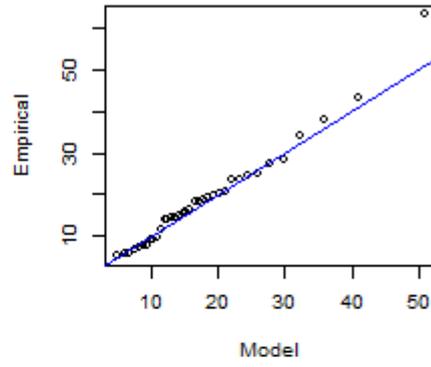


CUENCA ZAÑA

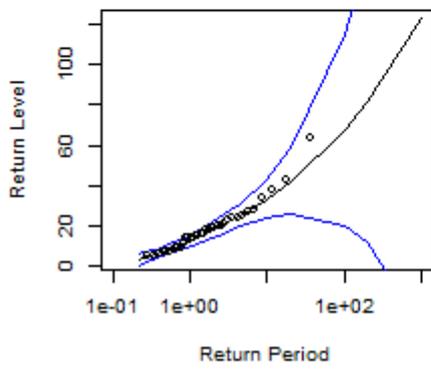
Probability Plot



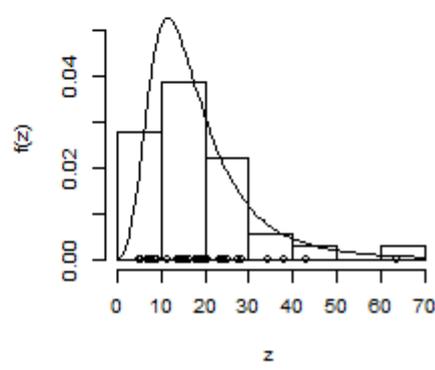
Quantile Plot



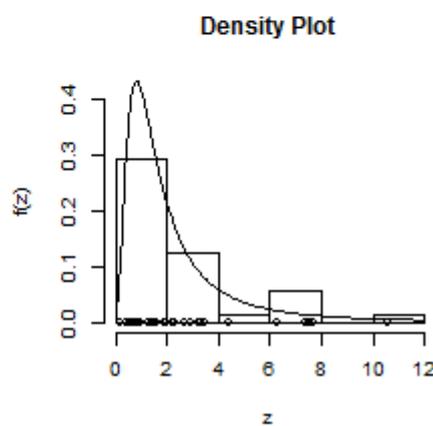
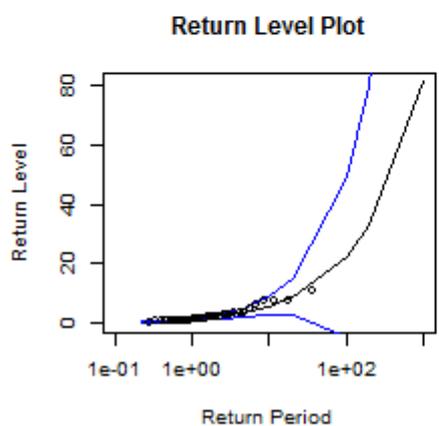
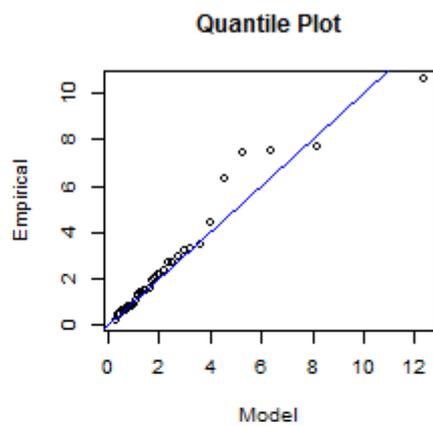
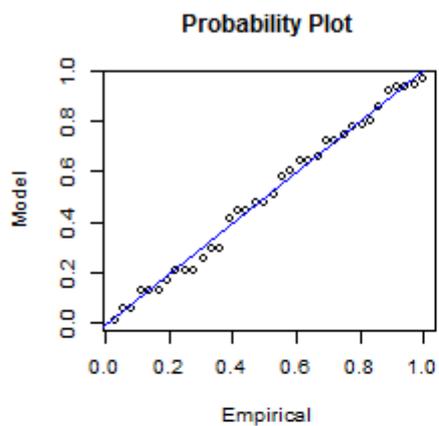
Return Level Plot



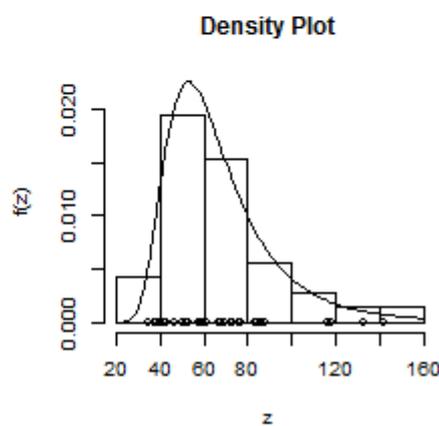
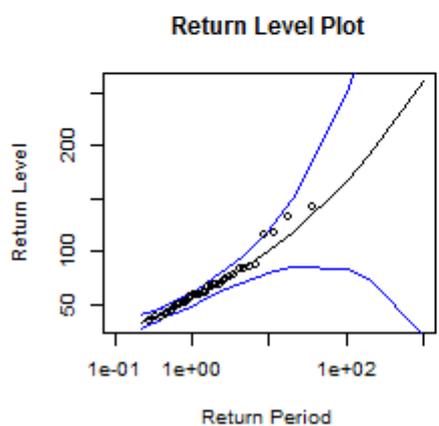
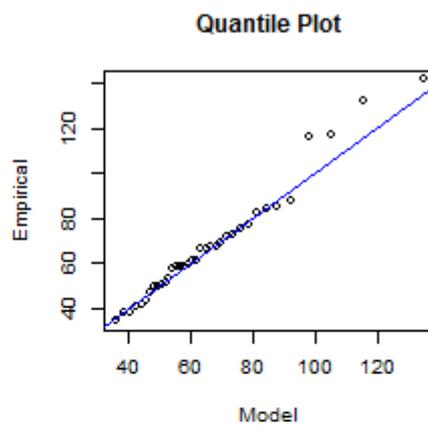
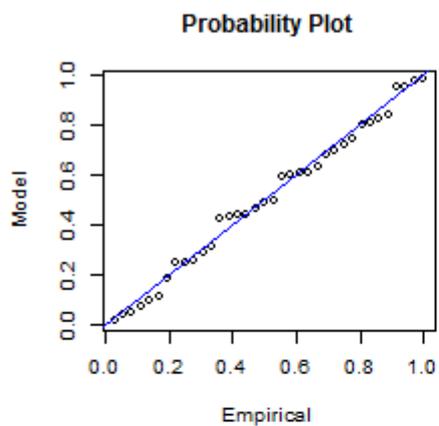
Density Plot



CUENCA INTERCUENCA 13773



CUENCA INTERCUENCA 49955



CUENCA BAJO HUALLAGA

