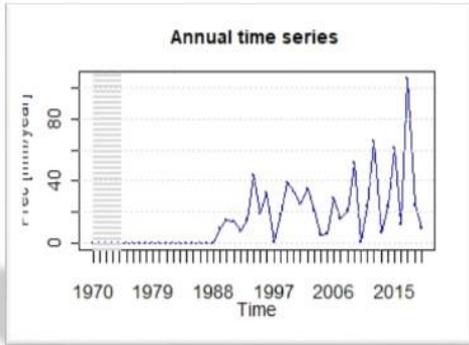


Análisis de tendencias de Precipitación y Temperatura considerando los movimientos en masa en el departamento de Lima



Dirección de Hidrología
Subdirección de Estudios e Investigaciones Hidrológicas
Marzo 2024



Análisis de tendencias de Precipitación y Temperatura considerando los movimientos en masa en el departamento de Lima

Análisis de tendencias de Precipitación y Temperatura considerando los movimientos en masa en el departamento de Lima

Presidente Ejecutivo

MSc. Gabriela Teofila Rosas Benancio

Director de Hidrología

MSc. Oscar Gustavo Felipe Obando

Subdirector de Estudios e Investigaciones Hidrológicas

PhD. Waldo Sven Lavado Casimiro

Autor:

MSc. Metzger Terrazas, Luis Alberto.

ORCID: 0000-0002-0590-0767

Subdirección de Estudios e Investigaciones Hidrológicas

Diseño y diagramación por:

MSc. Metzger Terrazas, Luis Alberto

Subdirección de Estudios e Investigaciones Hidrológicas

Colaboración:

Cruzate García, Dula

Dirección de Hidrología.

Primera edición: marzo de 2024

Depósito Legal N° N° 2024-03467

Estudio disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12542/3258>

Derechos Reservados

© Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Jr. Cahuide 785, Jesús María, Lima- Perú. Teléfono: (01) 614-1414

Referencia:

Metzger, L. (2024), Análisis de tendencias de precipitación y temperatura considerando los movimientos en masa en el departamento de Lima. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI.

<https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3258>

CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Análisis Doble Masa	13
2.2 El Niño Costero	13
2.3 Fenómeno El Niño	13
2.4 Huaico	13
2.5 Outlier	13
2.6 Precipitación	15
2.7 Temperatura	15
III. METODOLOGÍA	30
3.1 Prueba Estadística Mann Kendall	30
3.2 Prueba Estadística T Student	31
3.3 RCLIMDEX	31
3.4 TREND	33
IV. RESULTADOS	33
4.1 Análisis exploratorio	33
4.2 Análisis de outliers	44
4.3 Análisis de doble masa	48
4.4 Completación de datos	51
4.5 Pruebas estadísticas	56
4.6 Contraste de tendencias de precipitación vs huaicos ocurridos	64
V. CONCLUSIONES	71
VI. RECOMENDACIONES	73
VII. REFERENCIAS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coordenada de estaciones de precipitación y temperatura en Cuenca Huaura	29
Tabla 2.	Coordenada de estaciones de precipitación y temperatura en Cuenca Chancay-H2O	
Tabla 3.	Coordenada de estaciones de precipitación y temperatura en Cuenca Chillón	20
Tabla 4.	Coordenada de estaciones de precipitación y temperatura en Cuenca Rímac	20
Tabla 5.	Resumen de huaicos ocurridos en las cuencas de estudio	25
Tabla 6.	Huaicos reportados por INDECI en la cuenca Huaura.....	26
Tabla 7.	Huaicos reportados por INDECI en la cuenca Chancay-Huaral.....	27
Tabla 8.	Huaicos reportados por INDECI en la cuenca Chillón	32
Tabla 9.	Huaicos reportados por INDECI en la cuenca Rímac	32
Tabla 10.	Indices usados para la precipitación.....	56
Tabla 11.	Indices usados para la temperatura	56
Tabla 12.	Resultados RClindex para la precipitación, cuenca Huaura	57
Tabla 13.	Resultados RClindex para la precipitación, cuenca Chancay-Huaral.....	57
Tabla 14.	Resultados RClindex para la precipitación, cuenca Chillón	58
Tabla 15.	Resultados RClindex para la precipitación, cuenca Rímac.....	58
Tabla 16.	Resultados RClindex para la temperatura, cuenca Huaura	48
Tabla 17.	Resultados RClindex para la temperatura, cuenca Chancay-Huaral	58
Tabla 18.	Resultados RClindex para la temperatura, cuenca Chillón	59
Tabla 19.	Resultados RClindex para la temperatura, cuenca Rímac.....	60
Tabla 20.	Tendencias de precipitación y temperatura en la cuenca baja con RClindex.....	61
Tabla 21.	Tendencias de precipitación y temperatura en la cuenca media y alta con RClindex.....	61
Tabla 22.	Prueba de Mann-Kendall para tendencias de precipitación con TREND	51
Tabla 23.	Prueba T Student para cambios en la precipitación con TREND.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa nacional de inventario de flujos	14
Figura 2. Ubicación de las cuencas de estudio	15
Figura 3. Ubicación de la cuenca Huaura	16
Figura 4. Ubicación de la cuenca Chancay-Huaral	17
Figura 5. Ubicación de la cuenca Chillón	18
Figura 6. Ubicación de la cuenca Rímac.....	19
Figura 7. Periodos de información disponible de datos de precipitación	21
Figura 8. Periodos de información disponible de datos de temperatura	22
Figura 9. Ubicación de estaciones de precipitación	23
Figura 10. Ubicación de estaciones de temperatura	24
Figura 11. Análisis exploratorio estación Isla Don Martín.....	33
Figura 12. Análisis exploratorio estación Alcantarilla	34
Figura 13. Análisis exploratorio estación Andajes.....	34
Figura 14. Análisis exploratorio estación Picoy	35
Figura 15. Análisis exploratorio estación Paccho.....	35
Figura 16. Análisis exploratorio estación Donoso	36
Figura 17. Análisis exploratorio estación Huayan	36
Figura 18. Análisis exploratorio estación Pallac.....	37
Figura 19. Análisis exploratorio estación Pirca	37
Figura 20. Análisis exploratorio estación Santa Cruz.....	38
Figura 21. Análisis exploratorio estación Aeropuerto.....	38
Figura 22. Análisis exploratorio estación Arahuay	39
Figura 23. Análisis exploratorio estación Huamantanga	39
Figura 24. Análisis exploratorio estación Huaros.....	40
Figura 25. Análisis exploratorio estación Pariacancha.....	40
Figura 26. Análisis exploratorio estación Autisha	41
Figura 27. Análisis exploratorio estación Carampoma.....	41
Figura 28. Análisis exploratorio estación Chosica	42
Figura 29. Análisis exploratorio estación Matucana	42
Figura 30. Análisis exploratorio estación Santa Eulalia	43
Figura 31. Análisis exploratorio estación San José de Parac	43
Figura 32. Análisis exploratorio estación Von Humboldt.....	44
Figura 33. Análisis de outliers estación Alcantarilla	44
Figura 34. Análisis de outliers estación Andajes	45
Figura 35. Análisis de outliers estación Huayán.....	45
Figura 36. Análisis de outliers estación Pallac	46
Figura 37. Análisis de outliers estación Huaros	46
Figura 38. Análisis de outliers estación Pariacancha	47
Figura 39. Análisis de outliers estación Chosica	47
Figura 40. Análisis de outliers estación Matucana	48
Figura 41. Análisis de doble masa cuenca Huaura	48
Figura 42. Análisis de doble masa cuenca Chancay-Huaral	49
Figura 43. Análisis de doble masa cuenca Chillón.....	49

Figura 44. Análisis de doble masa cuenca Rímac	50
Figura 45. Datos completados estación Isla Don Martín	51
Figura 46. Datos completados estación Andajes	51
Figura 47. Datos completados estación Huayán.....	52
Figura 48. Datos completados estación Pallac	52
Figura 49. Datos completados estación Pirca.....	53
Figura 50. Datos completados estación Santa Cruz	53
Figura 51. Datos completados estación Aeropuerto	54
Figura 52. Datos completados estación Arahua.....	54
Figura 53. Datos completados estación Hipólito Unanue.....	55
Figura 54. Datos completados estación Chosica	55
Figura 55. Huaicos en la cuenca Huaura	64

RESUMEN

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) elabora estudios e investigaciones relacionados a eventos meteorológicos e hidrológicos que tienen impactos en la sociedad, en ese sentido en este estudio se ha evaluado el análisis de la tendencia de la precipitación y la temperatura considerando los movimientos en masa en las principales cuencas del departamento de Lima.

El objetivo del presente estudio es identificar cambios en el comportamiento de las variables temperatura y precipitación en las principales cuencas de Lima en el periodo 1970-2019 así mismo determinar si existe relación entre el cambio de las variables temperatura y precipitación y el incremento de los huaicos en el departamento de Lima.

Para detectar cambios en las series de tiempo de precipitación, se han utilizado las pruebas estadísticas de Mann Kendall y T de Student, en las series de datos de precipitación, los resultados de estas pruebas son variables en las cuencas evaluadas.

Con el software RClimdex y para el periodo 1970-2019, se ha determinado que existe una tendencia al aumento de la precipitación en la cuenca media del río Rímac, así lo indican los índices climáticos: PRCPTOT, R10 y R95 para las estaciones Chosica, Autisha y Matucana.

Se observa consenso en los resultados obtenidos por los softwares RClimdex y TREND que indican que existe tendencia al incremento de la precipitación anual en las estaciones: Huamantanga, Huaros, Matucana, Carampoma y San José de Parac.

Palabras clave: Cuencas, recursos hídricos, tendencia de precipitación, movimientos en masa, huaicos,

ABSTRACT

The National Service of Meteorology and Hydrology of Peru (SENAMHI) develops research and studies related to meteorological and hydrological events that have impacts on society, in that sense this study evaluates the trend analysis of precipitation and temperature considering mass movements in main catchments of Lima department.

The goal of this study is to identify changes in the behavior of temperature and precipitation variables in main catchments of Lima for the period 1970-2019 as well as to determine if there is a relation between the change of precipitation and temperature variables and the increase of debris flows in Lima department.

To detect changes in the precipitation time series, Mann Kendall and Student T statistical tests have been used, in the precipitation data series, the results of these tests are variable in the evaluated catchments.

Using RCLimindex and for the period 1970-2019, it has been determined that exists a trend to increase of precipitation in the medium catchment of the Rímac river, as it is shown by the climatic indices: PRCPTOT, R10 and R95 for Chosica, Autisha and Matucana stations.

A consensus can be observed in the results obtained by the RCLimindex and TREND softwares that indicate there is an increase trend in annual precipitation for the stations: Huamantanga, Huaros, Matucana, Carampoma and San José de Parac.

Keywords: Basins, water resources, precipitation trend, mass movements, debris flow

ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE PRECIPITACION Y TEMPERATURA CONSIDERANDO LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN EL DEPARTAMENTO DE LIMA

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de eventos extremos a nivel mundial es una realidad, las sequías, inundaciones, olas de calor, número de ciclones tropicales entre otros se han incrementado en los últimos años. En nuestro país, el año 2023 se registraron eventos inusuales como el ciclón tropical “Yaku”, trombas de agua, records históricos de precipitación como el de la estación Puerto Pizarro que el 23 de marzo alcanzó el récord histórico de 225.1 mm de precipitación en 24 horas, el record anterior fue de 192.8 mm en el año 2017.

En la vertiente pacífico norte se han presentado los mayores registros de precipitación máxima en 24 horas, comportamiento que ha ocurrido durante eventos extremos como el Fenómeno El Niño o El Niño costero, situaciones que están asociadas a un calentamiento de la temperatura del mar. En este estudio se realizará el análisis de tendencia de las variables temperatura y precipitación de estaciones meteorológicas en el departamento de Lima con el fin de observar si existen cambios en estas variables.

Los años 2017 y 2023 se han caracterizado porque se activaron un gran número de quebradas en cuencas del departamento de Lima como: Chillón, Rímac, Lurín entre otros, lo cual ha ocasionado pérdidas económicas importantes a la población.

En el contexto de cambio climático que se vive actualmente, este estudio puede ser considerado como referencia para los tomadores de decisión y puede ser usado como herramienta para la gestión del riesgo de desastres en nuestro país por parte de las autoridades encargadas.

El objetivo del estudio es identificar cambios en el comportamiento de las variables temperatura y precipitación en las cuatro cuencas evaluadas: Huaura, Chancay-Huaral, Chillón y Rímac para lo cual se van a utilizar los softwares RClimdex y TREND con series históricas de precipitación y temperatura del periodo entre 1970 - 2019. Diversos autores han usado el software RClimdex para determinar la variabilidad climática especialmente la variable precipitación.

Eventos de huaicos importantes en la cuenca Rímac que han ocurrido en el pasado, podemos mencionar el de la quebrada Paihua ubicada en la cuenca alta, que en tres oportunidades en 1878, febrero de 1959 y marzo de 1983 cayeron huaicos y bloquearon el cauce del río Rímac desviándolo y causando daños a las viviendas de los pobladores de Matucana. El embalse que se creó por la caída de estos huaicos se mantuvo por cuatro días hasta que fue dinamitado y de esta manera el río retoma su antiguo cauce (INGEMMET, 2005).

En el año 2007, Benavides representando a la Subdirección de Meteorología del IDEAM elaboró una Nota Técnica sobre los índices extremos climáticos para Colombia. En este trabajo se generaron indicadores para algunas ciudades del país en base a los datos históricos de precipitación acumulada diaria y de los extremos diarios de temperatura máxima y mínima correspondiente a 17 estaciones distribuidas por todo el país, datos que fueron usados en el software RClimdex. Como resultado obtuvo que en gran parte del país hay una tendencia al incremento de la precipitación anual, mientras que hacia el suroccidente se presenta una tendencia a la disminución, así como en zonas de la Cordillera oriental (Bogotá, Bucaramanga y Cúcuta) y en la Isla de San Andrés.

(Lavado, 2010) en su estudio “Tendencias en los extremos de lluvias cerca a la ciudad del Cusco y su relación con las inundaciones de enero del 2010” evaluó los índices extremos de precipitación para analizar la variabilidad climática, utilizó los siguientes índices de frecuencia: R10, R20 y CDW y los siguientes índices de intensidad: R95, R99 y RX1, obtuvo como resultado que la estación con más (menos) frecuencia e intensidad de lluvias diarias es la estación de Acomayo (Urubamba).

En el año 2016, Armenta realizó un análisis de tendencias climáticas y eventos climáticos extremos para todo Ecuador usando datos observados de precipitación y temperatura máxima y mínima para el periodo 2000-2015, empleó 125 estaciones con datos de precipitación y 36 estaciones con datos de temperatura máxima y mínima. Usó la herramienta RClimdex para las estaciones mencionadas y consideró 17 índices en su análisis. Los resultados mostraron incrementos en la temperatura de al menos 0,1°C/década, así como incrementos de los días y noches calientes y la reducción de los días y noches fríos para el Ecuador. La precipitación mostró incrementos en gran parte de la Sierra, y reducciones en la Costa, el sur y norte de la Sierra y parte de la Amazonía.

Para Khoir N. et al (2018), el cambio climático debido al incremento de concentración de gases de efecto invernadero ha originado cambios en los eventos climáticos extremos. En su estudio sobre tendencias en índices de temperatura y precipitación extrema considera como periodo de análisis los años 1986 al 2014 y utiliza 5 estaciones meteorológicas con datos diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación para el software RClimdex, donde evaluó los siguientes índices: TN10p, TN90p, TX10p, TX90p, TNn, TNx, TXn, TXx, DTR, RX1day, RX5day, RCPTOT, CDD, CWD y R95p, los resultados mostraron que Jakarta tiene número de días cálidos en incremento de acuerdo a las tendencias pero sin embargo las tendencias en la precipitación no son significantes y por lo tanto se concluyó que no hay cambio en la precipitación en Jakarta durante el periodo 1986-2014.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Análisis Doble Masa

El análisis doble masa es usada para verificar la consistencia de varios tipos de datos hidrológicos al comparar los datos de una sola estación con la de un patrón compuesto por los datos de otras estaciones en el área. Este análisis puede ser usado para ajustar datos de precipitación inconsistente. El gráfico de datos acumulados de una variable versus los datos acumulados de una variable relacionada es una línea recta, siempre que la relación entre las variables sea una razón fija. Quiebres en la curva doble masa indican cambios en la relación entre variables, estos cambios pueden ser debidos al cambio en el método de colección de datos o cambios físicos que afectan la relación.

2.2 El Niño Costero

Es un evento climático el cual, independientemente de los procesos físicos que lo puedan originar, está relacionado a la presencia de aguas anómalamente cálidas en forma persistente durante varios meses en la región del Océano Pacífico, principalmente a lo largo de la costa norte del Perú y de Ecuador.

2.3 Fenómeno El Niño

El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno natural caracterizado por la fluctuación de las temperaturas del océano en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial, asociada a cambios en la atmósfera. Este fenómeno tiene una gran influencia en las condiciones climáticas de diversas partes del mundo.

2.4 Huaico

Según el manual de estimación de riesgo de INDECI, huaico es un tipo de aluvión de baja magnitud, que se registra con frecuencia en las cuencas hidrográficas del país, generalmente durante el periodo de lluvias. En quechua se conoce como "lloclla", en inglés se conoce como debris flow y en países como Venezuela y Colombia lo conocen como avenida torrencial o flujo torrencial (INDECI, 2006).

2.5 Outlier

Se define outlier como una observación que se desvía bastante de otras observaciones como para despertar sospechas de que fue generada por un mecanismo diferente. (Hawkins, 1980).

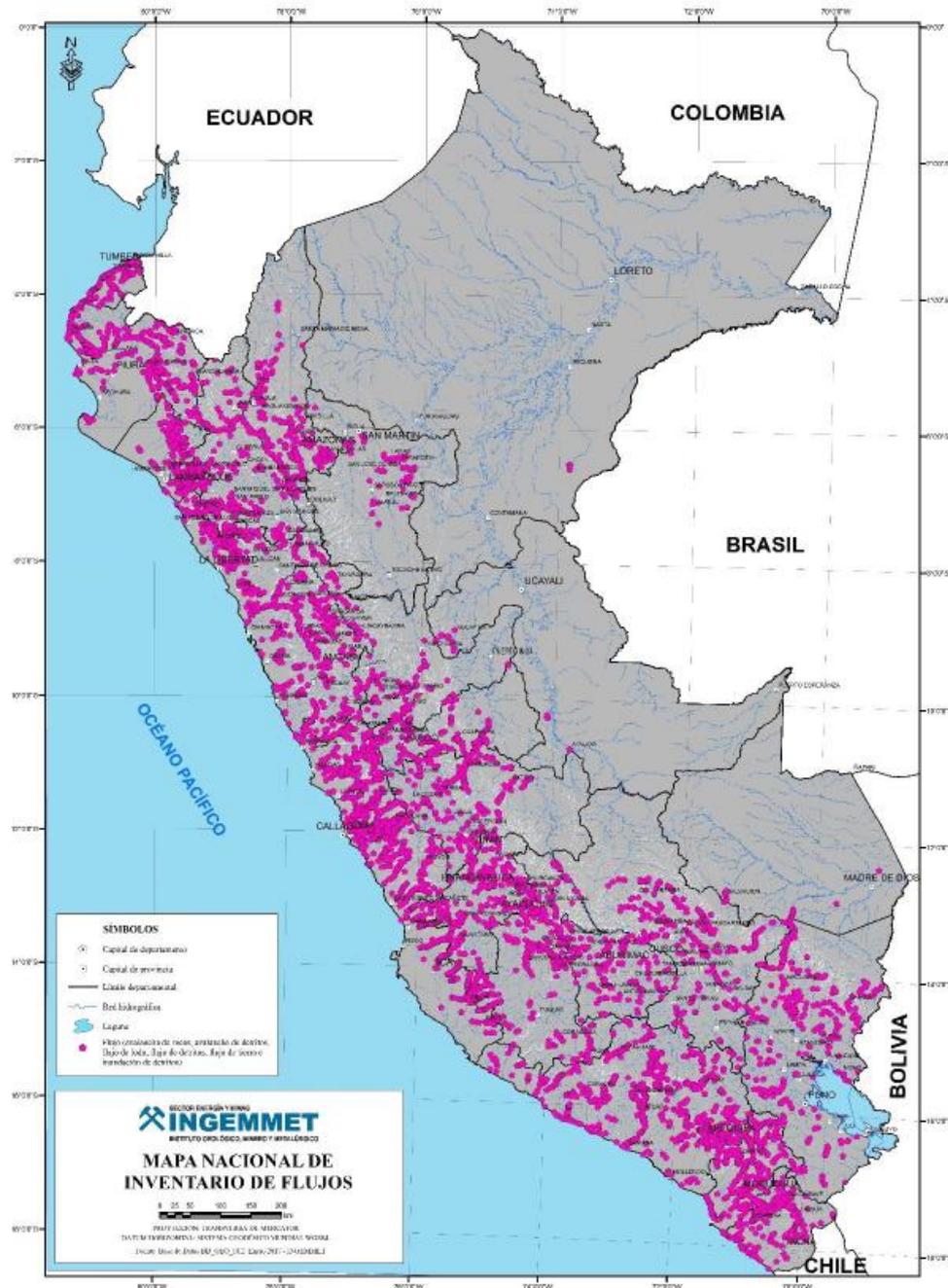


Figura 1. Mapa nacional de inventario de flujos
Fuente: INGGEMMET

2.6 Precipitación

Según el glosario de meteorología de la Sociedad Meteorológica Americana, precipitación son todos los hidrometeoros formados en la atmosfera, incluidos líquido, solido o una combinación de ambos, que son lo suficientemente grandes para caer como resultado de la gravedad.

2.7 Temperatura

Temperatura es la medida del calor o energía térmica promedio en una substancia. Las temperaturas del aire y del agua están determinadas principalmente por la cantidad de luz solar que es absorbida por la superficie de la Tierra y la cantidad de calor que es reirradiada en la atmósfera por los gases de efecto invernadero. La circulación atmosférica y oceánica redistribuye el calor por la superficie de la Tierra y da forma a los patrones de temperatura regionales.

Area de estudio

El área de estudio abarca las siguientes cuencas del departamento de Lima: Huaura, Chancay-Huaral, Chillón y Rímac.



Figura 2. Ubicación de las cuencas de estudio
Fuente: (Elaboración personal)

Cuenca del río Huaura

La cuenca del río Huaura, se ubica en la costa central del Perú al norte del departamento de Lima, se ubica entre las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud sur: 10°20' - 11°15'

Longitud oeste: 76°33' - 77°40'

La cuenca del río Huaura pertenece a la vertiente del Pacífico tiene un área de cuenca de 5,705 Km².

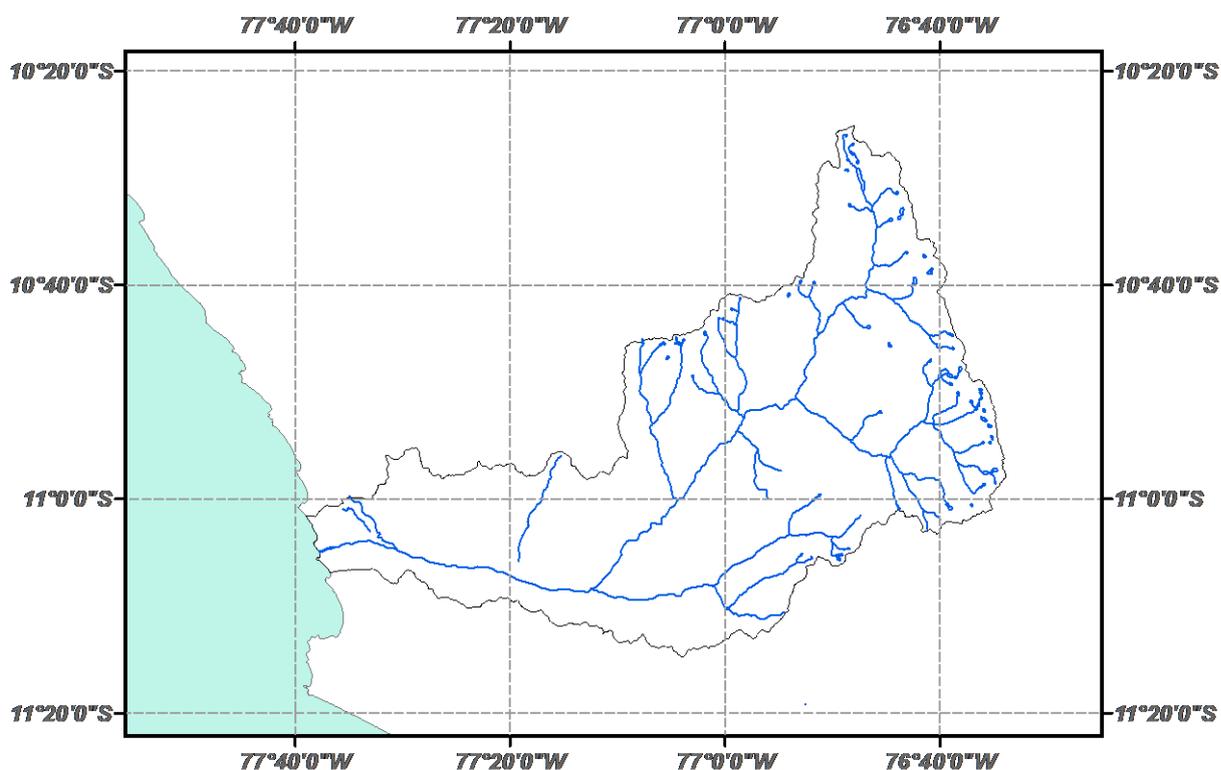


Figura 3. Ubicación de la cuenca Huaura

Fuente: (Elaboración propia)

Clima

La precipitación en la cuenca Huaura varía desde escasos milímetros en la costa árida y desértica, que está próxima al mar, hasta alrededor de los 1,500 mm, en las nacientes del río Quichas, por encima de la cota 4,800 m.s.n.m.

Cuenca del río Chancay-Huaral

La cuenca Chancay-Huaral está ubicada en la costa central del Perú en el norte del departamento de Lima, se ubica entre las latitudes 11°00'00" y 11°40'00" y las longitudes 76°26'00" y 77°20'00". Esta cuenca tiene una variación altitudinal de 0 - 5259 msnm., y tiene un área de 3 046 km².

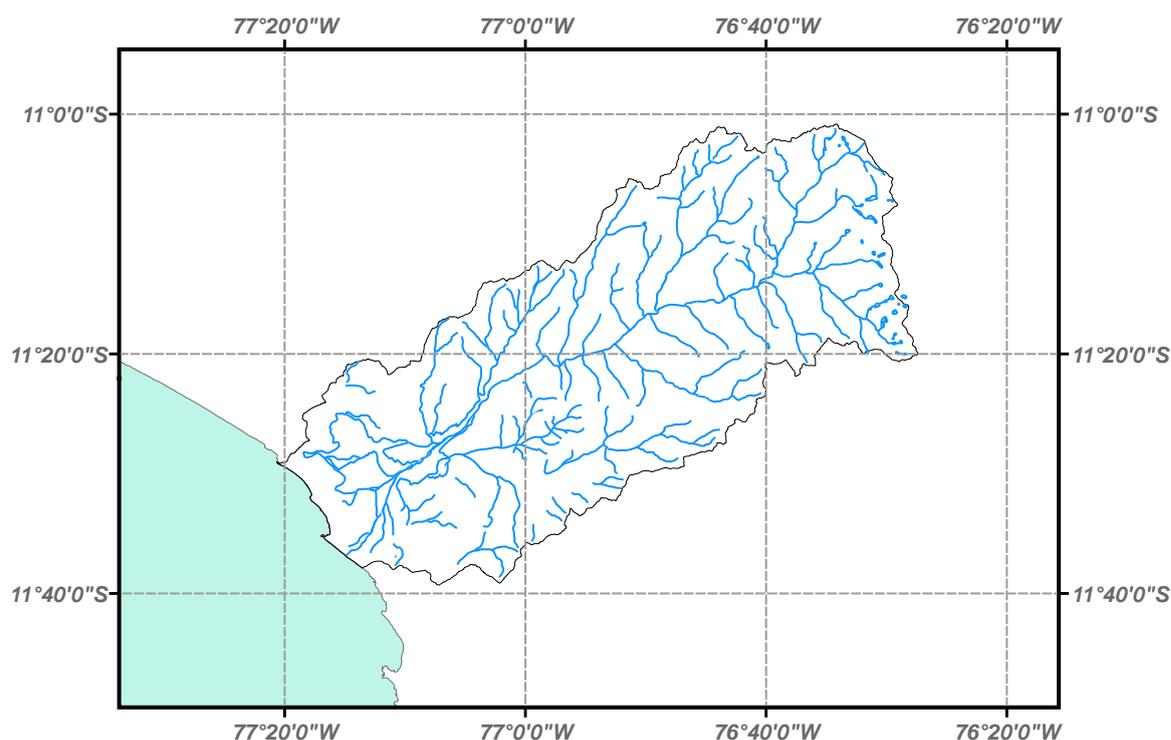


Figura 4. Ubicación de la cuenca Chancay-Huaral

Fuente: (Elaboración propia)

Clima

La precipitación en la cuenca Chancay-Huaral varía de escasos milímetros en la costa árida y desértica, hasta un promedio estimado de 933 mm en el sector de Puna (4800 m.s.n.m.); sobre esta altura se presentan precipitaciones en forma de granizo y nevada. Las temperaturas son variables con promedios que van desde los 21°C en la costa, hasta 0°C en las altas cumbres, y una humedad relativa de 78% en la Costa a 65% en la sierra.

Cuenca del río Chillón

La cuenca Chillón está ubicada en la costa central del Perú en el norte del departamento de Lima, se ubica entre las latitudes 11°18' y 12°00' y las longitudes 76°20' y 77°10'. Esta cuenca tiene una variación altitudinal de 0 - 4800 msnm., y tiene un área de 2 444 km².

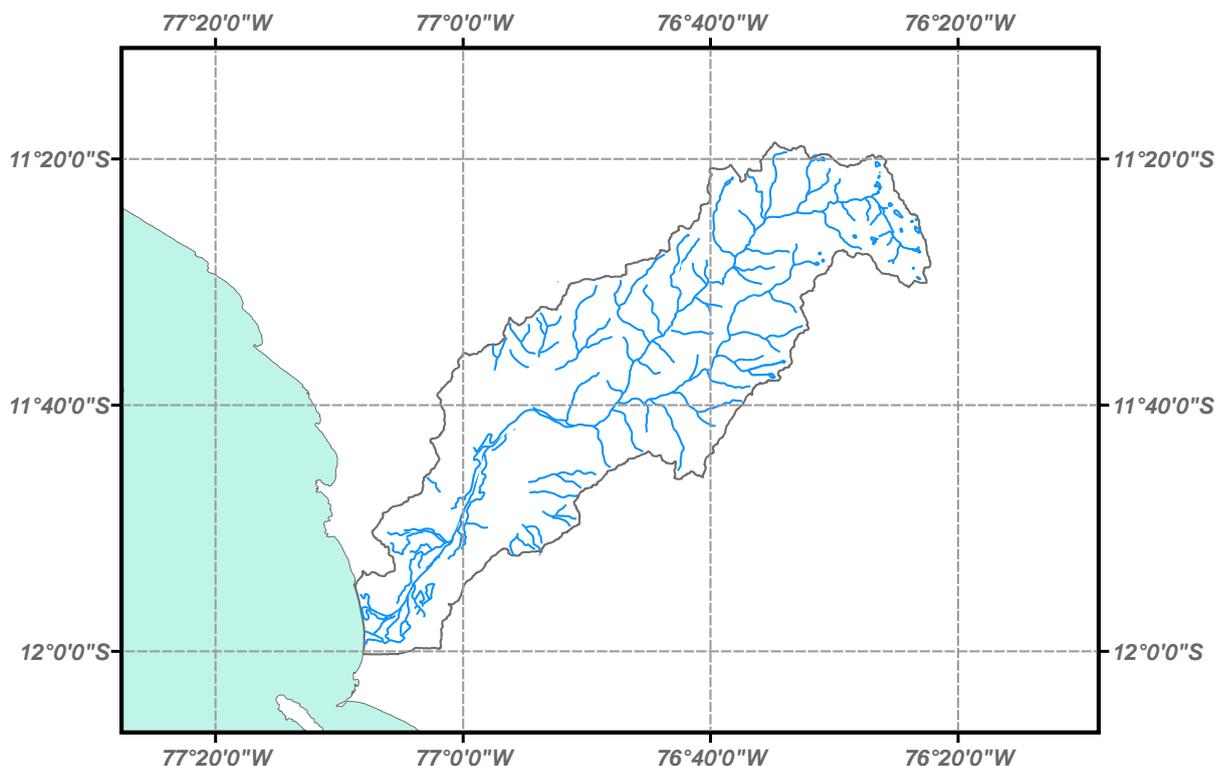


Figura 5. Ubicación de la cuenca Chillón

Fuente: (Elaboración propia)

Clima

Las precipitaciones son escasas a lo largo del año, en la costa la precipitación anual es inferior a los 50 mm, en la sierra las precipitaciones alcanzan un promedio anual de 700 mm. La temperatura máxima promedio se presenta durante los meses de febrero y marzo mientras que la temperatura mínima se presenta en promedio durante los meses de mayo a agosto.

Cuenca del río Rímac

La cuenca Rímac está ubicada en la costa central del Perú en el norte del departamento de Lima, se ubica entre las latitudes 11°27' y 12°12' y las longitudes 76°03' y 77°09'. Esta cuenca tiene una variación altitudinal de 0 - 5508 msnm., y tiene un área de 3 500 km².

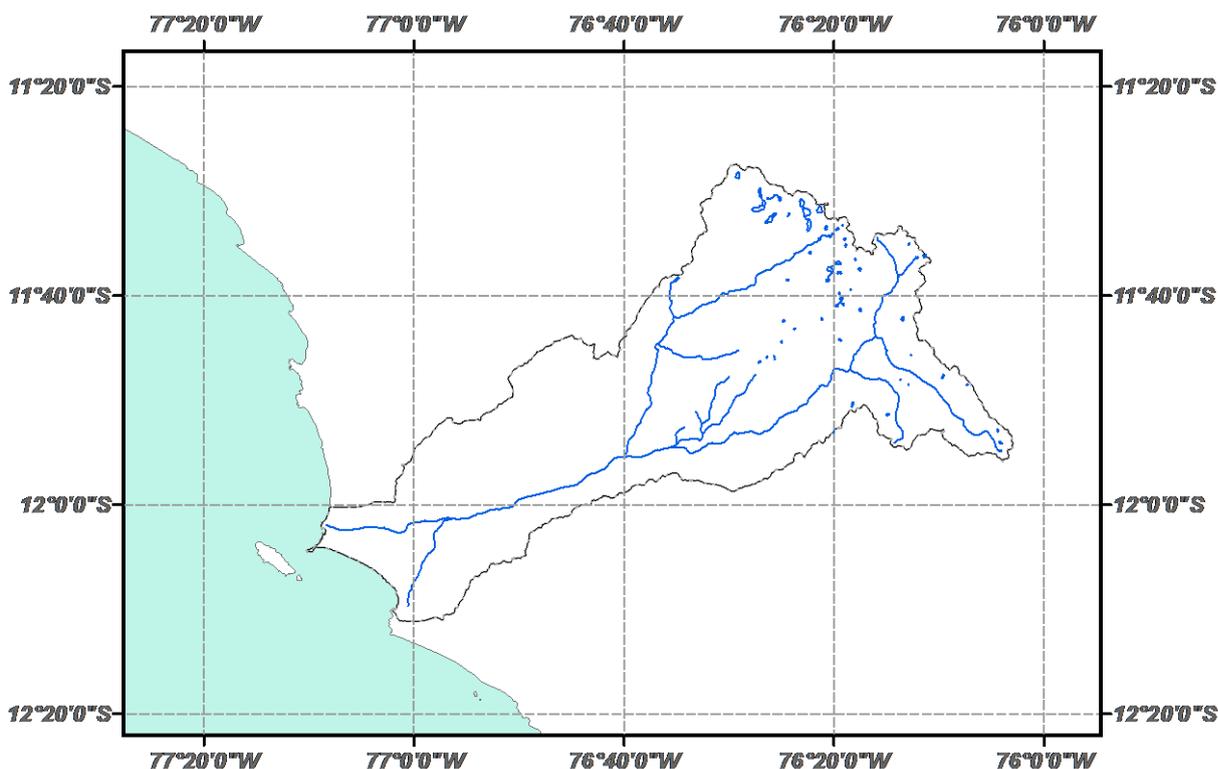


Figura 6. Ubicación de la cuenca Rímac

Fuente: (Elaboración propia)

Clima

La precipitación total anual es escasa en la costa, varía desde 0.6 mm hasta 874.5 mm (San Cristóbal). Los valores más altos se registran en la parte alta de la cuenca.

Datos

Este estudio ha recopilado información diaria de precipitación y temperatura de estaciones meteorológicas de SENAMHI de 4 cuencas del departamento de Lima: Huaura, Chancay-Huaral, Chillón y Rímac, para el periodo del 01 de enero de 1970 al 31 de diciembre de 2019 (Ver Tablas 1 a 4).

Asimismo, se ha recopilado información de los principales huaicos que han ocurrido en estas 4 cuencas (Ver Tabla 5).

Tabla 1. Coordenadas de estaciones de precipitación y temperatura en cuenca Huaura

Estación	Altitud	Latitud	Longitud	Dpto.	Provincia	Variable
Isla Don Martin	8	11° 1' 13"	77° 40' 15"	Lima	Huaura	P y T
Alcantarilla	131	11° 3' 38.45"	77° 33' 0.38"	Lima	Huaura	P y T
Andahuasi	770	11° 8' 1"	77° 14' 1"	Lima	Huaura	T
Andajes	2707	10° 47' 00"	76° 54' 00"	Lima	Oyon	P
Picoy	3013	10° 55' 17.82"	76° 44' 13.24"	Lima	Huaura	P y T
Paccho	3208	10° 57' 21.67"	76° 56' 5.02"	Lima	Huaura	P
Oyon	3652	10° 40' 3.69"	76° 46' 7.33"	Lima	Oyon	T

Tabla 2. Coordenadas de estaciones de precipitación y temperatura en cuenca Ch-Huaral

Estación	Altitud	Latitud	Longitud	Dpto.	Provincia	Variable
Donoso	127	11° 31' 15.59"	77° 14' 8.39"	Lima	Huaral	P y T
Lomas de Lachay	416	11° 21' 36.51"	77° 22' 6.21"	Lima	Huaral	P y T
Pallac	2367	11° 20' 55.46"	76° 48' 28.94"	Lima	Huaral	P
Santa Cruz	2583	11° 11' 53.78"	76° 38' 5.5"	Lima	Huaral	P
Pirca	3314	11° 13' 58.09"	76° 39' 18.48"	Lima	Huaral	P

Tabla 3. Coordenadas de estaciones de precipitación y temperatura en cuenca Chillón

Estación	Altitud	Latitud	Longitud	Dpto.	Provincia	Variable
Aeropuerto	127	12° 1' 27.26"	77° 06' 39.38"	Lima	Huaral	P y T
Arahuay	346	11° 27' 10.11"	77° 7' 19.22"	Lima	Huaral	P
Huamantanga	416	11° 30' 8.9"	76° 44' 48.3"	Lima	Huaral	P
Huaros	2367	11° 24' 26.75"	76° 34' 32.89"	Lima	Huaral	P
Pariacancha	3314	11° 23' 37.1"	76° 30' 10.6"	Lima	Huaral	P

Tabla 4. Coordenadas de estaciones de precipitación y temperatura en cuenca Rímac

Estación	Altitud	Latitud	Longitud	Dpto.	Provincia	Variable
Von Humboldt	247	12° 4' 55.63"	76° 56' 21.39"	Lima	Lima	P y T
Chosica	867	11° 55' 47.48"	76° 41' 23.09"	Lima	Lima	P
Santa Eulalia	970	11° 55' 12"	76° 39' 59.9"	Lima	Huaro-chiri	P
Autisha	2220	11° 44' 17.34"	76° 36' 39.7"	Lima	Huaro-chiri	P
Matucana	2417	11° 50' 20.86"	76° 22' 40.9"	Lima	Huaro-chiri	P y T
Carampoma	3424	11° 39' 18.1"	76° 30' 54.49"	Lima	Huaro-chiri	P
San José Párac	3829	11° 48' 1.89"	76° 15' 29.2"	Lima	Huaro-chiri	P

Periodo de información disponible

A continuación se muestran los gráficos con la información disponible por estación y para las 4 cuencas.

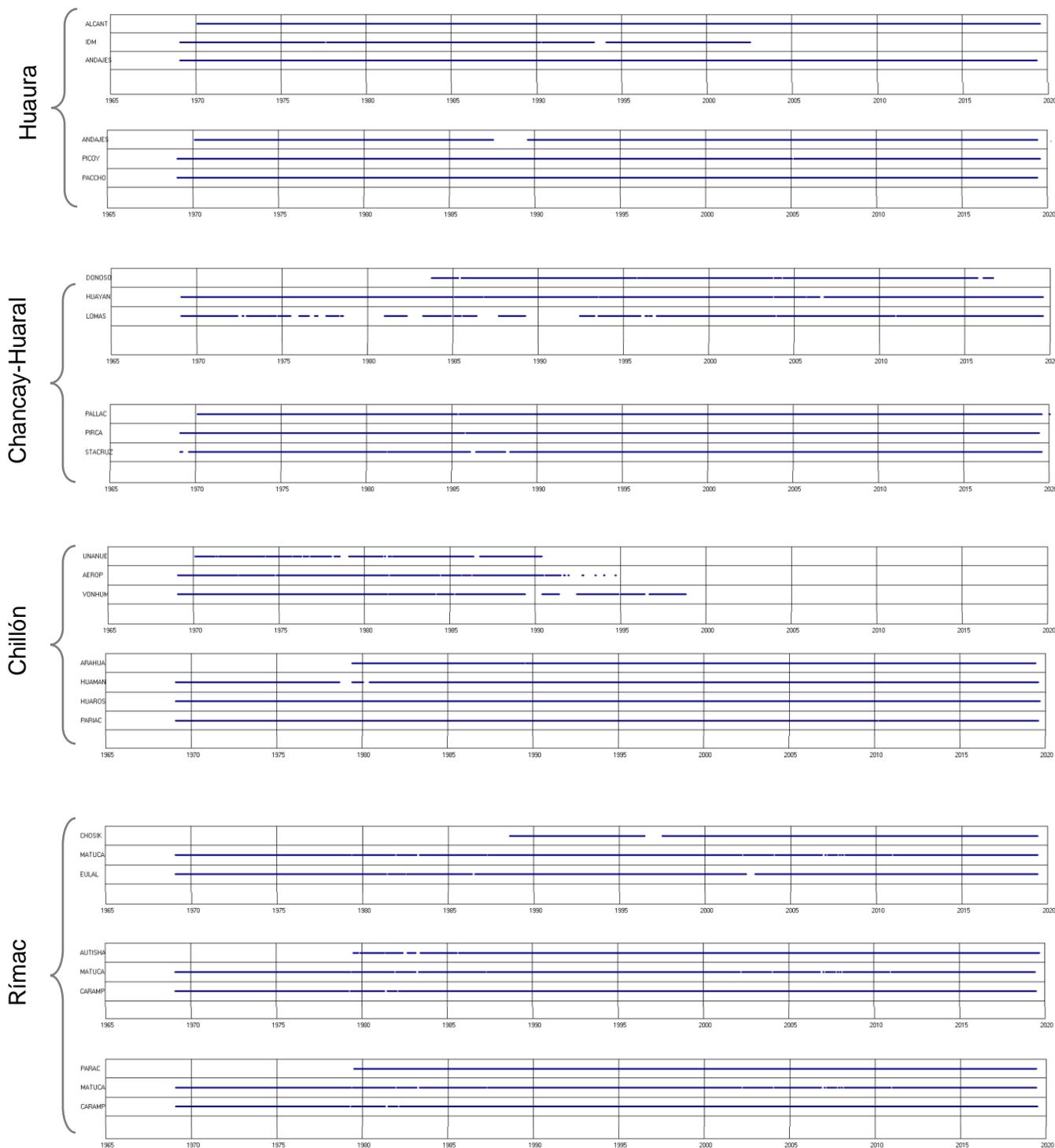


Figura 7. Periodos de información disponible de datos de precipitación

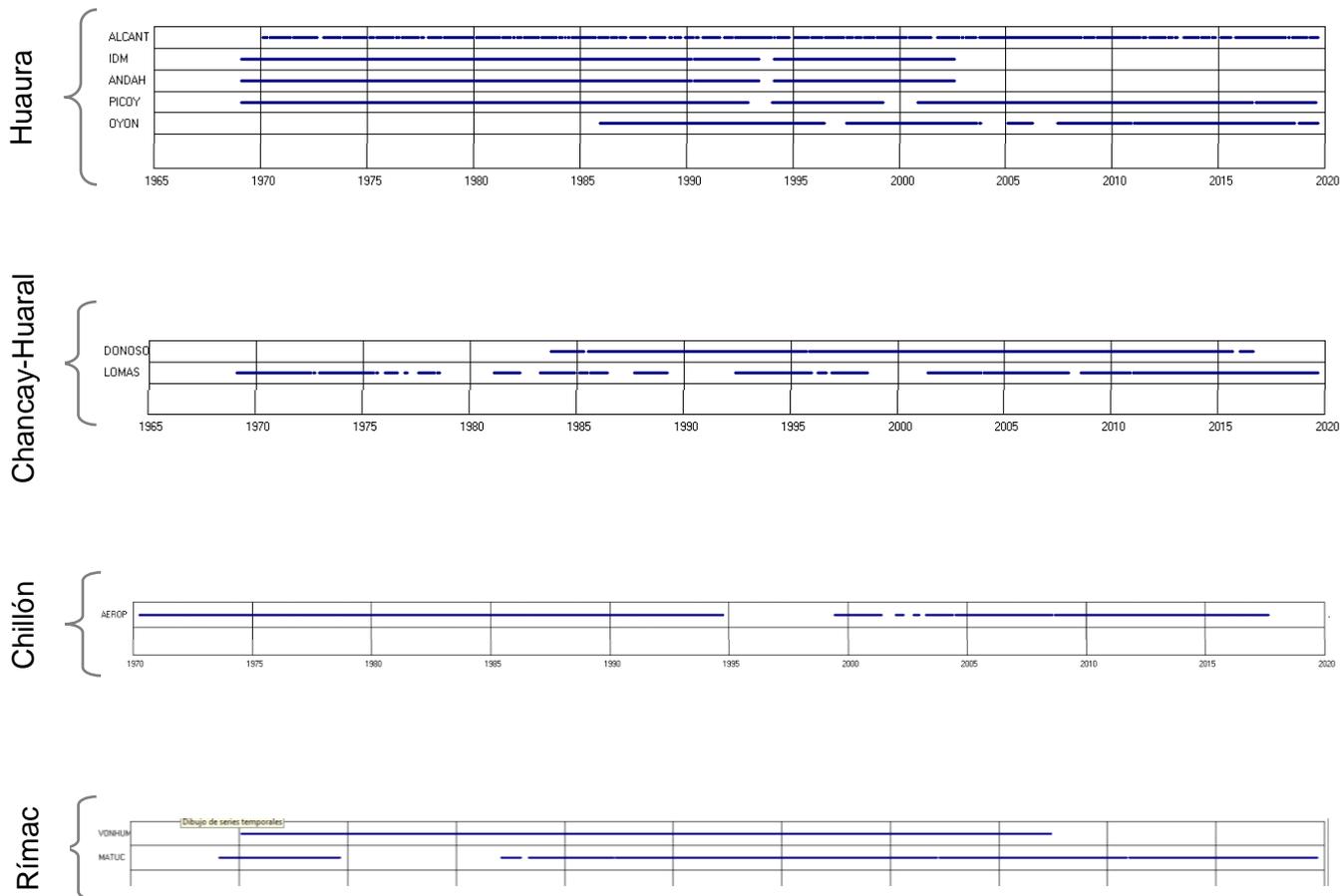


Figura 8. Periodos de información disponible de datos de temperatura

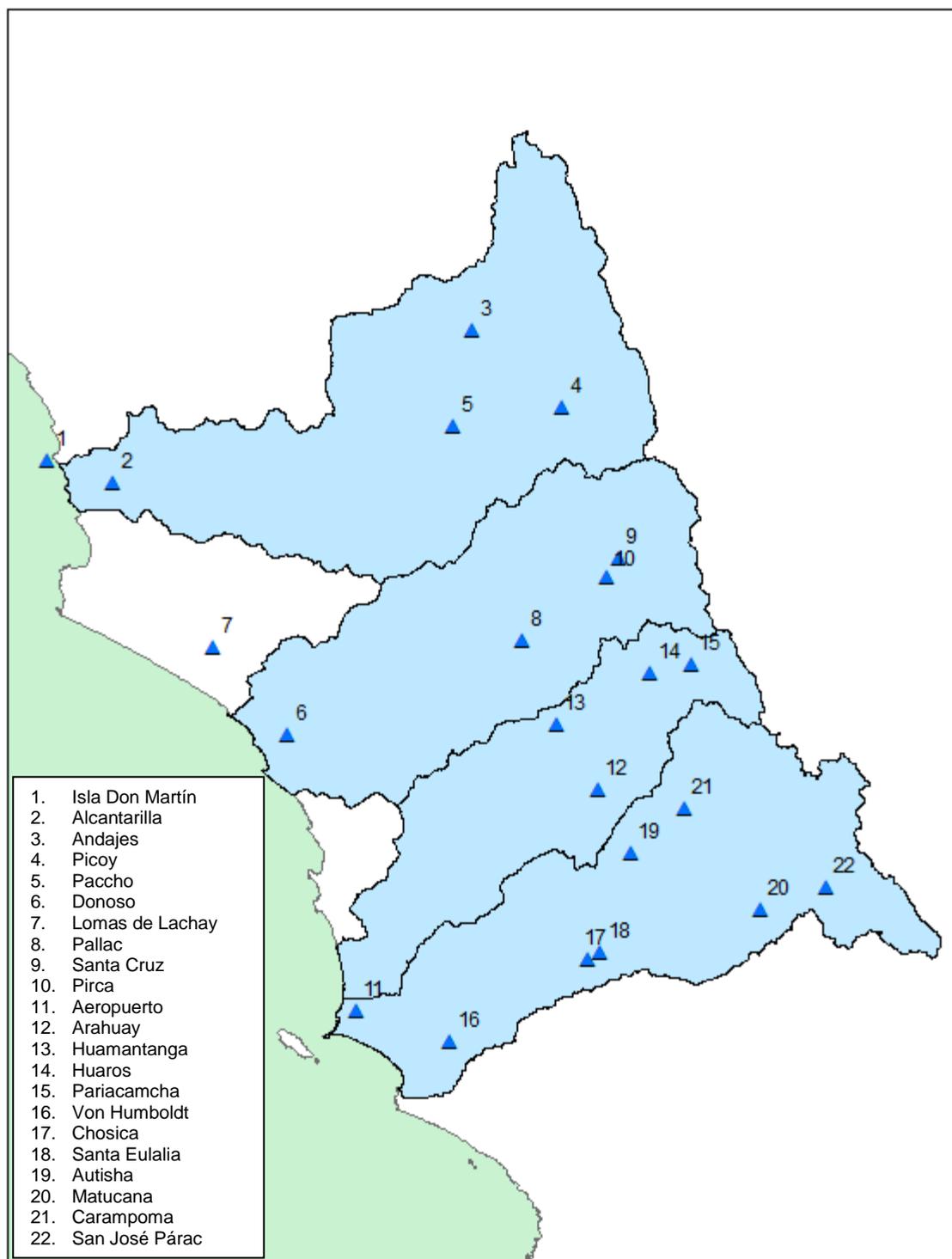


Figura 9. Ubicación de estaciones de precipitación

Fuente: (Elaboración propia)

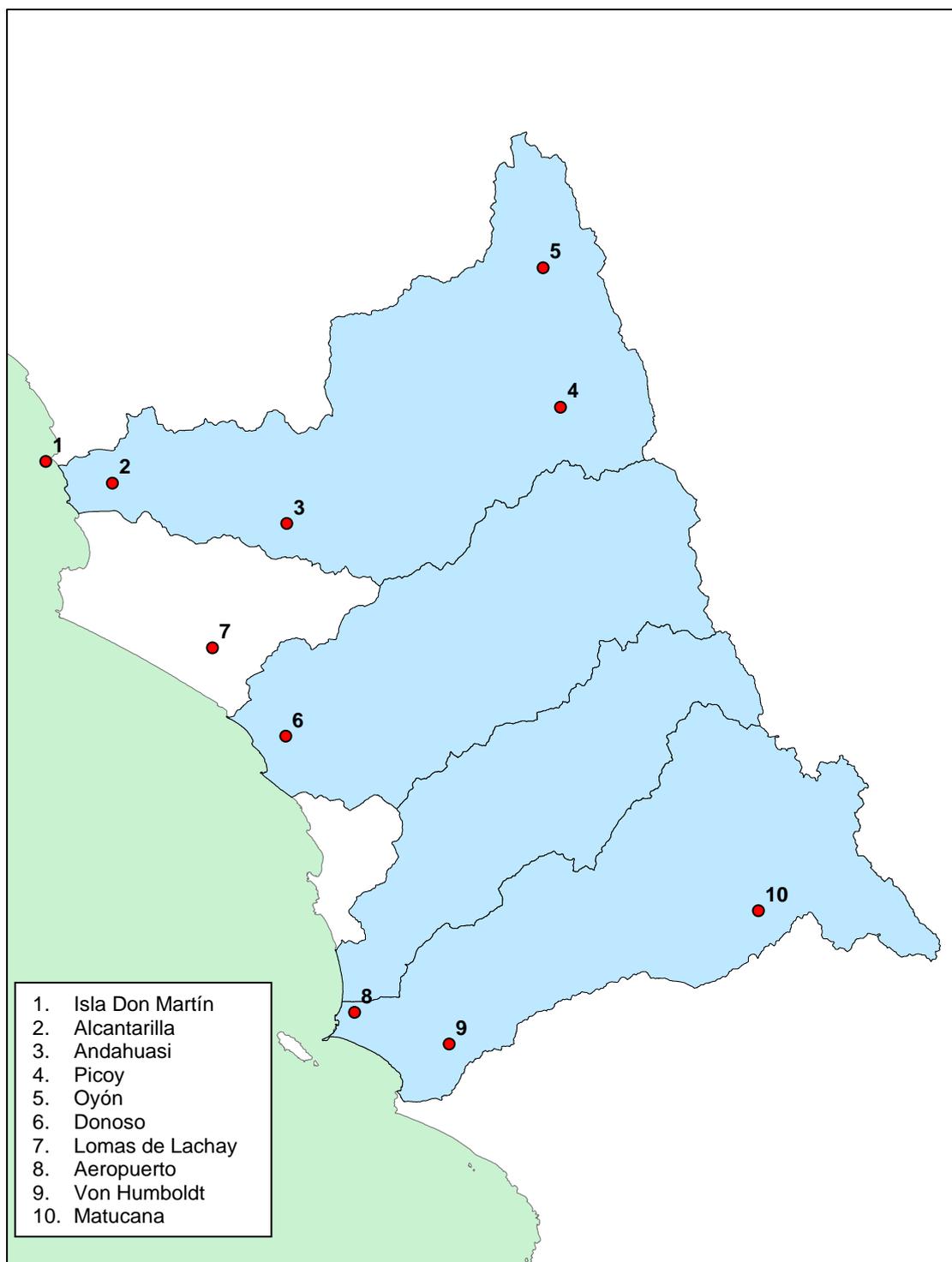


Figura 10. Ubicación de estaciones de temperatura

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 5. *Resumen de huaicos ocurridos en las cuencas de estudio*

	CUENCAS			
	Huaura	Huaral	Chillon	Rimac
2003	0	0	2	2
2004	1	0	0	0
2005	0	0	0	0
2006	0	1	1	2
2007	0	0	0	0
2008	0	0	0	2
2009	0	0	0	3
2010	0	0	1	1
2011	0	0	0	0
2012	0	0	0	7
2013	1	0	0	0
2014	0	0	0	1
2015	2	1	0	4
2016	5	0	0	5
2017	25	24	21	71
2018	1	0	0	1
	35	26	25	99

Tabla 6. Huaicos reportados por INDECI en la cuenca Huaura

HUAURA		
2003		
2004	11/02/2004	Huaico en San Benito de Huaraz
2005		
2006		
2007		
2008		
2009		
2010		
2011		
2012		
2013	14/03/2013	Lluvias afectan distrito de Pachangara
2014		
2015	19/03/2015	Huayco en la zona de Sayan Huaura
	23/03/2015	Huayco en la quebrada Chambara
2016	01/04/2016	Huayco
	25/02/2016	Huayco en Oyón
	09/02/2016	Huayco en san miguel de huasa y puna
	28/02/2016	Huayco
	25/02/2016	Huayco en Tectahuayin Moroc y Churín
	15/03/2017	Huaico en el poblado de Chuquiquintay
	15/03/2017	Huayco en Yuncan bajo Huaycho
	15/03/2017	Huayco en el distrito de Ambar
	15/03/2017	Huayco
	14/03/2017	Activación del río seco Huacho
2017	15/03/2017	Huayco en la quebrada Ihuanco Sayan
	15/03/2017	Huayco en jr santa cruz y buenos aires
	15/03/2017	Huayco daño muros de puente balta Sayan
	15/03/2017	
	15/03/2017	Huayco en poblado Pueblo Nuevo
	31/01/2017	Huayco en quebradas de la mina
	25/01/2017	Huayco
	15/02/2017	Huayco
	16/03/2017	Huayco
	16/03/2017	Derrumbes en grandes proporciones
	01/04/2017	Huayco en distrito de Santa Leonor
	16/03/2017	Huayco en quebrada seca de Chambara
	15/03/2017	Huayco en santa rosa Sayan
	02/03/2017	Huayco en km 28
	17/02/2017	Huayco en quebrada de Quintay
	15/03/2017	Derrumbes en grandes proporciones
14/03/2017	Huayco en el distrito de Ambar	
15/03/2017	Huayco en quebrada de río chico Sayan	
27/02/2017	Huayco	
16/03/2017	Huayco en el distrito de Santa María	
2018	01/03/2018	Huaico en el distrito de Cochamarca

Tabla 7. Huaicos reportados por INDECI en la cuenca Chancay-Huaral

CHANCAY-HUARAL		
2003		
2004		
2005		
2006	17/4/2006	Huayco
2007		
2008		
2009		
2010		
2011		
2012		
2013		
2014		
2015	23/03/2015	Huayco en Subimilca
2016		
	15/03/2017	Huayco en Vichaycocha y Pacaraos
	15/03/2017	Huaico en Pacaraos
	16/03/2017	Huayco en Atavillos bajo
	15/03/2017	Huayco en Yuncan bajo Huaycho
	14/03/2017	Huayco
	15/01/2017	Huayco
	08/03/2017	Huaycos en Carac y Coto
	14/03/2017	Huayco
	08/02/2017	Huayco
	27/01/2017	Huayco
	15/03/2017	Huayco
2017	15/03/2017	Huaycos en Canchapioca
	02/02/2017	Huayco en Pacaraos rio Ocurin
	28/03/2017	Huayco
	31/01/2017	Huayco en la zona de ihuari
	15/03/2017	Huayco en Vichaycocha y Pacaraos
	17/03/2017	Huayco
	31/01/2017	Huayco
	17/03/2017	Huayco
	15/03/2017	Huayco en Cuyo bajo
	19/03/2017	Huayco
	03/02/2017	Huayco en la zona de ihuari
	05/02/2017	Huayco
	17/03/2017	Huayco
2018		

Tabla 8. Huaicos reportados por INDECI en la cuenca Chillón

CHILLON		
2003	7/01/2003	Huayco en carretera a Canta
	5/03/2003	Huayco en Tambo
2004		
2005		
2006	30/01/2006	Huaico en Santa Rosa de Quives y Arahuay
2007		
2008		
2009		
2010	2/01/2010	Huayco en Comas
2011		
2012		
2013		
2014		
2015		
2016		
2017	15/04/2017	Huayco en San Juan de Viscas
	02/02/2017	Huayco en Jicamarca anexo 22
	19/03/2017	Huayco en el distrito de Huamantanga
	15/02/2017	Erosión fluvial con colapso de muro
	01/02/2017	Canal de regadío de Chucho a Colo
	04/02/2017	Canal de regadío de Parpamcay
	09/02/2017	Colapso de canal en Huamantanga
	10/02/2017	Colapso del canal de regadío a Pampoco
	03/02/2017	Colapso del canal en Rauchami
	28/03/2017	Huayco en Canta
	01/02/2017	Colapso del canal en Panizo
	15/01/2017	Huayco
	18/01/2017	Huayco
	21/01/2017	Huayco
	26/01/2017	Huayco
	08/02/2017	canal de regadío de Cashahuacra
	08/02/2017	Colapso del canal de Shonconca
	09/02/2017	Colapso del canal de Pucahuari
	09/02/2017	canal de regadío de Ayauque
	09/02/2017	canal de regadío de Argua a chucho
01/04/2017	Huayco en Socos Puruchuco	
2018		

Tabla 9. Huaicos reportados por INDECI en la cuenca Rímac

RIMAC		
2003	8/03/2003	Huayco en la quebrada Tambo de Viso
	8/03/2003	Huayco en la quebrada de Chacaya
2004		
2005		
2006	4/02/2006	Huayco afectó carretera en Santa Eulalia
	4/02/2006	Huayco afecto quebradas en Santa Eulalia
2007		
2008	21/02/2008	Huayco en el km 51 de la carretera central distrito de Cocachacra
	21/02/2008	Huayco en quebrada de Santa Eulalia
2009	13/02/2009	Huayco devasto el distrito de Ricardo Palma
	12/03/2009	Huaycos afectan distritos de Huarochiri
	13/03/2009	Huaycos causan destrozos en Ricardo Palma
2010	8/01/2010	Huayco destruyo viviendas en tablada Lurín
2011		
2012	5/04/2012	Huayco afecta población de Chosica
	5/04/2012	Huayco
	5/01/2012	Huayco en quebrada Los Condores
	5/04/2012	Huayco afecta Chaclacayo
	5/04/2012	Huayco afecta AAHH San Juan de Nuevo Cupiche
	8/01/2012	Huayco
2013	5/04/2012	Huayco
2014	2/03/2014	Huaycos en Huinco Prov. Huarochiri
2015	23/03/2015	Huayco en Huachupampa
	9/02/2015	Huayco
	23/03/2015	Huayco en Huarochiri
	23/03/2015	Huayco
2016	29/02/2016	Huayco en Huanza Huarochiri
	5/02/2016	Huayco
	20/03/2016	Huayco
	9/02/2016	Huayco en Huarochiri
	25/02/2016	Huayco
2017	27/02/2017	Huayco
	15/03/2017	Huayco en San Mateo de Otao
	26/03/2017	Huayco
	19/04/2017	Huayco sepulta PRONOEI en Barbablanca
	16/03/2017	Huayco
	15/03/2017	Huayco en Cusipata
	02/02/2017	Huayco en Jicamarca Anexo 22
	14/03/2017	Huayco en Carampoma
	16/03/2017	Huaycos y desbordes en Santa Eulalia
	⋮	⋮
2018	2/03/2018	Huayco

III. METODOLOGÍA

3.1 Prueba Estadística Mann Kendall

Es una prueba estadística que se utiliza para determinar si hay una tendencia en la serie de tiempo de los datos. Es un test no paramétrico en el cual los n valores de las series temporales ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) son remplazados por sus respectivos rankings relativos ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$) (desde el primero hasta el último " n "). El test estadístico S es:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(R_j - R_i) \right]$$

Donde n es el número de datos, R_i y R_j son los valores de los datos en las series de tiempo i, j . ($j > i$), respectivamente, y $\text{sgn}(R_j - R_i)$ es la función sign, que se describe a continuación:

$$\text{sgn}(R_j - R_i) = \begin{cases} +1 & \text{Si } R_i - R_j > 0 \\ 0 & \text{Si } R_i - R_j = 0 \\ -1 & \text{Si } R_i - R_j < 0 \end{cases}$$

Si la hipótesis nula H_0 es verdadera, entonces S tiene una distribución aproximadamente normal con:

$$\mu = 0$$

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

Por lo tanto, el estadístico z son comparados con los valores estadísticos de prueba críticos para diferentes niveles de significancia pueden ser obtenido de tablas de probabilidad normal:

$$Z = \frac{|S|}{\sigma^{0.5}}$$

Un valor positivo de S indica que hay una tendencia creciente y viceversa.

Otros autores lo definen como una prueba no paramétrica implementada para el análisis de series de tiempo climatológicas, que, a diferencia de las pruebas paramétricas, es menos sensible a los valores atípicos (González, Alaniz, y Arriaga, 2018).

3.2 Prueba Estadística T Student

La prueba t de Student, también llamada Test-T o simplemente prueba t, es una prueba estadística en la que el estadístico de la prueba sigue una distribución t de Student. Por lo tanto, en estadística, la prueba t de Student se usa para rechazar o aceptar la hipótesis nula de una prueba de hipótesis

Este método prueba si las medias en 2 periodos distintos son diferentes. La prueba asume que los datos son normalmente distribuidos. En la prueba estadística T de Student, t es el valor crítico de la prueba estadística para varios niveles de significancia los cuales pueden ser obtenidos de las tablas estadísticas t de Student.

$$t = \frac{(\bar{x} - \bar{y})}{S \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}}$$

Donde x e y son las medias del primer y segundo periodos respectivamente, m y n son el número de observaciones en el primer y segundo periodo, S es la desviación estándar simple (del total de observaciones de m y n).

3.3 RCLIMDEX

RClimdex (1.0) es un paquete que se ejecuta en lenguaje de programación R, se diseñó para calcular índices extremos climáticos. El programa calcula 27 índices recomendados por el equipo de expertos del CCI/CLIVAR para el monitoreo y detección del cambio climático e índices (ETCCDMI) así como también otros índices de temperatura y precipitación con umbrales fijados por el usuario.

Se uso el software RClimDex para procesar la información y generar los índices climáticos (Zhang y Yang, 2004) mediante la sistematización y organización de datos de precipitación y temperatura máxima y mínima de estaciones a escala diaria de las cuatro cuencas de Lima, con el fin de ajustarlos a los formatos de entrada de los archivos requeridos por el programa.

De los 27 índices climáticos que calcula el software RClimdex, 16 son índices relacionados con la temperatura y 11 son índices relacionados con la precipitación.

En este estudio, se han empleado los siguientes índices climáticos:

Tabla 10. Índices usados para la precipitación

ID	Nombre del Indicador	Definición	Unidad
CDD	Número de días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con precip < 1 mm	Días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con precip \geq 1 mm	Días
R10	Número de días con precipitación intensa	Número de días en un año en que precip \geq 10 mm	Días
PRCPTOT	Precipitación total anual en los días húmedos	Precipitación anual total en los días húmedos	mm
R95	Días muy húmedos	Precipitación anual total en que precip > 95% percentil	mm
R99	Días extremadamente húmedos	Precipitación anual total en que precip > 99% percentil	mm
RX1DAY	Cantidad máxima de precipitación en un día	Máximo mensual de precipitación en un día	mm

Tabla 11. Índices usados para la temperatura

ID	Nombre del Indicador	Definición	Unidad
DTR	Rango de temperatura diurna	Diferencia mensual promedio entre Temp. Max y Temp. Min.	° C
TNN	Mínimo de la temperatura mínima	Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria	° C
TNX	Máximo de la temperatura mínima	Valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria	° C
TR20	Noches calientes	Días al año cuando la temperatura mínima diaria > 20 ° C	Días
SU25	Días de verano	Días al año con temperatura máxima diaria > 25 ° C	Días

3.4 TREND

TREND es un software diseñado para el cálculo de pruebas estadísticas para tendencia, cambio y aleatoriedad en datos hidrológicos y otras series de tiempo. TREND tiene 12 pruebas estadísticas basado en el taller de expertos en detección de cambios/tendencias de la OMM/UNESCO y en la publicación del CRC para hidrología de cuencas “Hydrological Recipes: Estimation Techniques in Australian Hydrology”.

IV. RESULTADOS

En esta parte del estudio y en base a los datos de precipitación y temperatura recopilados en el periodo 1970-2019, se muestran los resultados obtenidos en los siguientes procesos: análisis exploratorio, análisis de outliers, análisis de doble masa, completación de datos y pruebas estadísticas.

4.1 Análisis exploratorio

Se muestran los histogramas de precipitación de las estaciones en las 4 cuencas.

Cuenca Huaura:

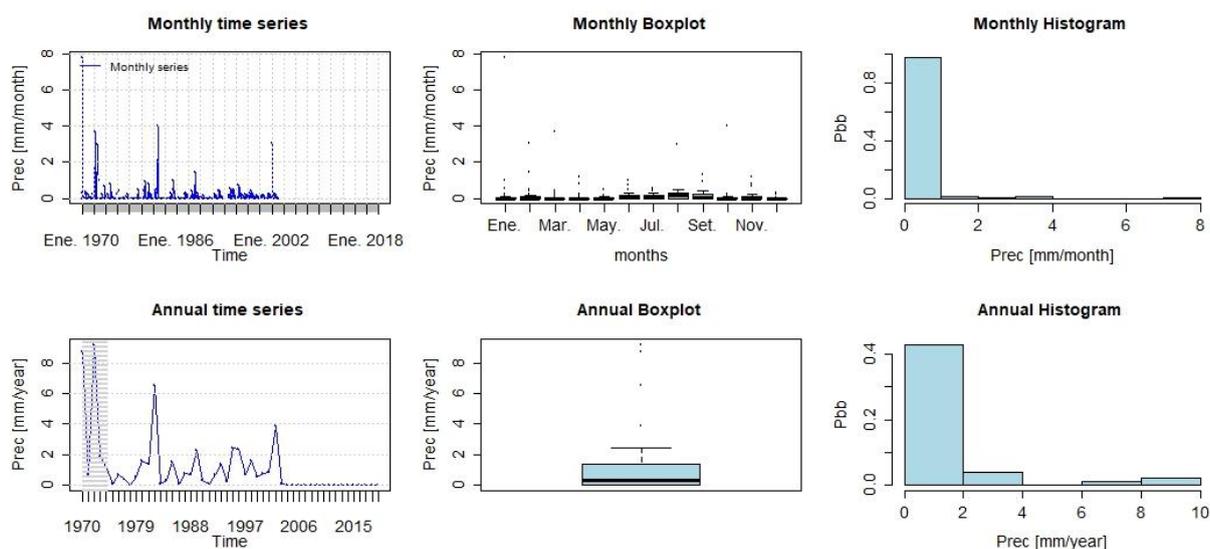


Figura 11. Análisis exploratorio estación Isla Don Martín

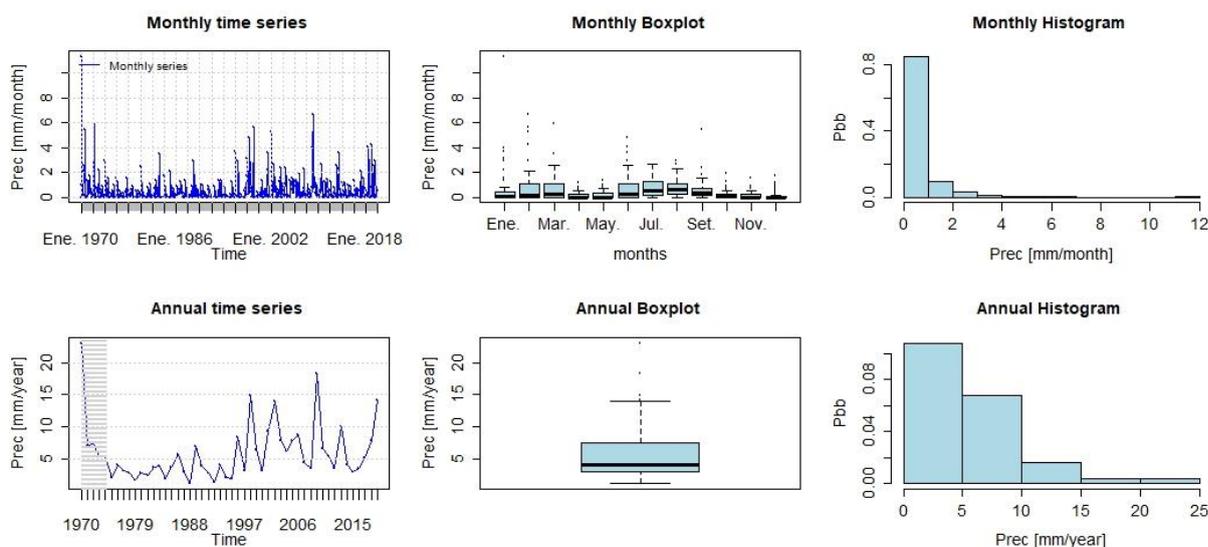


Figura 12. Análisis exploratorio estación Alcantarilla

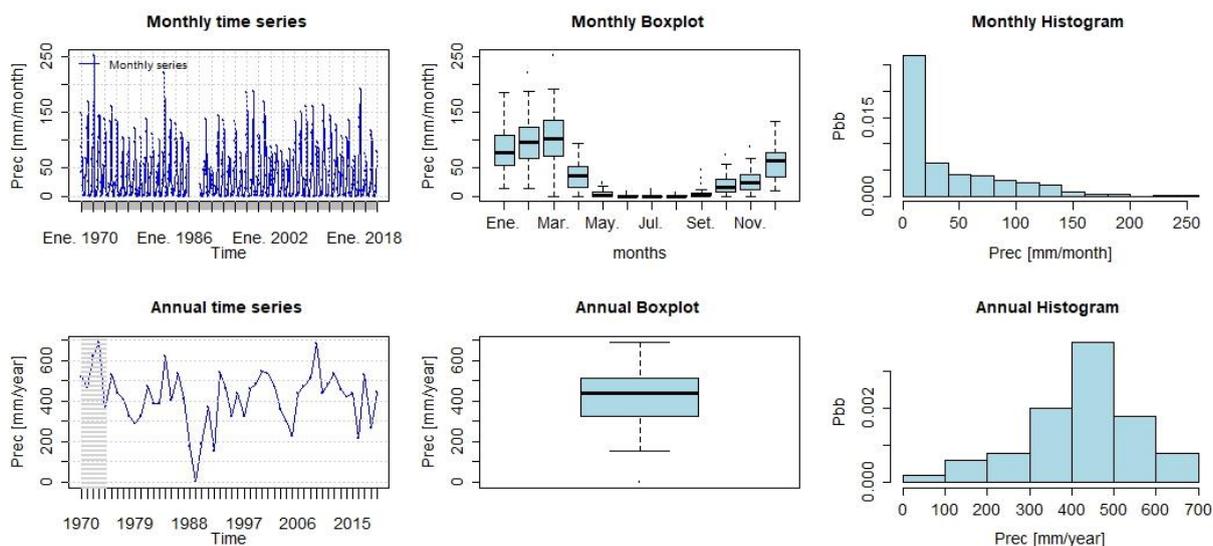


Figura 13. Análisis exploratorio estación Andajes

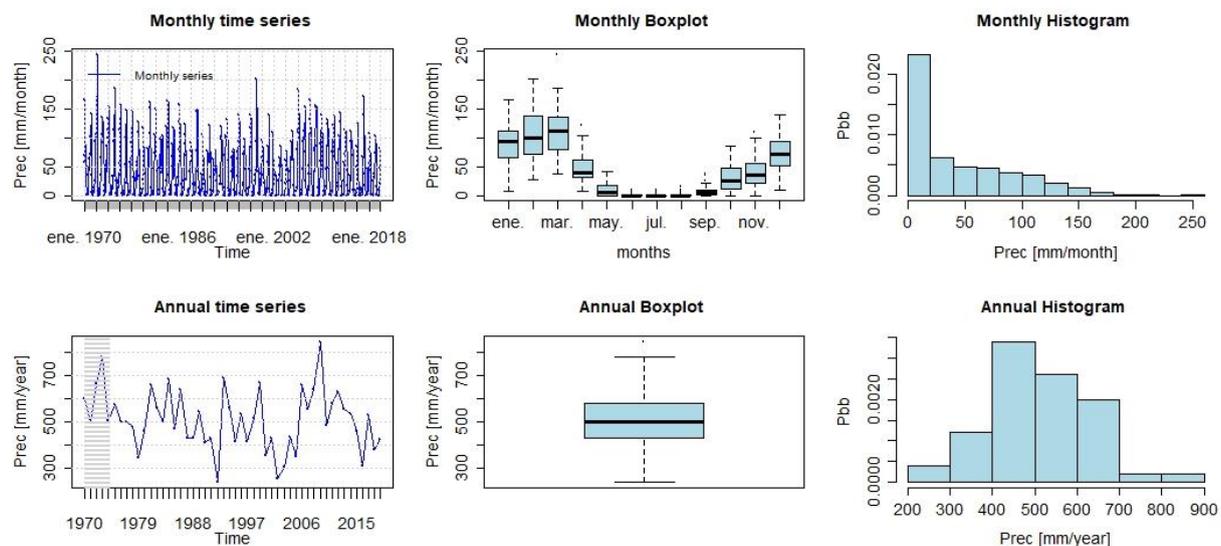


Figura 14. Análisis exploratorio estación Picoy

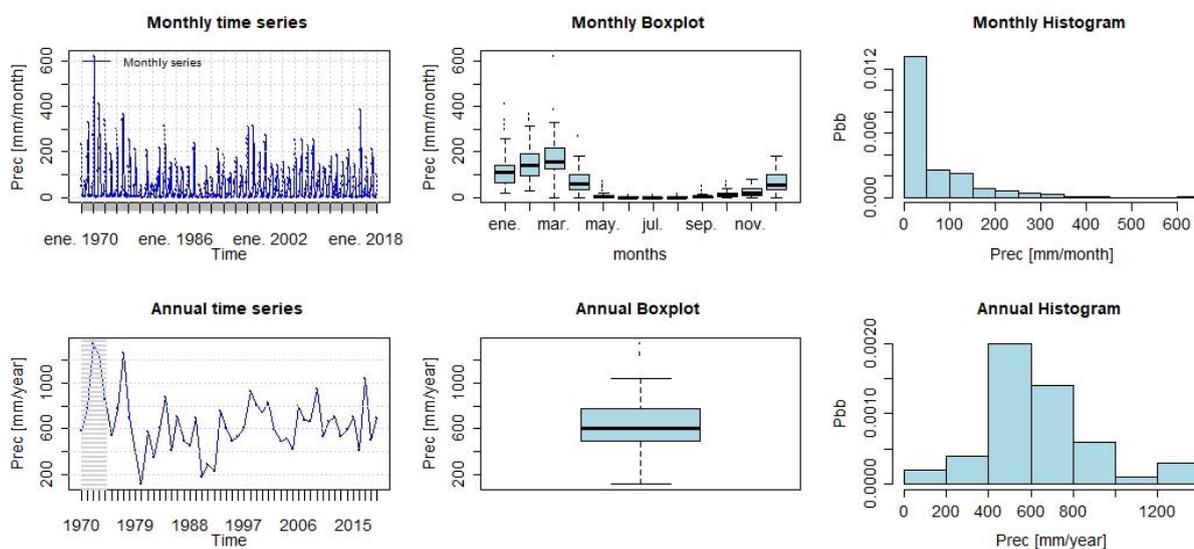


Figura 15. Análisis exploratorio estación Paccho

Cuenca Chancay-Huaral:

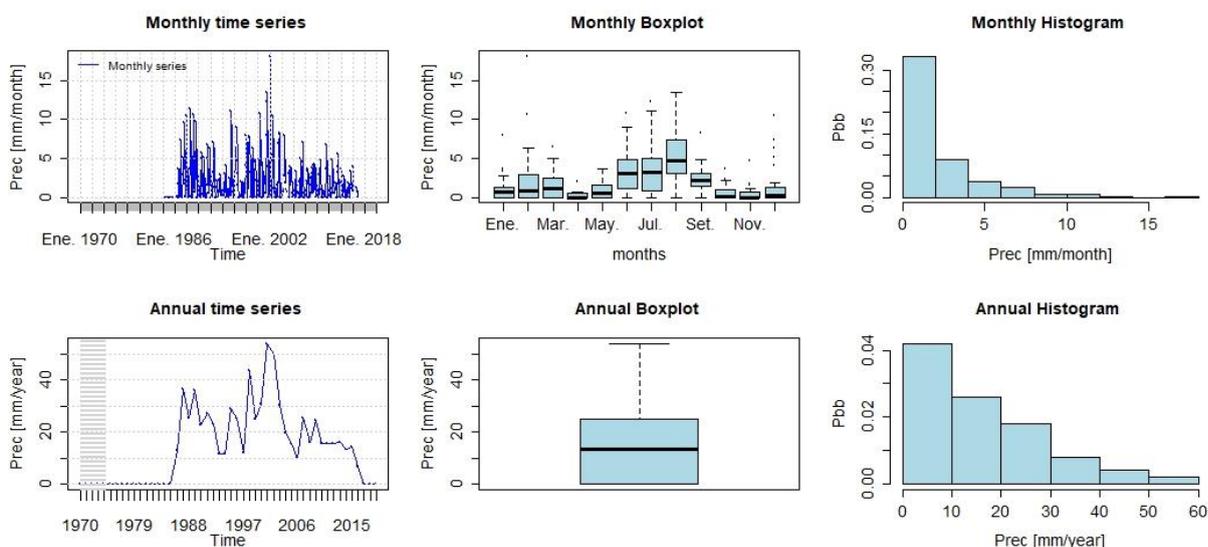


Figura 16. Análisis exploratorio estación Donoso

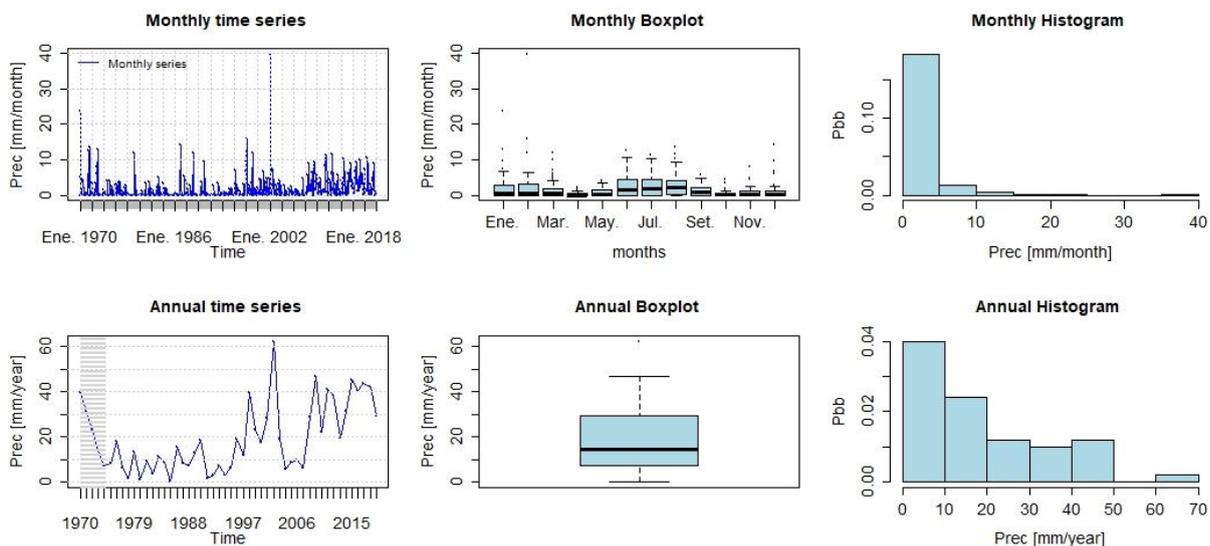


Figura 17. Análisis exploratorio estación Huayan

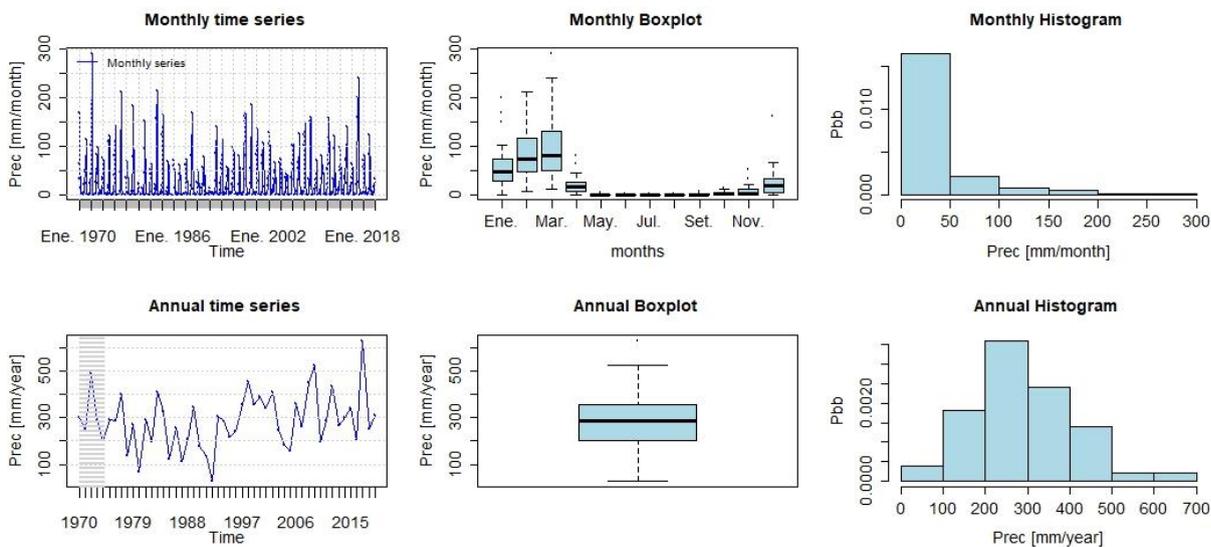


Figura 18. Análisis exploratorio estación Pallac

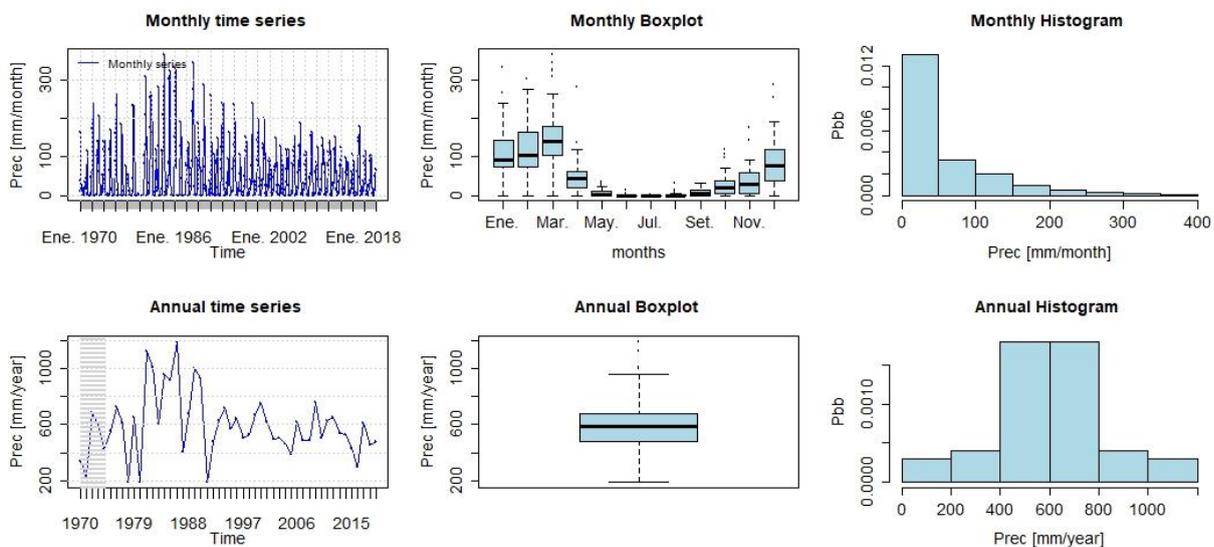


Figura 19. Análisis exploratorio estación Pirca

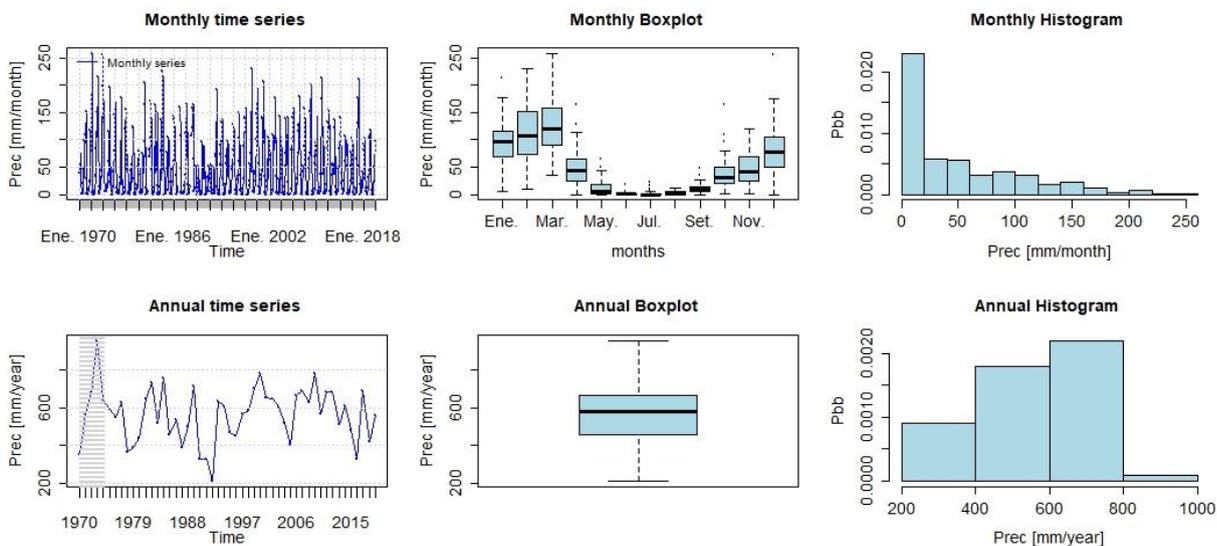


Figura 20. Análisis exploratorio estación Santa Cruz

Cuenca Chillón:

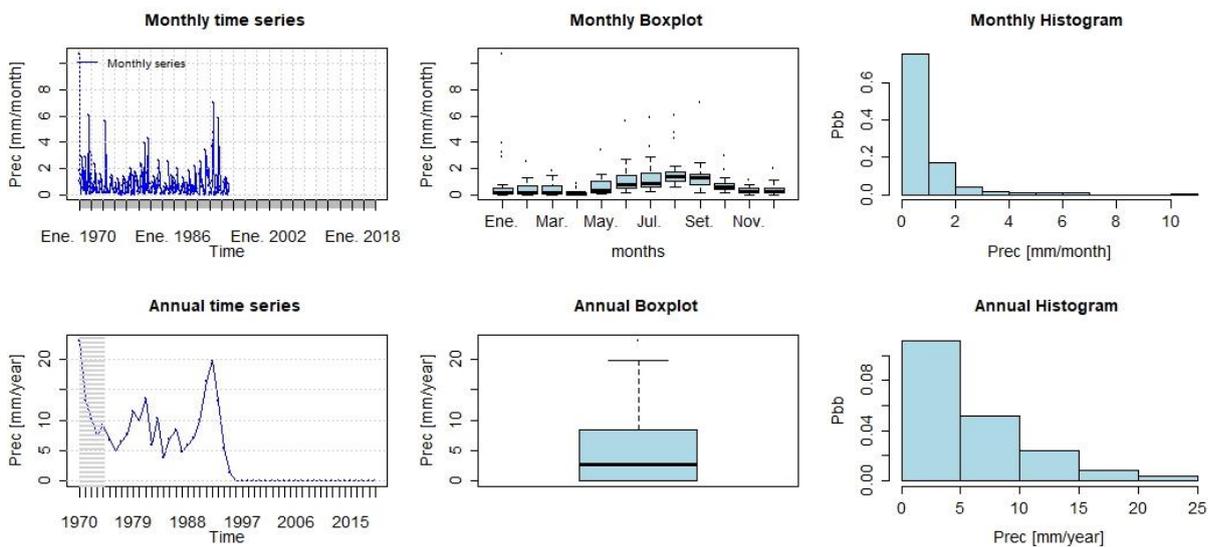


Figura 21. Análisis exploratorio estación Aeropuerto

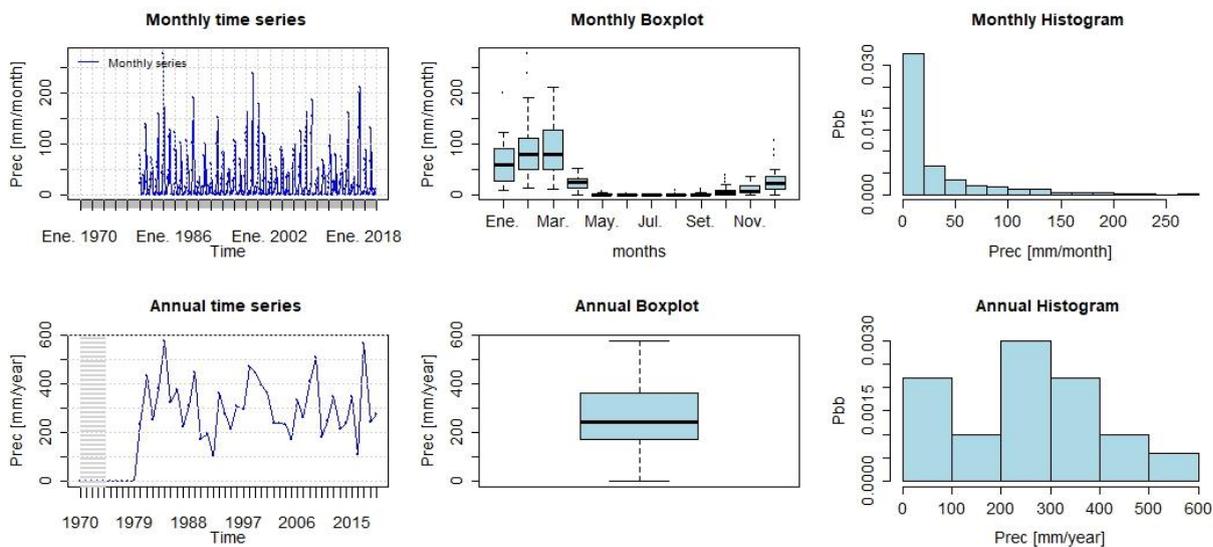


Figura 22. Análisis exploratorio estación Arahua

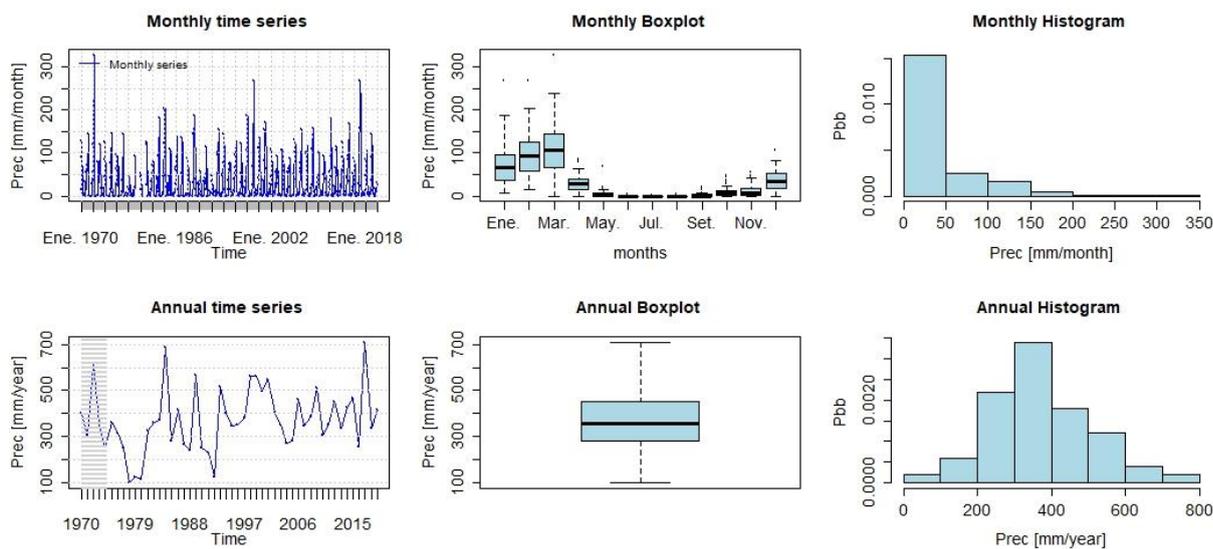


Figura 23. Análisis exploratorio estación Huamantanga

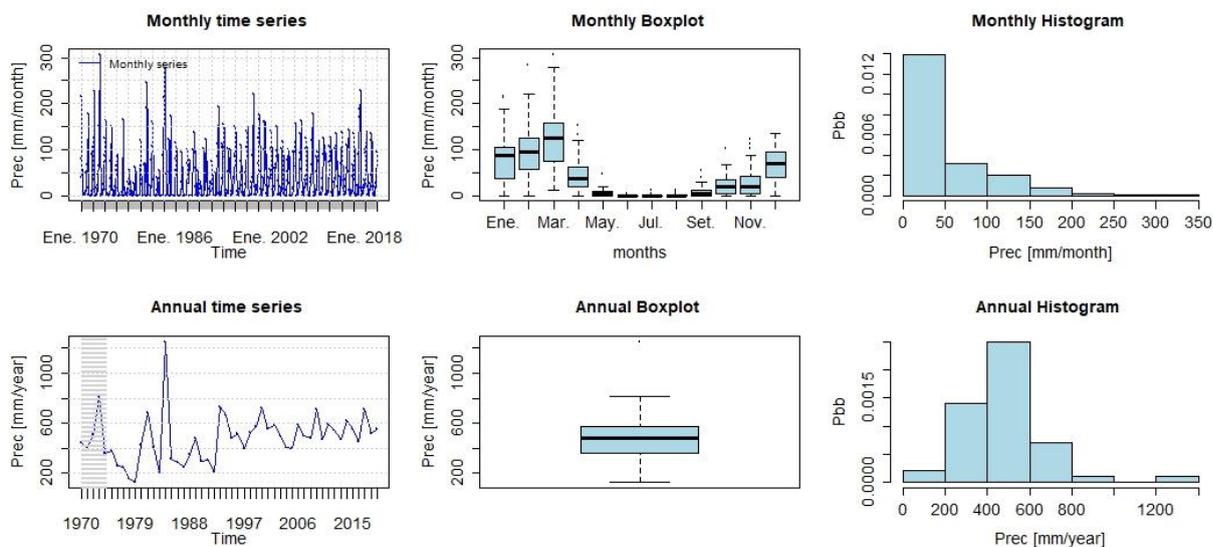


Figura 24. Análisis exploratorio estación Huaros

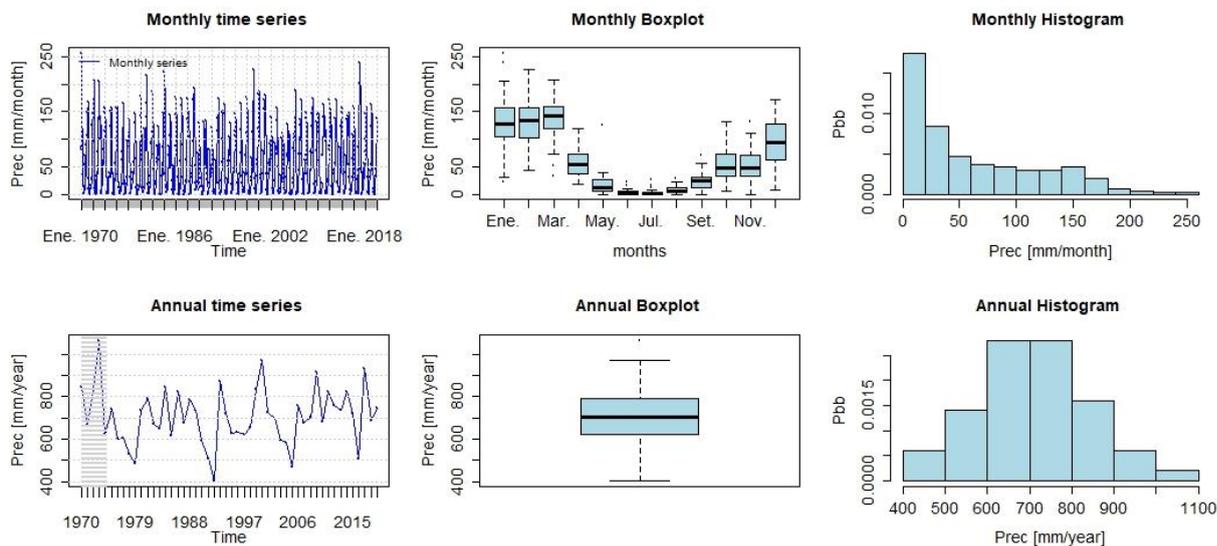


Figura 25. Análisis exploratorio estación Paríacancha

Cuenca Rímac:

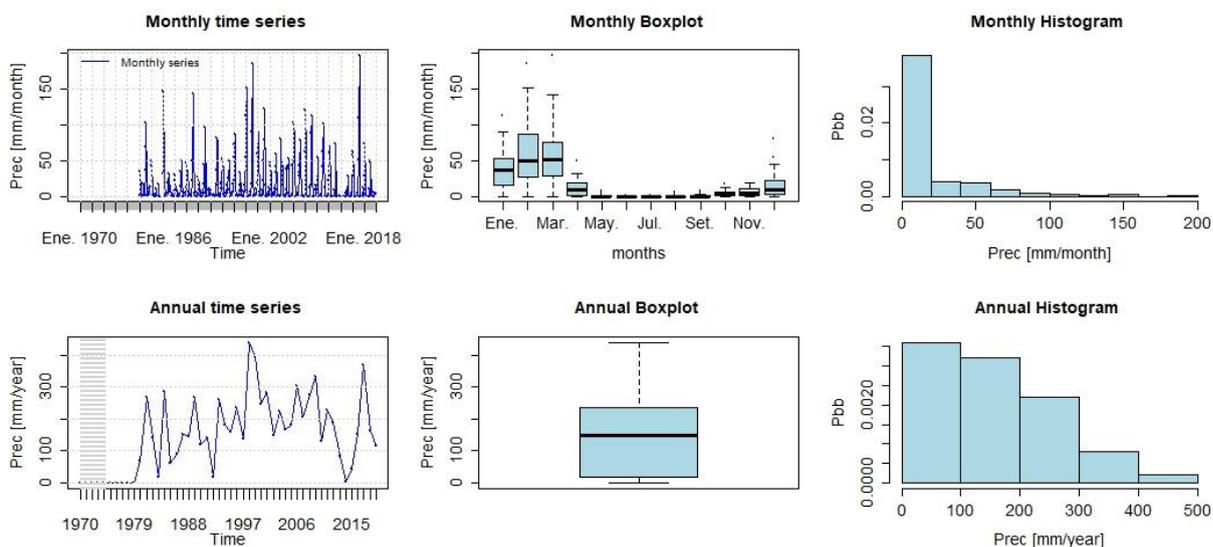


Figura 26. Análisis exploratorio estación Autisha

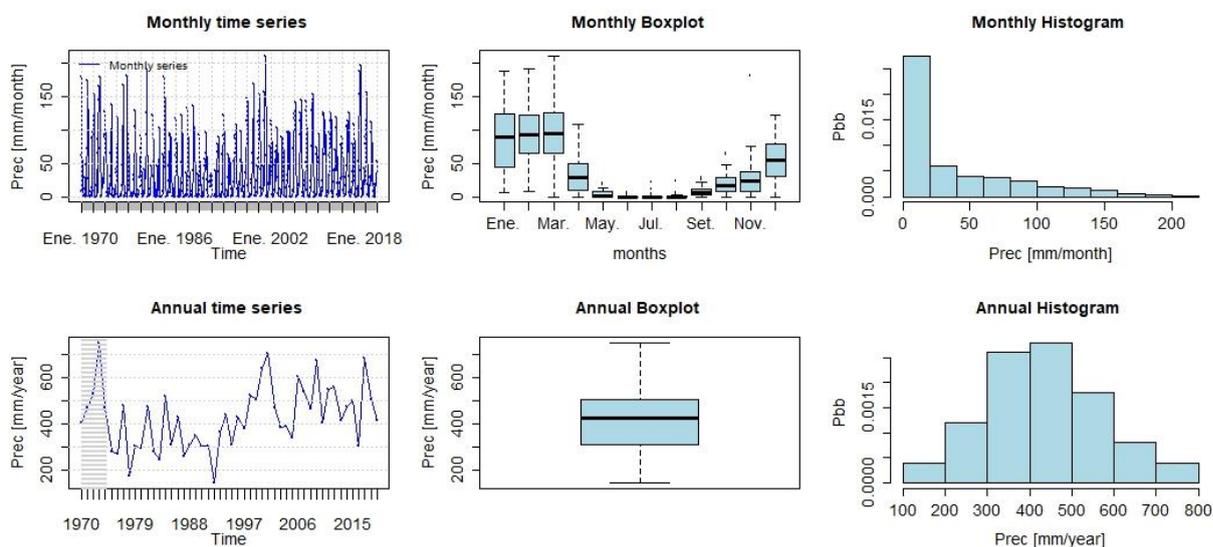


Figura 27. Análisis exploratorio estación Carampoma

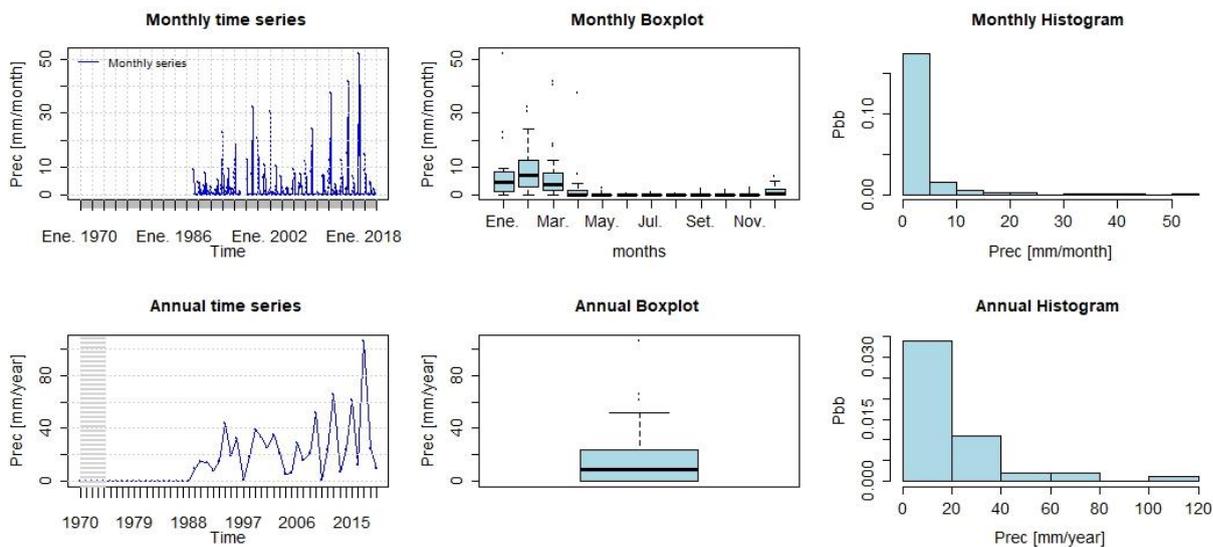


Figura 28. Análisis exploratorio estación Chosica

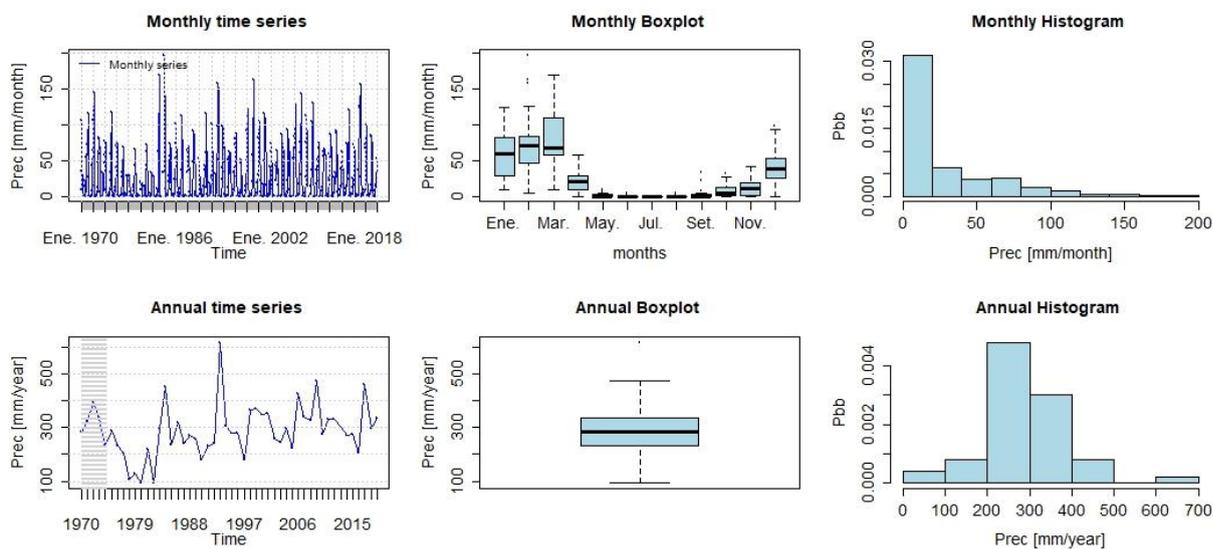


Figura 29. Análisis exploratorio estación Matucana

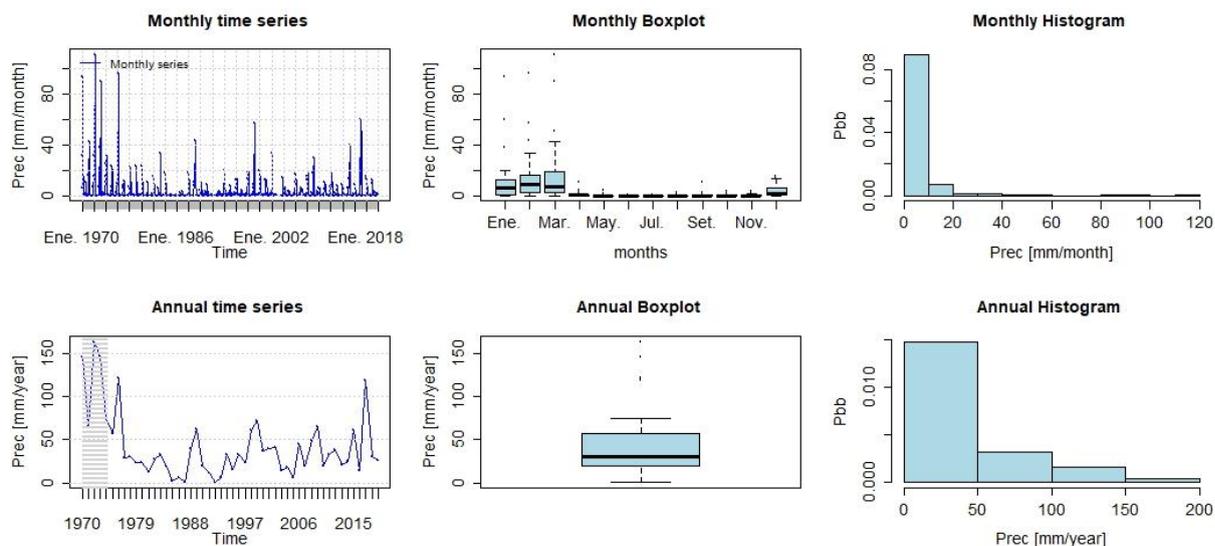


Figura 30. Análisis exploratorio estación Santa Eulalia

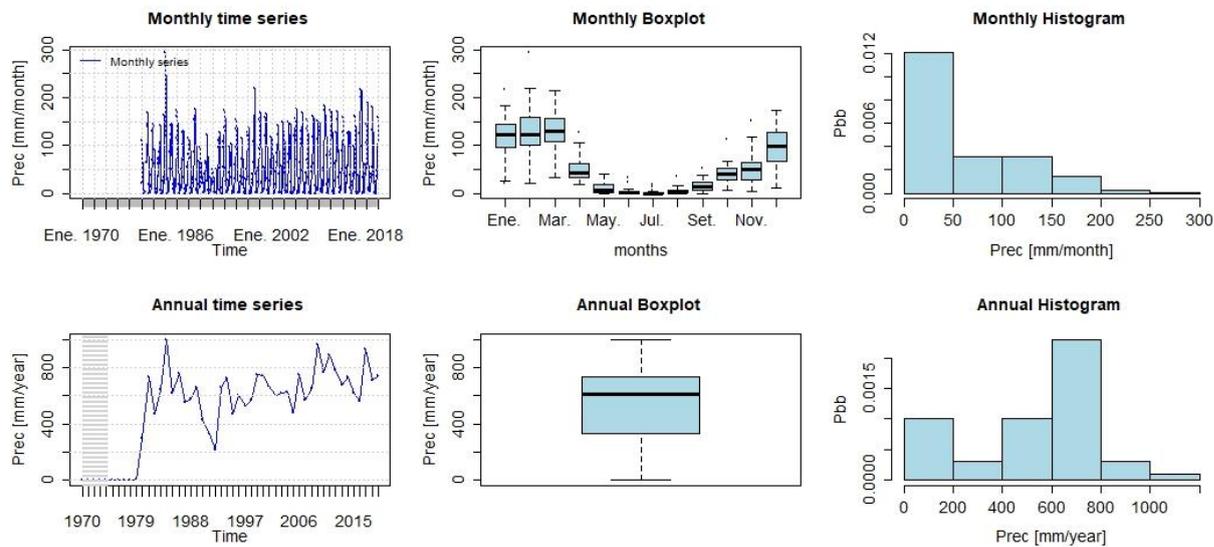


Figura 31. Análisis exploratorio estación San José de Parac

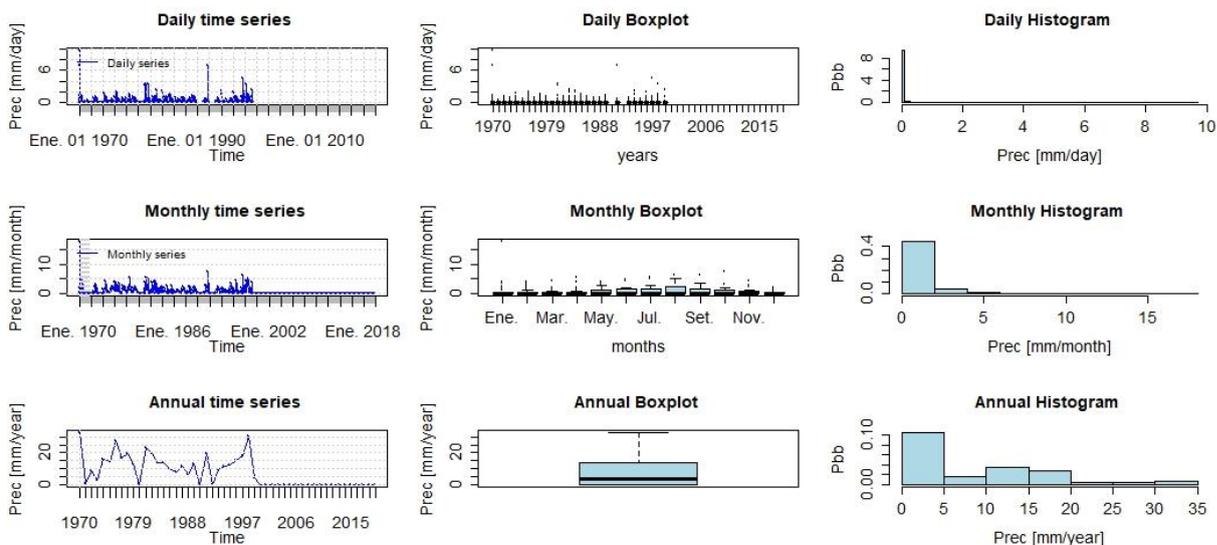


Figura 32. Análisis exploratorio estación Von Humboldt

Se identificó un evento de precipitación máxima en la parte baja de las cuencas evaluadas que ocurrió en enero de 1970, las estaciones que lo pudieron registrar son: en la cuenca Huaura, las estaciones Isla Don Martín y Alcantarilla, en la cuenca Chillón la estación Aeropuerto y en la cuenca Rímac las estaciones Von Humboldt, Hipólito Unanue y Campo de Marte, este evento representa la mayor precipitación en el periodo 1970-2019 (50 años).

4.2 Análisis de outliers

Se muestran los análisis de outliers de las estaciones en las 4 cuencas.

Cuenca Huaura:

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)															
Estación:	Alcantarilla			Latitud:										Dpto:	
Parámetro:	Precipitación máxima 24 hr (mm)			Longitud:										Prov:	
				Altud:										Dist:	
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Pmax24	Log(P24hr)	
1970	10.4	0.0	1.0	0.1	0.1	0.4	0.4	0.1	5.3	0.1	0.1	0.0	10.4	1.02	
1971	0.0	1.4	0.6	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2	0.5	0.2	0.0	0.0	1.4	0.15	
1972	0.1	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	2.9	0.46	
1973	1.2	1.0	0.0	0.3	0.2	0.2	0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.1	1.2	0.08	
1974	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.46	
1975	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	-0.22	
1976	1.1	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	1.1	0.04	
1977	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	1.4	0.0	1.4	0.15	
1978	0.4	0.0	0.3	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.4	-0.40	
1979	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.0	0.4	-0.40	
1980	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	2.5	0.40	
1981	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.0	0.1	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	-0.22	
1982	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.4	0.9	0.5	0.0	0.8	0.0	0.9	-0.05	
1983	0.0	0.0	2.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.41	
1984	0.0	0.6	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	-0.22	
1985	0.0	2.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	2.1	0.32	
1986	0.2	0.0	0.5	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	0.3	0.8	1.0	0.00	
1987	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.0	0.5	-0.30	
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1	0.3	-0.52	
1989	2.7	0.8	0.3	0.0	0.1	0.6	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.0	2.7	0.43	

PARAMETROS ESTADISTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	50.00	50.000
Sumatoria	80.90	3.763
Valor Máximo	10.40	1.017
Valor Mínimo	0.30	-0.523
Media:	1.62	0.075
Varianza:	2.64	0.110
Desviación Estándar:	1.63	0.331
Coefficiente Variación:	1.00	4.400
Coefficiente de Sesgo:	3.58	0.3357

Se Considera:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos
---------------	---

n= 50.00
Kn= 2.768
Kn: Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)

Umbral de datos dudosos altos (xH: unidad. Logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s$$

xH= 0.99

Figura 33. Análisis de outliers estación Alcantarilla

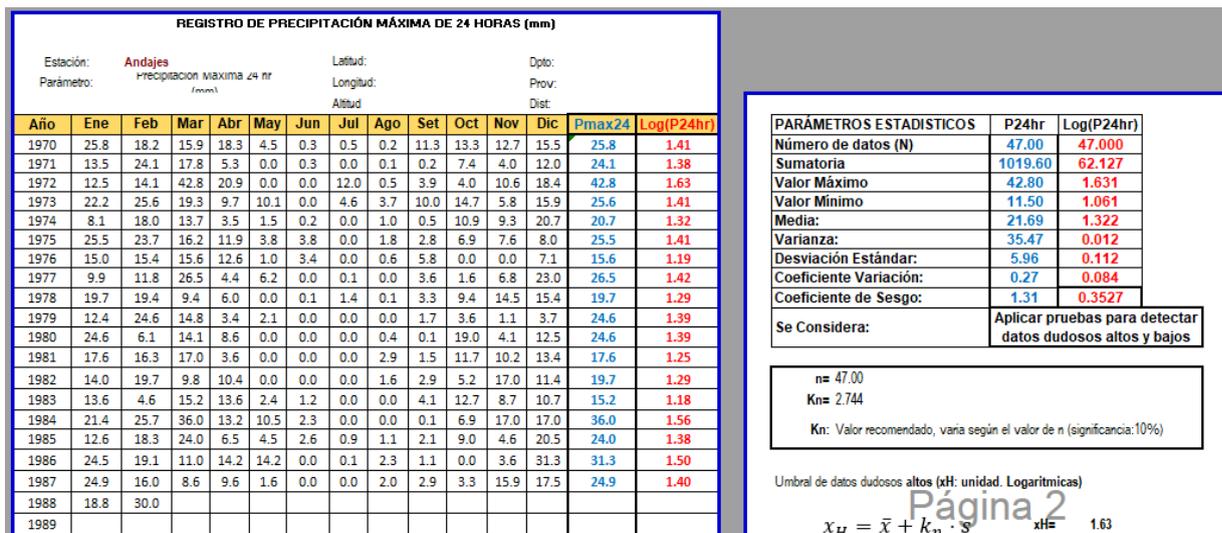


Figura 34. Análisis de outliers estación Andajes

Cuenca Chancay-Huaral:

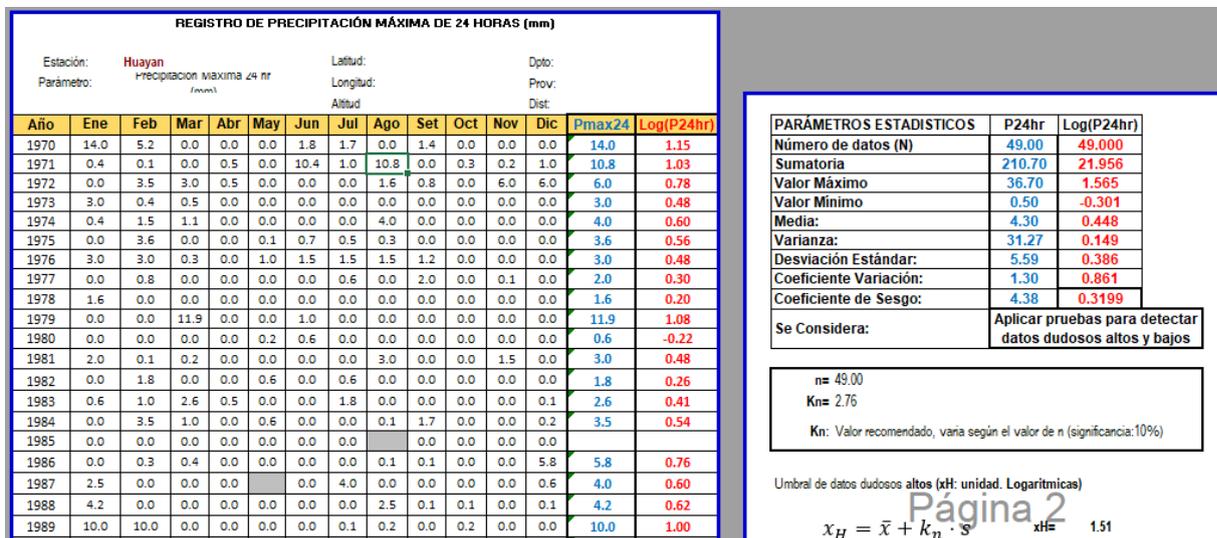


Figura 35. Análisis de outliers estación Huayan

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)														
Estación:	Pallac			Latitud:				Dpto:						
Parámetro:	Precipitación Máxima 24 hr (mm)			Longitud:				Prov:						
				Altitud:				Dist:						
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Pmax24	Log(P24hr)
1970	94.1	10.0	10.4	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	3.0	4.5	94.1	1.97
1971	10.3	8.7	18.3	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	4.6	18.3	1.26
1972	9.4	13.0	32.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	6.6	32.0	1.51
1973	18.7	20.5	20.3	7.2	1.1	0.0	0.0	0.9	1.6	3.5	0.2	7.0	20.5	1.31
1974	18.5	8.9	15.0	6.6	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	5.0	18.5	1.27
1975	7.6	19.3	31.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	11.0	31.5	1.50
1976	22.2	22.2	15.5	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	22.2	1.35
1977	10.1	47.0	30.6	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	1.67
1978	11.7	10.0	9.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	1.07
1979	7.0	35.0	40.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	1.60
1980	6.5	10.1	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0	10.1	1.00
1981	17.8	17.3	28.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.7	1.46
1982	20.0	8.0	10.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	6.0	0.0	20.0	1.30
1983	15.0	32.0	20.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	32.0	1.51
1984	3.5	12.0	13.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	3.0	13.0	1.11
1985	0.0	20.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	1.30
1986	14.2	9.0	15.0	4.5	4.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	14.0	15.0	1.18
1987	10.9	9.2	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	10.9	1.04
1988	16.1	16.1	6.0	17.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	17.5	1.24
1989	14.5	27.0	11.0	5.5	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.5	0.0	0.0	27.0	1.43

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	50.00	50.000
Sumatoria	1177.60	65.768
Valor Máximo	94.10	1.974
Valor Mínimo	7.00	0.845
Media:	23.55	1.315
Varianza:	203.05	0.047
Desviación Estándar:	14.25	0.216
Coefficiente Variación:	0.61	0.164
Coefficiente de Sesgo:	2.76	0.4013
Se Considera:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	

n= 50.00

Kn= 2.768

Kn: Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)

Umbral de datos dudosos altos (xH: unidad. Logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s \quad xH= 1.91$$

Figura 36. Análisis de outliers estación Pallac

Cuenca Chillón:

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)														
Estación:	Huaros			Latitud:				Dpto:						
Parámetro:	Precipitación Máxima 24 hr (mm)			Longitud:				Prov:						
				Altitud:				Dist:						
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Pmax24	Log(P24hr)
1970	25.0	12.6	13.3	10.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	3.1	4.5	8.2	25.0	1.40
1971	8.0	11.2	20.5	4.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	14.1	20.5	1.31
1972	15.2	5.0	19.7	12.2	9.5	0.0	0.0	0.0	11.2	5.0	8.2	10.5	19.7	1.29
1973	10.8	20.0	44.4	18.6	1.2	0.0	0.0	0.0	7.2	10.9	4.2	14.0	44.4	1.65
1974	11.2	14.4	15.2	5.0	4.5	0.0	0.0	0.0	2.1	0.1	0.1	7.0	15.2	1.18
1975	11.6	12.2	17.1	9.0	7.5	0.0	0.0	10.0	0.0	0.1	8.3	10.8	17.1	1.23
1976	17.2	10.2	18.4	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	18.4	1.26
1977	0.0	20.1	8.0	31.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	1.6	8.0	31.5	1.50
1978	5.8	12.1	10.3	8.0	1.8	0.0	0.0	0.1	8.0	3.2	5.5	12.0	12.1	1.08
1979	0.0	8.3	18.7	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.7	1.27
1980	26.5	10.0	25.9	17.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	20.2	14.0	12.3	26.5	1.42
1981	0.0	18.0	24.4	22.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	4.2	15.8	24.4	1.39
1982	20.5	20.0	15.8	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	10.0	10.0	20.5	1.31
1983	13.0	0.0	11.8	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	18.0	1.26
1984	27.0	31.8	27.8	17.3	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	21.0	15.3	31.8	1.50
1985	0.0	9.9	31.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	31.5	1.50
1986	10.0	18.0	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	18.0	1.26
1987	16.8	10.3	9.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	16.8	1.23
1988	11.1	8.1	8.1	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	12.0	1.08
1989	11.5	9.0	18.1	13.0	9.8	0.0	8.2	0.0	12.2	0.0	0.0	4.0	18.1	1.26

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	50.00	50.000
Sumatoria	1054.50	65.417
Valor Máximo	44.40	1.647
Valor Mínimo	11.70	1.068
Media:	21.09	1.308
Varianza:	36.24	0.014
Desviación Estándar:	6.02	0.117
Coefficiente Variación:	0.29	0.089
Coefficiente de Sesgo:	1.34	0.2710
Se Considera:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	

n= 50.00

Kn= 2.768

Kn: Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)

Umbral de datos dudosos altos (xH: unidad. Logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s \quad xH= 1.63$$

Figura 37. Análisis de outliers estación Huaros

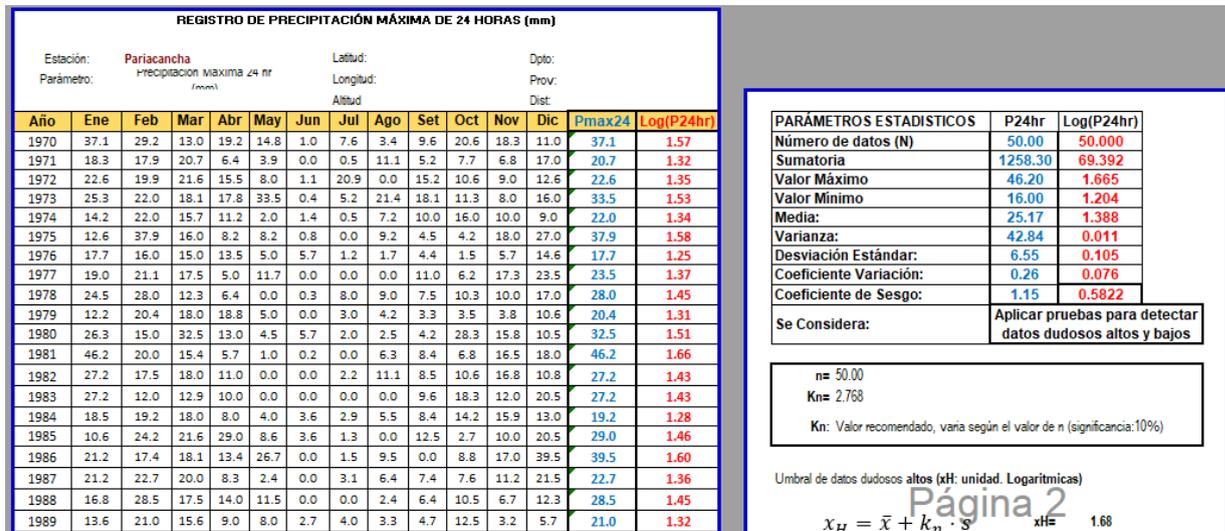


Figura 38. Análisis de outliers estación Pariacancha

Cuenca Rímac:

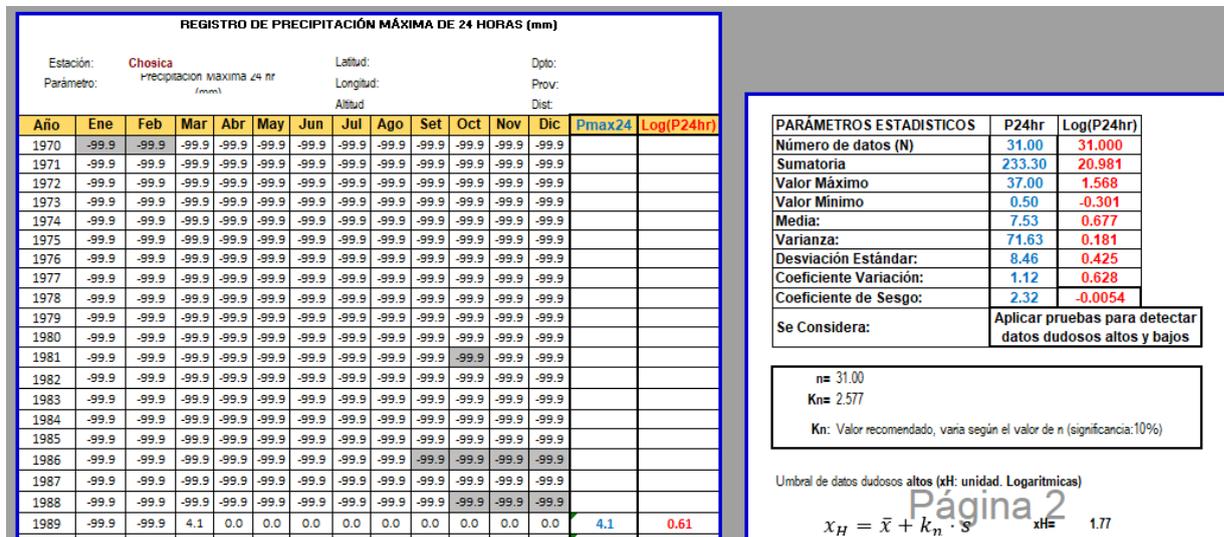


Figura 39. Análisis de outliers estación Chosica

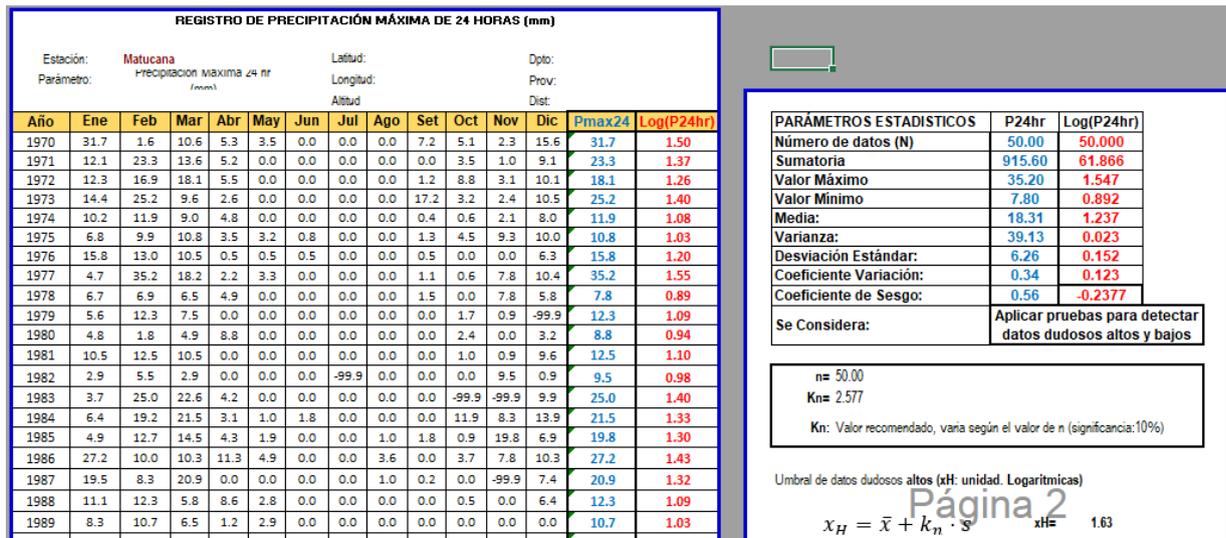


Figura 40. Análisis de outliers estación Matucana

El 15 de enero de 1970 se presentaron intensas lluvias en las partes bajas de las cuencas del departamento de Lima, la estación Alcantarilla registró una precipitación de 10.4 mm por lo cual no se considera este valor como un outlier ya que otras estaciones como por ejemplo Isla Don Martín, Aeropuerto, Hipólito Unanue y Von Humboldt también registraron fuertes precipitaciones entre el 15 y el 16 de enero de 1970.

4.3 Análisis de doble masa

Se muestran los análisis de doble masa de las estaciones en las 4 cuencas.

Cuenca Huaura:

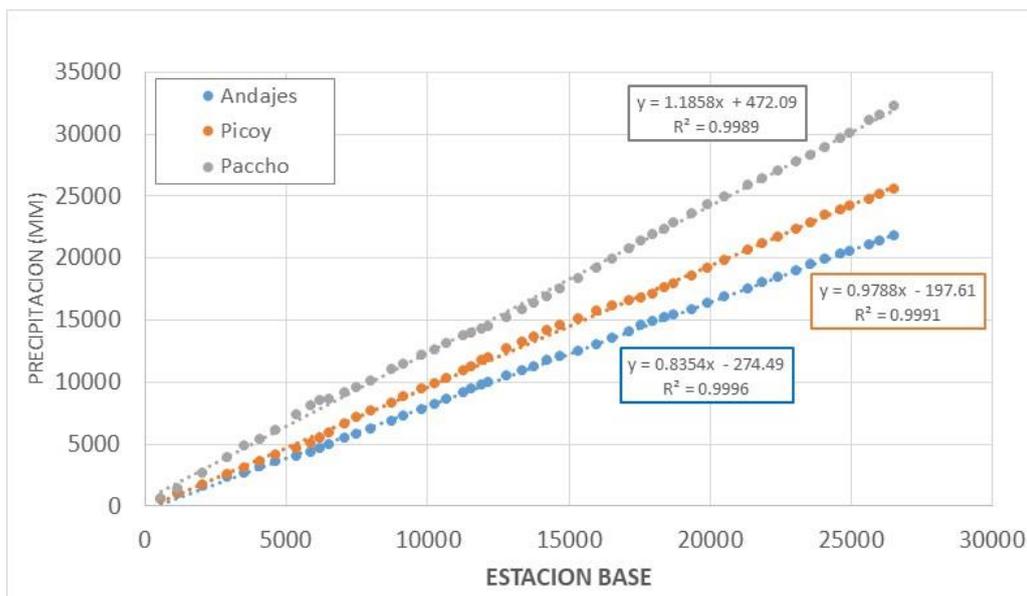


Figura 41. Análisis de doble masa cuenca Huaura

En este análisis se usaron las estaciones Andajes, Picoy y Paccho debido a que tenían un registro de información mas completo, se observa que hay una adecuada consistencia en los datos de precipitación anual empleados de estas estaciones.

Cuenca Chancay-Huaral:

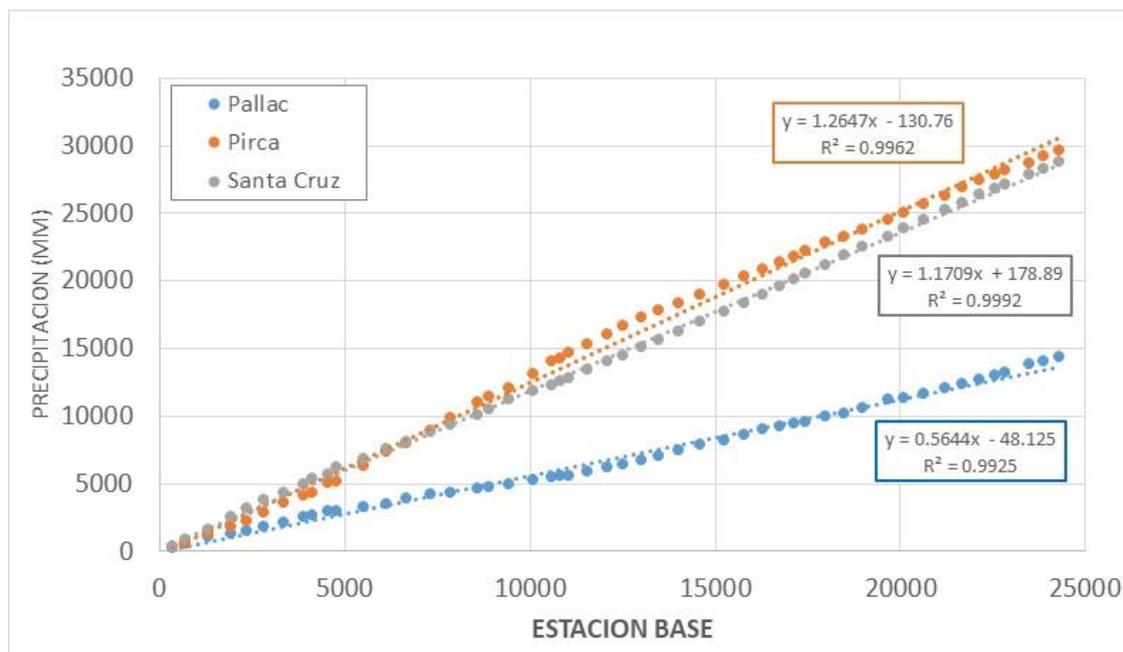


Figura 42. Análisis de doble masa cuenca Chancay-Huaral

Cuenca Chillón:

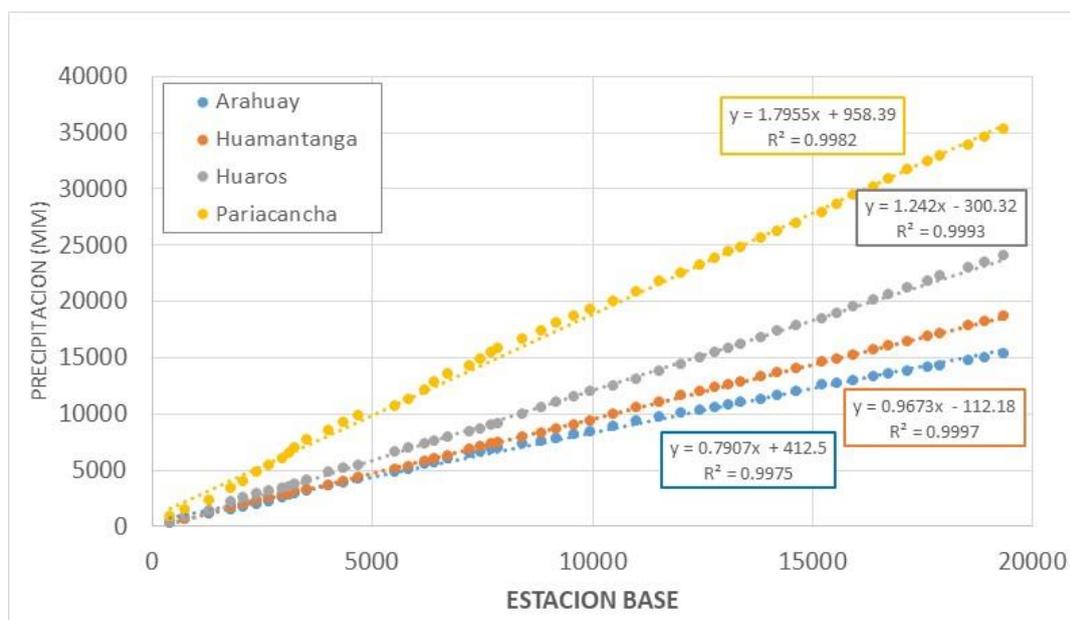


Figura 43. Análisis de doble masa cuenca Chillón

En la cuenca Chancay-Huaral se usaron las estaciones Pallac, Pirca y Santa Cruz, se observa una buena consistencia en los datos de precipitación anual empleados de estas estaciones. De manera similar en la cuenca Chillón, los datos de precipitación acumulada de las estaciones Arahuy, Huamantanga, Huaros y Pariacancha muestran un comportamiento lineal lo cual indica una buena consistencia.

Cuenca Rímac:

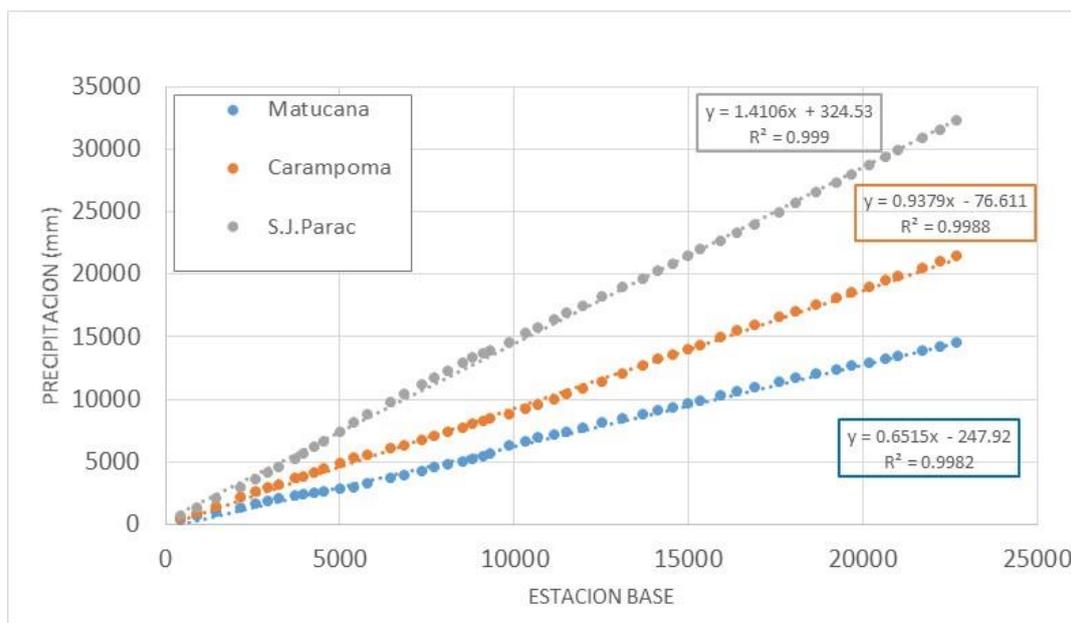


Figura 44. Análisis de doble masa cuenca Rímac

En el análisis de doble masa realizado para la cuenca Rímac, se usaron las estaciones Matucana, Carampoma y San José de Parac, se puede observar también un buen comportamiento lineal para estas 3 estaciones, lo que significa que los datos tienen una buena consistencia.

4.4 Completación de datos

Se muestran los cuadros de precipitación completados usando el software CHAC.

8 m.s.n.m.

Isla DM	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	7.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.7	0.2	0.0	0.1	9.6
1971	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0
1972	0.0	0.0	3.7	1.2	0.0	0.1	0.0	3.0	1.3	0.6	0.0	0.0	9.9
1973	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	2.7
1974	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.8	0.0	1.5
1975	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1976	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
1977	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	1.5	0.3	0.0	0.0	2.8
1981	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.3	4.0	1.2	0.0	6.5
1983	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1984	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
1985	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1987	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.6	0.4	0.1	0.0	0.0	1.5
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	0.3	0.0	0.0	0.0	1.3
1989	0.1	1.6	0.0	0.3	0.3	0.1	0.1	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	3.2
1990	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.7

Figura 45. Datos completados estación Isla Don Martín

2707 m.s.n.m.

ANDAJS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	147.7	43.2	88.7	53.8	16.9	0.3	0.5	0.2	32.1	32.3	35.9	68.0	519.6
1971	59.5	122.1	169.0	26.7	0.0	0.3	0.0	0.1	0.2	18.2	7.9	65.8	469.7
1972	109.1	86.0	250.9	51.3	0.0	0.0	12.1	0.5	5.5	16.6	27.0	61.7	620.6
1973	141.4	105.4	144.1	77.6	23.0	0.0	6.8	3.7	21.9	54.7	16.5	95.0	690.0
1974	52.1	136.8	95.0	14.1	1.8	0.3	0.0	1.3	0.9	15.7	22.3	20.5	360.8
1975	133.7	96.2	159.5	35.8	16.7	6.5	0.0	3.9	2.1	20.9	19.9	33.7	528.8
1976	135.3	133.6	99.1	16.7	1.0	6.6	0.0	0.6	9.4	0.0	0.0	34.5	436.7
1977	59.7	102.6	103.8	13.8	15.2	0.0	0.1	0.0	5.8	2.8	35.1	72.7	411.4
1978	56.6	104.4	38.6	18.3	0.0	0.1	1.9	0.1	4.4	16.1	36.4	46.4	323.1
1979	29.8	96.1	121.8	12.1	3.7	0.0	0.0	0.0	2.8	8.8	2.1	12.5	289.6
1980	103.6	19.3	35.8	13.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	57.8	24.8	68.3	323.2
1981	67.6	136.7	115.0	6.1	0.0	0.0	0.0	3.5	1.5	31.8	39.9	70.4	472.5
1982	65.5	110.3	57.3	50.9	0.0	0.0	0.0	1.6	5.1	23.6	41.7	32.2	387.9
1983	52.4	20.4	100.6	71.2	7.0	1.2	0.0	0.0	5.3	28.4	21.3	78.5	386.1
1984	61.6	221.4	131.0	35.5	15.8	5.6	0.0	0.0	0.2	30.3	43.1	74.0	618.4
1985	25.3	105.6	136.4	30.9	11.5	4.8	1.0	0.4	7.0	9.1	11.1	59.5	402.2
1986	128.9	100.3	101.5	55.4	22.6	0.0	0.1	4.0	2.3	0.0	7.0	112.3	534.4
1987	103.0	105.6	46.1	22.7	1.7	0.0	0.0	2.1	5.8	9.0	31.8	84.7	412.4
1988	82.4	95.4	83.6	34.9	7.2	0.4	0.5	1.2	5.6	18.2	23.9	69.5	422.8
1989	136.9	150.4	130.7	33.7	6.1	2.8	0.2	0.9	4.5	30.9	13.0	0.0	510.1
1990	87.4	38.7	21.9	4.2	0.2	0.0	0.0	0.0	3.3	47.6	61.9	48.2	313.2

Figura 46. Datos completados estación Andajes

346 m.s.n.m.

HUAYAN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	23.9	5.2	0.0	0.0	0.0	3.7	4.4	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	39.4
1971	0.6	0.1	0.0	0.5	0.0	12.7	2.1	13.5	0.0	0.4	0.2	1.0	31.1
1972	0.0	3.5	5.0	0.5	0.0	0.0	0.0	3.4	1.6	0.0	8.0	6.0	28.0
1973	13.1	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1
1974	0.4	1.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
1975	0.0	4.2	0.0	0.0	0.1	2.4	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5
1976	2.7	3.0	0.3	0.0	1.4	2.7	0.6	3.6	3.7	0.0	0.0	0.0	18.0
1977	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	2.8	0.0	0.1	0.0	6.2
1978	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
1979	0.0	0.0	12.1	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
1981	3.5	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	1.6	0.0	9.1
1982	0.0	1.8	0.0	0.0	1.4	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8
1983	2.2	1.1	5.0	0.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	11.4
1984	0.0	3.5	1.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.1	1.9	0.0	0.0	0.3	8.6
1985	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1986	0.0	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	14.4	15.3
1987	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	8.5
1988	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.3	0.1	0.0	0.1	7.4
1989	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0	12.9
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	3.2	0.3	2.1	1.8	1.3	10.7	23.1

Figura 47. Datos completados estación Huayán

2367 m.s.n.m.

PALLAC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	170.0	32.5	62.5	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	3.5	19.6	303.0
1971	48.5	47.1	112.9	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	22.4	254.2
1972	42.4	102.8	290.2	27.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	24.6	487.9
1973	81.5	41.0	97.3	23.5	1.7	0.0	0.0	0.9	1.8	5.3	0.2	34.8	288.0
1974	31.0	74.8	70.4	11.9	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	13.4	203.0
1975	17.9	108.9	121.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	38.7	289.6
1976	81.0	142.7	49.8	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	284.6
1977	45.9	211.4	129.5	14.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	401.5
1978	34.0	33.6	67.7	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	139.2
1979	7.0	77.3	183.4	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	273.7
1980	23.8	21.6	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	0.0	0.0	70.8
1981	43.5	94.1	152.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	289.8
1982	52.4	42.1	62.8	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	19.4	0.0	195.9
1983	15.0	158.0	215.2	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	411.5
1984	18.5	124.1	164.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	12.6	328.2
1985	0.0	67.1	56.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.2	153.0
1986	69.9	58.2	50.3	12.5	4.5	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.5	60.5	256.7
1987	41.3	40.2	29.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	111.7
1988	60.9	72.6	25.6	27.8	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	205.6
1989	79.6	168.2	89.7	9.7	0.0	0.1	0.0	0.3	0.2	0.8	0.0	0.0	348.6
1990	25.7	14.6	48.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	19.7	55.3	176.7

Figura 48. Datos completados estación Pallac

3314 m.s.n.m.

PIRCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	163.4	10.4	37.4	11.7	29.9	0.1	0.0	0.0	16.4	13.9	34.6	19.8	337.6
1971	16.9	42.5	115.7	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	45.9	230.0
1972	59.4	173.3	238.8	109.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	100.4	683.5
1973	140.1	81.6	205.7	63.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.6	7.7	54.5	605.2
1974	120.8	139.8	144.8	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	422.7
1975	65.0	119.5	172.0	77.0	16.3	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.4	554.4
1976	161.8	234.4	262.8	54.9	14.7	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	730.0
1977	186.0	101.9	159.6	46.7	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.5	31.1	613.1
1978	36.5	56.9	34.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	42.9	189.6
1979	234.8	235.4	179.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	654.8
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.9	105.2	189.1
1981	131.8	211.1	309.6	0.1	0.0	0.0	0.0	31.5	4.8	10.6	175.3	253.8	1128.6
1982	267.7	225.1	163.4	72.7	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	118.6	90.0	62.4	1007.9
1983	20.0	10.6	128.8	281.6	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	116.0	605.7
1984	117.4	209.6	366.0	119.5	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	38.0	21.9	81.9	962.6
1985	87.3	304.1	325.1	51.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	152.0	920.3
1986	333.1	270.9	327.4	71.6	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	190.6	1199.2
1987	128.2	151.8	44.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.4	403.1
1988	81.9	72.0	116.5	137.7	31.1	0.0	0.0	0.0	21.8	71.9	53.1	89.2	675.2
1989	218.2	275.8	344.9	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	96.8	24.7	16.4	998.7
1990	188.6	94.4	82.7	71.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.3	143.6	287.4	931.3

Figura 49. Datos completados estación Pirca

2583 m.s.n.m.

SANTA CRUZ	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970			40.4	75.7	25.3	0.4	1.7	1.4	47.8	20.8	40.3	99.0	352.8
1971	94.7	110.7	152.7	29.3	0.5	0.2	0.0	9.7	7.5	24.8	23.0	116.8	569.9
1972	79.2	115.3	257.0	58.5	2.7	0.0	5.7	1.3	5.1	34.1	34.6	83.7	677.2
1973	150.7	107.4	215.5	104.7	15.1	1.4	4.6	10.1	18.1	44.8	31.2	255.0	958.6
1974	132.2	199.1	146.3	33.6	5.6	5.4	7.2	4.3	15.6	12.2	19.2	61.2	641.9
1975	116.4	35.5	197.0	21.6	50.4	18.8	0.0	6.3	8.7	14.4	41.7	80.6	591.4
1976	145.1	168.9	108.8	66.4	11.3	3.2	0.3	6.9	2.6	0.5	8.0	31.4	553.4
1977	20.3	178.2	90.5	18.5	26.9	0.0	0.2	0.4	12.7	4.1	119.6	156.5	627.9
1978	46.7	67.1	73.0	3.3	0.2	4.3	21.4	0.0	12.4	43.6	53.8	41.3	367.1
1979	23.5	121.8	125.0	28.0	0.4	0.2	0.0	0.3	9.9	18.5	11.2	51.1	389.9
1980	81.0	50.2	65.6	34.3	2.8	5.3	8.6	0.2	2.6	76.0	71.1	39.4	437.1
1981	96.5	204.0	164.4	12.8	0.0	0.0	9.5	5.3	5.2	30.3	81.2	68.9	678.1
1982	102.5	170.0	109.4	45.2	0.0	0.0	7.8	4.1	12.7	163.8	77.9	38.9	732.3
1983	45.7	43.4	149.3	16.3	2.2	5.1	0.0	0.0	13.2	78.9	28.0	137.5	519.6
1984	39.3	225.8	208.6	43.8	43.9	0.0	0.0	1.6	17.3	48.1	77.2	55.0	760.6
1985	7.9	105.3	98.0	79.2	23.7	1.5	0.0	7.3	8.1	23.1	44.8	61.2	460.1
1986	143.6	136.4	113.9	85.1	35.0	0.0	17.1	4.0	0.0	36.6	36.9	158.9	767.5
1987	161.0	107.9	49.5	2.7	2.3	0.4	0.4	4.3	6.2	4.5	15.6	35.3	390.1
1988	112.1	167.1	67.7	112.5	19.1	0.0	0.0	8.6	15.9	68.3	56.8	90.9	719.0
1989	107.4	122.8	157.3	163.9	65.9	5.7	10.3	12.5	12.5	52.0	5.9	0.0	716.2
1990	31.0	9.3	52.5	6.1	14.5	3.9	0.0	0.0	0.9	97.3	81.8	29.6	326.9

Figura 50. Datos completados estación Santa Cruz

127 m.s.n.m.

Aeropuerto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	10.7	1.0	1.9	0.0	0.9	1.5	2.9	1.5	1.3	0.5	0.4	0.8	23.3
1971	2.9	0.3	0.0	0.2	0.8	0.9	0.3	6.1	1.3	0.6	0.1	0.1	13.6
1972	3.3	0.1	0.9	0.2	0.1	0.3	0.6	0.9	2.3	1.1	0.5	0.3	10.6
1973	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	1.1	0.9	1.0	1.6	1.0	0.4	0.4	7.5
1974	0.1	0.2	0.1	0.2	0.6	5.7	0.6	1.0	0.1	0.5	0.1	0.2	9.4
1975	0.1	0.2	0.2	0.2	1.1	0.8	0.9	1.5	0.7	0.4	0.5	0.2	6.8
1976	0.3	0.9	0.2	0.1	0.5	0.2	0.4	1.2	0.9	0.4	0.1	0.1	5.3
1977	0.1	0.3	0.1	0.0	0.3	0.7	1.4	1.1	1.2	0.8	0.1	0.7	6.8
1978	0.1	0.1	0.9	0.1	0.2	0.9	1.1	1.3	2.0	0.7	0.2	0.1	7.7
1979	0.0	0.0	1.5	0.0	1.3	1.7	1.6	1.4	1.5	1.1	0.2	1.1	11.4
1980	0.3	0.2	0.0	0.2	0.7	2.2	2.4	1.4	1.7	0.6	0.2	0.3	10.2
1981	4.0	0.2	0.1	0.9	0.4	0.4	1.7	4.3	0.8	0.7	0.3	0.1	13.9
1982	3.3	0.9	0.1	0.1	0.3	0.9	0.6	1.4	0.6	0.1	1.1	0.1	9.5
1983	0.8	0.1	0.7	0.6	1.2	2.0	2.7	1.0	0.7	0.5	0.1	0.1	10.5
1984	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.6	0.2	0.8	0.3	0.4	0.7	0.5	4.0
1985	0.0	2.6	0.3	0.1	0.3	0.2	0.4	0.6	1.5	0.8	0.3	0.2	7.3
1986	0.1	1.3	1.0	0.0	0.2	0.8	0.4	2.0	1.5	0.4	0.3	0.4	8.4
1987	0.0	0.3	0.1	0.1	0.3	0.6	0.8	1.3	0.7	0.6	0.1	0.2	5.1
1988	0.2	1.0	0.1	0.0	0.2	0.5	0.7	1.8	0.8	0.4	0.0	0.6	6.3
1989	0.2	0.7	0.7	0.0	0.3	0.7	0.4	2.2	1.3	0.3	0.5	0.2	7.5
1990	0.3	0.0	0.1	0.0	1.6	2.5	1.0	1.3	1.2	0.6	0.8	0.8	10.2

Figura 51. Datos completados estación Aeropuerto

2504 m.s.n.m.

ARAHUAY	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	115.1	28.1	81.0	42.9	1.2	0.1	0.0	1.4	2.7	14.1	7.3	49.5	343.4
1971	74.5	92.1	107.4	21.0	0.1	0.0	0.0	1.3	0.0	10.3	6.5	19.5	332.7
1972	49.1	159.0	172.9	42.0	1.9	0.2	0.0	0.0	0.0	6.8	13.0	64.9	509.8
1973	64.1	0.0	96.1	35.9	3.4	0.0	0.0	1.5	3.2	20.5	16.0	61.5	302.2
1974	63.8	152.1	12.0	21.8	1.0	0.0	0.0	0.7	1.0	0.3	7.4	4.8	264.9
1975	36.1	44.0	28.4	17.2	1.2	0.0	0.0	1.2	2.1	3.7	12.8	30.9	177.6
1976	123.3	120.2	2.4	15.4	4.2	0.3	0.0	0.1	0.0	2.9	4.3	10.9	284.0
1977	45.8	183.2	132.4	9.3	1.3	0.2	0.0	0.0	0.7	0.0	17.4	10.9	401.2
1978	27.8	63.6	43.3	5.2	1.6	0.0	0.0	0.0	4.0	2.7	4.8	1.1	154.1
1979	0.0	62.9	44.6	28.7	3.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	7.9	148.4
1980	76.6	20.6	48.9	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	37.9	17.7	10.6	232.8
1981	86.3	138.9	131.2	23.3	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	7.5	16.0	29.5	433.2
1982	62.5	72.6	39.8	29.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	15.6	29.2	3.1	252.8
1983	54.4	62.9	158.9	52.4	1.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.2	4.3	43.0	380.4
1984	76.7	276.3	72.3	38.2	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7	34.2	47.4	578.2
1985	21.2	112.6	127.1	44.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	324.3
1986	121.8	86.7	87.6	40.1	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	27.1	379.7
1987	100.8	33.2	42.6	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	4.2	14.0	13.3	222.8
1988	105.0	48.7	57.2	41.5	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.0	47.2	309.8
1989	101.6	189.6	134.6	5.4	0.0	1.2	0.0	0.0	1.1	15.4	0.2	0.0	449.1
1990	24.4	18.9	36.1	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	15.4	77.1	190.2

Figura 52. Datos completados estación Arahua

23 m.s.n.m.

HIPOLITO U.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	16.4	0.0	1.4	0.0	0.3	2.4	5.9	1.5	1.8	0.3	0.1	1.0	31.0
1971	0.5	0.0	0.1	0.0	0.2	3.8	3.6	7.2	1.9	0.5	0.4	0.0	18.2
1972	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1	0.4	2.0	6.9	1.4	0.3	0.4	12.1
1973	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.4	0.3	0.4	1.2	0.4	0.3	0.4	3.7
1974	0.0	0.3	0.5	0.1	0.4	5.4	1.5	1.6	0.3	0.0	0.1	1.1	11.3
1975	0.2	0.2	0.3	0.1	0.4	1.7	1.1	1.8	0.5	0.2	0.0	0.0	6.5
1976	0.6	1.3	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	2.1	5.4	0.4	0.0	0.0	10.2
1977	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.4	1.4	1.2	0.1	0.4	0.5	6.4
1978	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.3	0.4	2.0	0.7	0.1	0.0	0.0	4.0
1979	0.0	0.0	0.7	0.0	0.4	1.7	0.7	0.0	0.6	1.6	0.0	0.5	6.2
1980	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	0.4	2.6	0.4	1.1	0.6	0.3	0.0	6.6
1981	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3	5.6	0.8	0.0	0.0	0.2	7.1
1982	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.9	1.4	0.3	0.0	2.7	0.3	5.8
1983	0.7	0.6	0.2	3.4	4.2	3.6	6.0	0.1	1.2	0.6	0.0	0.0	20.6
1984	0.0	2.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.9	0.2	0.2	2.8	0.1	6.6
1985	0.1	0.4	0.4	0.0	0.0	0.1	1.0	0.1	0.8	0.4	0.0	0.1	3.4
1986	0.0	0.0	1.0	0.0	0.1	0.3	0.7	1.7	3.5	0.6	0.0	0.1	8.0
1987					0.0	0.3	1.0	1.1	0.5	0.2	0.0	0.0	3.1
1988	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	3.3	0.1	0.1	0.1	1.2	5.6
1989	0.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.2	2.4	1.3	2.2	0.2	0.0	0.0	6.9
1990	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4	1.7	0.4	2.1	1.2	0.1	0.0	0.6	6.7

Figura 53. Datos completados estación Hipólito Unanue

867 m.s.n.m.

CHOSICA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	40.2	1.1	11.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	1.1	0.4	0.5	1.1	55.9
1971	17.4	10.4	7.3	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	35.8
1972	12.5	16.2	35.1	1.3	0.7	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.9	3.2	70.3
1973	12.6	9.8	23.4	6.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	2.3	55.4
1974	0.0	15.5	19.3	0.0	0.4	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.6	1.1	37.2
1975	0.0	7.3	7.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.1	1.4	17.6
1976	16.4	34.3	7.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	1.5	59.9
1977	14.3	8.0	0.0	3.3	0.3	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0	26.7
1978	0.0	5.3	10.6	0.5	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	18.9
1979	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0		9.4
1980	0.0	3.0	9.7	8.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.5	23.2
1981	4.3	17.4	6.1	8.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	1.4	37.6
1982		17.4	5.2	1.5	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	25.6
1983	2.0		19.9	1.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2			0.0	23.7
1984	5.9	9.3	0.0	1.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	0.2	0.0	3.9	21.4
1985	0.0	14.1	12.8	0.6	0.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	1.0	29.1
1986	3.5	13.6	0.6	0.0	0.4	0.0	0.0	0.3	0.2	0.3	0.0	0.7	19.6
1987			2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0		0.0	3.1
1988	6.1	0.0	0.9	6.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	16.7
1989	21.5	16.1	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.9
1990	4.6	0.0	4.7	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	3.2	14.8

Figura 54. Datos completados estación Chosica

4.5 Pruebas estadísticas

A continuación, se muestran los resultados de las tendencias obtenidos con el software RClimdex.

Tabla 12. Resultados RClimdex para la precipitación cuenca Huaura

ALTITUD	ESTACION	CDD (Días)	CWD (Días)	R10MM (Días)	PRCPTOT (mm)	R95P (mm)	R99P (mm)	RX1DAY (mm)
8	IDM	35.583	-0.004	0	-0.003	0	0	0.002
	P Value	0.021	0.61	NaN	0.922	NaN	NaN	0.939
131	Alcantarilla	1.265	0.002	-0.002	-0.021	-0.024	0	-0.015
	P Value	0.77	0.684	0.09	0.48	0.304	NaN	0.357
2707	Andajes	1.857	0.007	-0.063	-0.589	-1.278	-0.731	-0.162
	P Value	0	0.898	0.164	0.605	0.006	0.006	0.006
3013	Picoy	1.986	-0.041	-0.137	-1.037	-1.638	-0.569	-0.138
	P Value	0	0.566	0.007	0.411	0.002	0.028	0.025
3208	Paccho	0.831	-0.484	-0.187	-1.74	0.41	0.128	0.124
	P Value	0.118	0.011	0.159	0.495	0.667	0.747	0.079

Tabla 13. Resultados RClimdex para la precipitación cuenca Chancay Huaral

ALTITUD	ESTACION	CDD (Días)	CWD (Días)	R10MM (Días)	PRCPTOT (mm)	R95P (mm)	R99P (mm)	RX1DAY (mm)
127	Donoso	3.216	-0.005	-0.013	-0.436	-0.157	-0.056	-0.146
	P Value	0.11	0.576	0.077	0.033	0.112	0.539	0.082
416	Lomas de Lachay	-0.143	0.083	-0.016	1.171	-0.503	-0.232	-0.072
	P Value	0.825	0.175	0.253	0.11	0.188	0.303	0.152
2367	Pallac	-0.859	0.1	-0.031	1.581	-0.62	-0.362	-0.187
	P Value	0.193	0.301	0.513	0.169	0.344	0.278	0.194
2583	Santa Cruz	0.563	0.008	-0.084	-0.249	-1.28	-0.66	-0.113
	P Value	0.073	0.913	0.177	0.87	0.052	0.047	0.12
3314	Pirca	-2.927	-0.726	-0.202	-1.927	-0.274	0.263	0.068
	P Value	0	0	0.078	0.362	0.653	0.301	0.22

Tabla 14. Resultados RClimdex para la precipitación cuenca Chillón

ALTITUD	ESTACION	CDD (Días)	CWD (Días)	R10MM (Días)	PRCPTOT (mm)	R95P (mm)	R99P (mm)	RX1DAY (mm)
13	Aeropuerto	5.188	0.004	0	-0.053	-0.088	0	-0.104
	P Value	0.719	0.852	NaN	0.624	0.157	NaN	0.073
2504	Arahuay	-0.037	-0.27	-0.014	-1.364	-0.177	-0.016	-0.099
	P Value	0.943	0.036	0.814	0.406	0.816	0.967	0.389
3364	Huamantanga	1.451	-0.35	0.182	1.448	2.397	1.104	0.409
	P Value	0.007	0.006	0.003	0.267	0	0	0
3569	Huaros	-1.83	0.156	-0.061	3.536	-0.629	-0.555	-0.049
	P Value	0.001	0.011	0.522	0.06	0.376	0.068	0.402
3854	Pariacancha	-0.056	-0.02	-0.074	0.376	-1.704	-0.688	-0.14
	P Value	0.827	0.764	0.226	0.781	0.01	0.049	0.031

Tabla 15. Resultados RClimdex para la precipitación cuenca Rímac

ALTITUD	ESTACION	CDD (Días)	CWD (Días)	R10MM (Días)	PRCPTOT (mm)	R95P (mm)	R99P (mm)	RX1DAY (mm)
247	Von Humboldt	-8.51	0.005	0	0.026	-0.093	0	0.005
	P Value	0.384	0.804	NaN	0.842	0.344	NaN	0.926
867	Chosica	2.725	0.003	0.025	0.567	0.484	0.073	0.195
	P Value	0.387	0.888	0.199	0.265	0.174	0.733	0.352
970	Santa Eulalia	-0.896	-0.026	-0.041	-0.987	-0.412	-0.262	-0.15
	P Value	0.535	0.099	0.008	0.009	0.039	0.047	0.053
2220	Autisha	2.186	0.139	0.004	0.032	0.128	-0.047	0.03
	P Value	0.139	0.382	0.945	0.984	0.849	0.87	0.787
2417	Matucana	-0.426	0.019	0.012	1.489	0.313	-0.019	0.001
	P Value	0.358	0.709	0.744	0.159	0.564	0.952	0.99
3424	Carampoma	-0.303	0.149	-0.018	2.251	-0.965	-1.011	-0.135
	P Value	0.473	0.009	0.716	0.11	0.032	0.002	0.016
3829	San José de Parac	0.011	0.086	0.043	3.203	-0.042	-0.664	-0.072
	P Value	0.98	0.521	0.634	0.158	0.961	0.098	0.347

Tabla 16. Resultados RClimdex para la temperatura cuenca Huaura

ALTITUD	ESTACION	DTR (°C)	tnn (°C)	tnx (°C)	tr20 (Días)	su25 (Días)
8	IDM	0.009	-0.005	0.029	0.31	0.598
	P Value	0.329	0.796	0.376	0.469	0.509
131	Alcantarilla	-0.019	0.027	0.028	0.6	0.011
	P Value	0	0.003	0.003	0.002	0.971
770	Andahuasi	0.073	-0.061	-0.067	-0.03	1.458
	P Value	0.002	0.094	0.002	0.708	0.004
3013	Pícoy	-0.014	0.041	0.008	0	0.002
	P Value	0.161	0	0.128	NaN	0.75
3652	Oyon	0.036	0.045	-0.002	0	0
	P Value	0.071	0.004	0.92	NaN	NaN

Tabla 17. Resultados RClimdex para la temperatura cuenca Chancay Huaral

ALTITUD	ESTACION	DTR (°C)	tnn (°C)	tnx (°C)	tr20 (Días)	su25 (Días)
127	Donoso	-0.001	0.025	-0.004	-0.477	-0.032
	P Value	0.871	0.39	0.808	0.249	0.961
416	Lomas de Lachay	NA	0.019	0.014	0.662	1.697
	P Value	NA	0.723	0.751	0.338	0

Tabla 18. Resultados RClimdex para la temperatura cuenca Chillón

ALTITUD	ESTACION	DTR (°C)	tnn (°C)	tnx (°C)	tr20 (Días)	su25 (Días)
13	Aeropuerto	0.027	0.071	0.037	1.046	1.323
	P Value	0	0.005	0.159	0.199	0.073

Tabla 19. Resultados RClimdex para la temperatura cuenca Rímac

ALTITUD	ESTACION	DTR (°C)	tnn (°C)	tnx (°C)	tr20	su25
247	Von Humboldt	0.027	0.018	0.045	0.641	1.426
	P Value	0	0.297	0.001	0.169	0.002
2417	Matucana	0.02	-0.023	0.015	0	0.174
	P Value	0.119	0.029	0.03	NaN	0.002

En las tablas 12-15, se muestra el análisis de tendencias de precipitación y en las tablas 16-19 se muestra el análisis de tendencias de temperatura en las cuatro cuencas evaluadas realizado con el software RClimdex para el periodo de análisis de 1970-2019.

En este estudio se considera cuenca baja a las áreas o regiones que se encuentran por debajo de los 500 m.s.n.m. y cuenca alta por encima de los 2600 m.s.n.m.

El nivel de significancia del análisis estadístico de los índices obtenidos con RClimdex está dado por la variable p-value que indica el porcentaje de error que tienen estos índices, mientras que 1-p indica el nivel de confianza de los datos. Para el análisis de los índices de tendencias, se ha considerado como valores significativos aquellos índices que han obtenido un p-value menor o igual a 0.2, es decir un nivel de significancia del 80%.

Tabla 20. Tendencias de precipitación y temperatura en la cuenca baja obtenido con RClimdex

CUENCA	ESTACION	Precipitación total año	Precipitación intensa	Días muy húmedos	Temperatura máxima	Temperatura mínima
Huaura	CB Alcantarilla	-	-	-	+	+
Chancay	CB Donoso	-	-	-	-	+
Huaral	CB Lomas de Lachay	+	-	-	+	+
Chillón	CB Aeropuerto	-	-	-	+	+
Rimac	CB Von Humboldt	+	-	-	+	+

Legenda: CB = Cuenca baja. En color gris p-value con valor significativo

La tabla 20 muestra el resumen de las tendencias de precipitación y temperatura en la parte baja (CB) de las cuencas evaluadas, en general se puede observar que el comportamiento de la precipitación disminuye en todas las cuencas para los indicadores de precipitación intensa y días muy húmedos, la precipitación total anual solo se habría incrementado en las estaciones Lomas de Lachay y Von Humboldt.

En cuanto a la temperatura, los resultados son más contundentes, se puede observar que en todas las cuencas se observa un incremento en la temperatura mínima (Mínimo de la temperatura mínima) y en la temperatura máxima (días al año con $T > 25^{\circ} \text{C}$), salvo en la estación Donoso que muestra un descenso en la temperatura máxima.

Tabla 21. Tendencias de precipitación y temperatura en la cuenca media y alta obtenido con RClimdex

CUENCA	ESTACION	Precipitación total año	Precipitación intensa	Días muy húmedos	Temperatura máxima	Temperatura mínima
Huaura	CA Andajes	-	-	-		
	CA Picoy	-	-	-	+	+
	CA Paccho	-	-	+		
Chancay Huaral	CM Pallac	+	-	-		
	CA Santa Cruz	-	-	-		
	CA Pirca	-	-	-		
Chillón	CM Arahuay	-	-	-		
	CA Huamantanga	+	+	+		
	CA Huaros	+	-	-		
	CA Pariacancha	+	-	-		
Rimac	CM Chosica	+	+	+		
	CM Autisha	+	+	+		
	CM Matucana	+	+	+	+	-
	CA Carampoma	+	-	-		
	CA San Jose de Parac	+	+	-		

Leyenda: CM = Cuenca media, CA = Cuenca alta

La tabla 21 muestra el resumen de las tendencias de precipitación y temperatura en las partes media y alta (CM, CA) de las cuencas evaluadas, en general se puede observar que el comportamiento de la precipitación disminuye en la parte alta de la cuenca Huaura, excepto en la estación Paccho donde presentó un incremento en los días muy húmedos, en las partes media y alta de la cuenca Chancay-Huaral, de los 3 índices de precipitación evaluados, solo la estación Pallac muestra un aumento significativo en la precipitación total anual, en los demás casos la precipitación presenta una tendencia descendente; en la parte media de la cuenca Chillón, la estación Arahuay indica una disminución en la precipitación, en la cuenca alta todas las estaciones indican un incremento en la precipitación total anual y solo la estación Huamantanga indica un incremento en la precipitación intensa y los días muy húmedos; finalmente en la parte media de la cuenca Rímac las 3 estaciones indican un incremento de la precipitación mientras que en la parte alta las estaciones Carampoma y San José de Parac indican una tendencia al aumento en la precipitación total anual y una tendencia a la disminución en los días muy húmedos respectivamente.

En cuanto a la temperatura, la información en las cuencas media y alta no es suficiente, se puede observar en la cuenca Huaura que la estación Picoy ubicada en la cuenca alta presenta una tendencia al incremento en las temperaturas máxima y mínima; en el caso de la cuenca Rímac, la estación Matucana presenta una tendencia al incremento en la temperatura máxima pero una tendencia al descenso de la temperatura mínima.

A continuación se muestran los resultados de las tendencias obtenidos con el software TREND.

Tabla 22. Prueba de Mann-Kendall para tendencias de precipitación con TREND

Prueba de Mann-Kendall						
	Estaciones	Valor Crítico del Test Estadístico	(Tabla Estadística)			Resultado
			a=0.1	a=0.05	a=0.01	
HUAURA	Alcantarilla	1.84	1.645	1.96	2.576	S (0.1)
	Andajes	-0.234	1.645	1.96	2.576	NS
	Picoy	-1.539	1.645	1.96	2.576	NS
	Paccho	-0.318	1.645	1.96	2.576	NS
CHANCAY HUARAL	Pallac	1.355	1.645	1.96	2.576	NS
	Pirca	-1.305	1.645	1.96	2.576	NS
	Santa Cruz	0	1.645	1.96	2.576	NS
CHILLON	Arahuay	-0.502	1.645	1.96	2.576	NS
	Huamantanga	1.698	1.645	1.96	2.576	S (0.1)
	Huaros	2.819	1.645	1.96	2.576	S (0.01)
	Pariacancha	0.268	1.645	1.96	2.576	NS
RIMAC	Chosica	-1.297	1.645	1.96	2.576	NS
	Santa Eulalia	-1.138	1.645	1.96	2.576	NS
	Autisha	-0.134	1.645	1.96	2.576	NS
	Matucana	1.957	1.645	1.96	2.576	S (0.1)
	Carampoma	2.56	1.645	1.96	2.576	S (0.05)
	San José de Parac	1.924	1.645	1.96	2.576	S (0.1)

La tabla 22 muestra de manera general que la cuenca Rímac presenta una tendencia significativa al aumento de la precipitación, en el caso de las estaciones Matucana y San José de Parac a un nivel de confianza del 90% y en el caso de la estación Carampoma a un nivel de confianza del 95%.

Por otro lado en la cuenca Chillón se tiene un comportamiento similar al de la cuenca Rímac, es decir tiene 2 estaciones de precipitación con tendencia significativa al aumento de la precipitación, la estación Huamantanga con un nivel de confianza de 90% y la estación Huaros con un nivel de confianza de 99%.

En la cuenca Chancay-Huaral, las estaciones Pallac y Pirca muestran tendencias no significativas creciente y decreciente respectivamente, mientras que la estación Santa Cruz no muestra ninguna tendencia en la precipitación.

Finalmente, en la cuenca Huaura, solo la estación Alcantarilla ubicada en la parte baja de la cuenca, muestra una tendencia significativa al 90% de confianza de aumento en la precipitación anual.

Es importante mencionar que los datos de entrada para el software TREND son datos anuales de precipitación total, asimismo los niveles de significancia que usa el software tanto para el análisis de tendencias como para el análisis de cambios en la media están establecidos en 1%, 5% y 10%.

Si comparamos con el software RClimdex, en este caso los datos usados son diarios de precipitación y temperatura máxima y mínima, este software nos da el p-value con el cual el analista deberá determinar o establecer el nivel de significancia de los índices climáticos de precipitación y/o temperatura que desea evaluar.

Tabla 23. Prueba T Student para cambios en la precipitación con TREND

		Prueba de T de Student				
		Valor Crítico del Test Estadístico	(Tabla Estadística)			Resultado
			a=0.1	a=0.05	a=0.01	
HUAURA	Alcantarilla	-2.429	1.68	2.011	2.682	S (0.05)
	Andajes	0.147	1.68	2.011	2.682	NS
	Picoy	1	1.68	2.011	2.682	NS
	Paccho	-0.339	1.68	2.011	2.682	NS
CHANCAY HUARAL	Pallac	-2.344	1.68	2.011	2.682	S (0.05)
	Pirca	1.528	1.68	2.011	2.682	NS
	Santa Cruz	-0.737	1.68	2.011	2.682	NS
CHILLON	Arahuay	-0.13	1.68	2.011	2.682	NS
	Huamantanga	-2.081	1.68	2.011	2.682	S (0.05)
	Huaros	-2.098	1.68	2.011	2.682	S (0.05)
	Pariacancha	-0.385	1.68	2.011	2.682	NS
RIMAC	Chosica	0.169	1.68	2.011	2.682	NS
	Santa Eulalia	0.999	1.68	2.011	2.682	NS
	Autisha	-1.027	1.68	2.011	2.682	NS
	Matucana	-1.753	1.68	2.011	2.682	S (0.1)
	Carampoma	-3.082	1.68	2.011	2.682	S (0.01)
	San José de Parac	-1.606	1.68	2.011	2.682	NS

La tabla 23 muestra los resultados obtenidos con la prueba T de Student para las cuatro cuencas evaluadas, es importante mencionar que el periodo 1 de la media va de 1970-1994 y el periodo 2 de la media va de 1995-2019. Se puede observar que los cambios en la media de la precipitación se dan en las mismas estaciones que también muestran cambios en la tendencia de precipitación con excepción de las estaciones San José de Parac y Pallac. El mayor cambio observado en las medias es en la estación Carampoma en la cuenca Rímac con un nivel de confianza del 99%, luego con 95% de confianza tenemos cambios en la media en las siguientes estaciones: Alcantarilla, Pallac, Huamantanga y Huaros. Finalmente, el software TREND determina que la estación Matucana en la cuenca Rímac presenta un cambio en la media con un 90% de confianza.

4.6 Contraste de tendencias de precipitación vs huaicos ocurridos

En esta parte, se muestran los huaicos ocurridos en las 4 cuencas en el periodo 2003-2018, su relación con el percentil 93 y el contraste con las tendencias de precipitación.



Figura 55. Huaicos en la cuenca Huaura (color rojo)

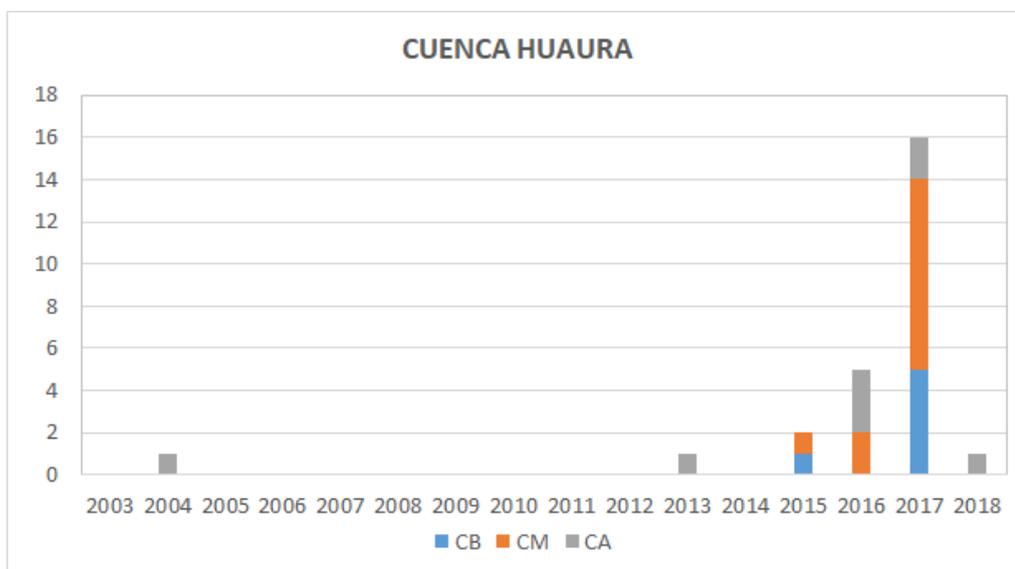


Figura 56. Historial de huaicos en las partes baja, media y alta de la cuenca Huaura

La figura 55 muestra los huaicos en la cuenca Huaura en el periodo 2003-2018 y la figura 56 muestra que la mayor frecuencia de huaicos se ha presentado en los años 2015, 2016 y 2017 mayormente en la cuenca media.

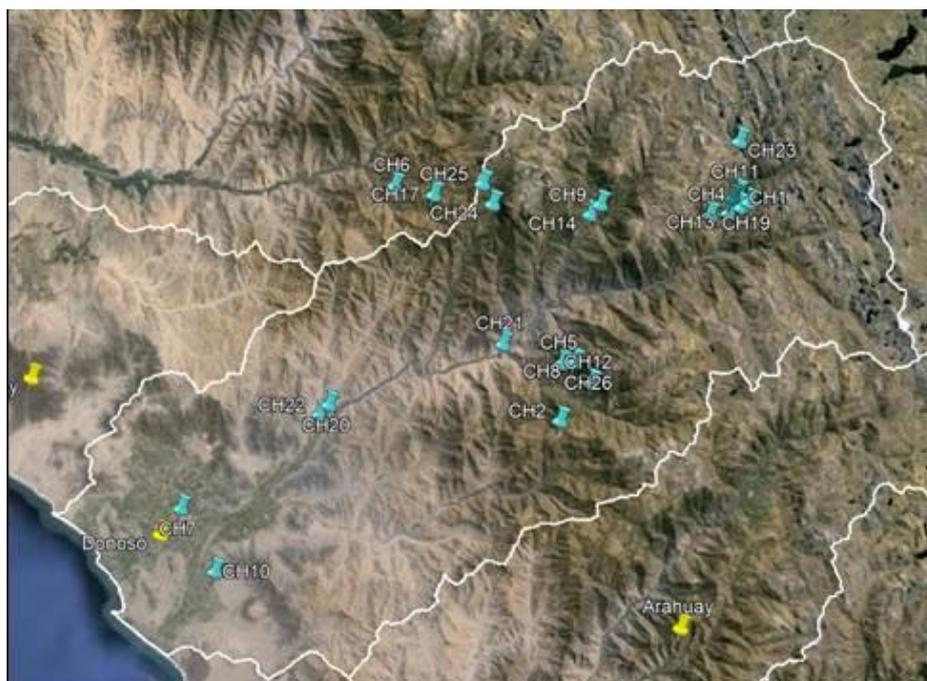


Figura 57. Huaicos en la cuenca Chancay-Huaral (color cian)

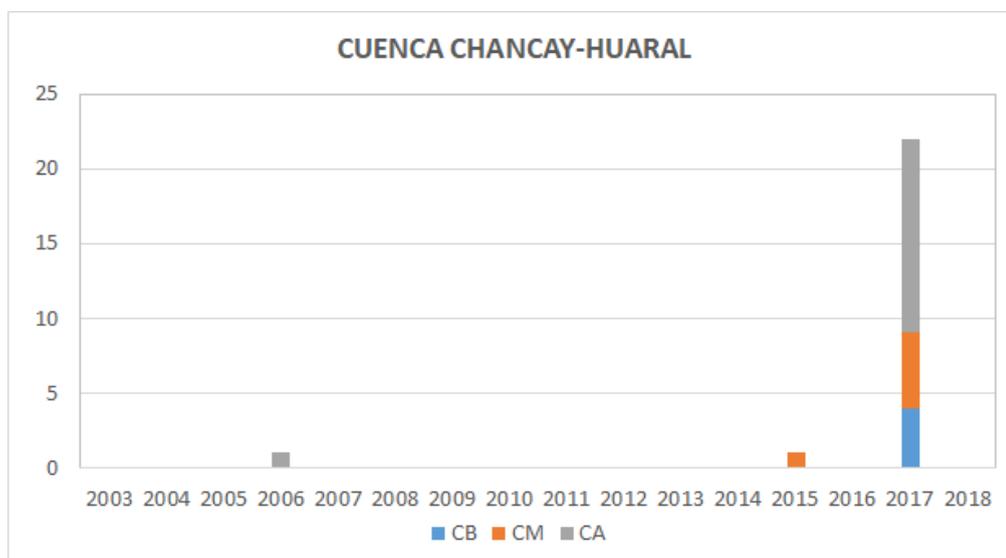


Figura 58. Historial de huaicos en las partes baja, media y alta de la cuenca Chancay-Huaral

La figura 57 muestra los huaicos en la cuenca Chancay-Huaral en el periodo 2003-2018 y la figura 58 muestra que la mayor frecuencia de huaicos se ha presentado en el año 2017 principalmente en la cuenca alta.

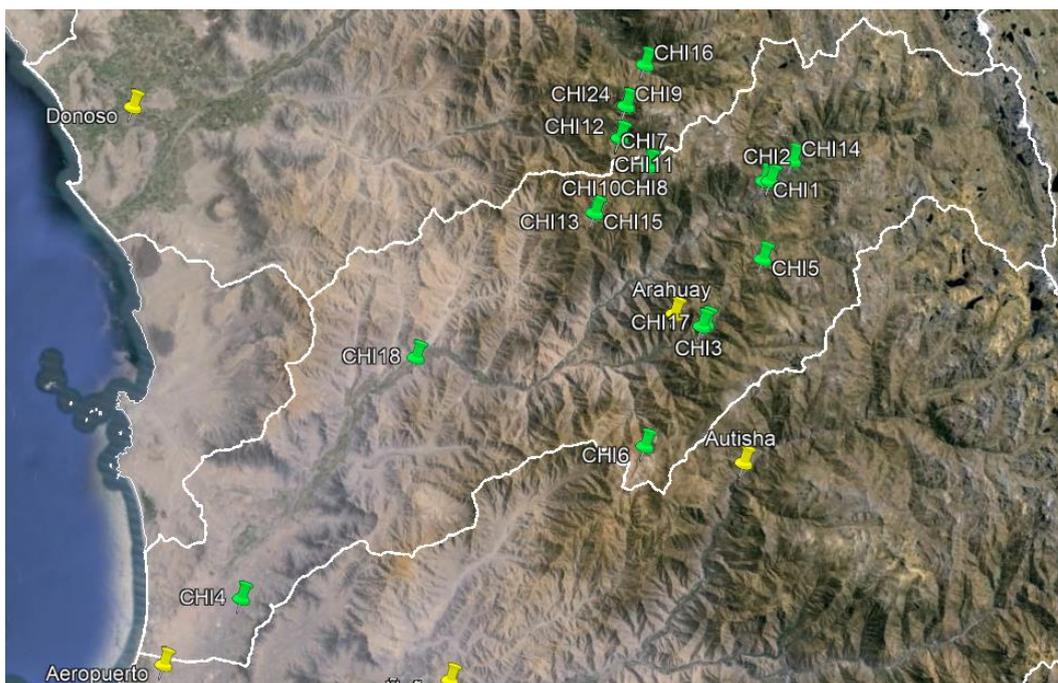


Figura 59. Huaicos en la cuenca Chillón (color verde)

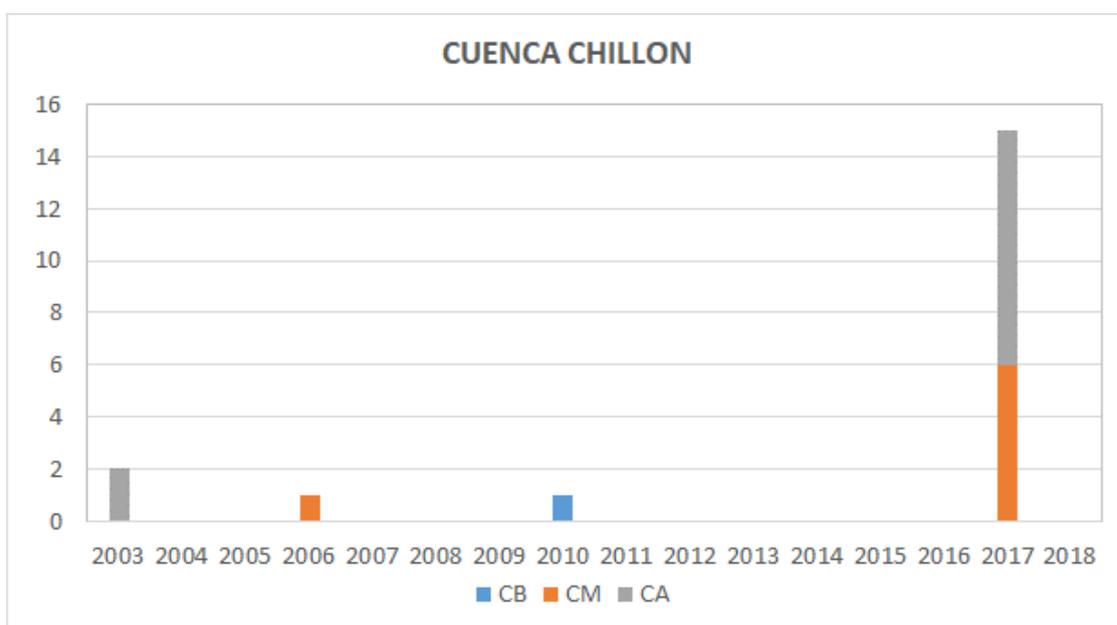


Figura 60. Historial de huaicos en las partes baja, media y alta de la cuenca Chillón

La figura 59 muestra los huaicos en la cuenca Chillón en el periodo 2003-2018 y la figura 60 muestra que la mayor frecuencia de huaicos se ha presentado en el año 2017 principalmente en la cuenca alta.

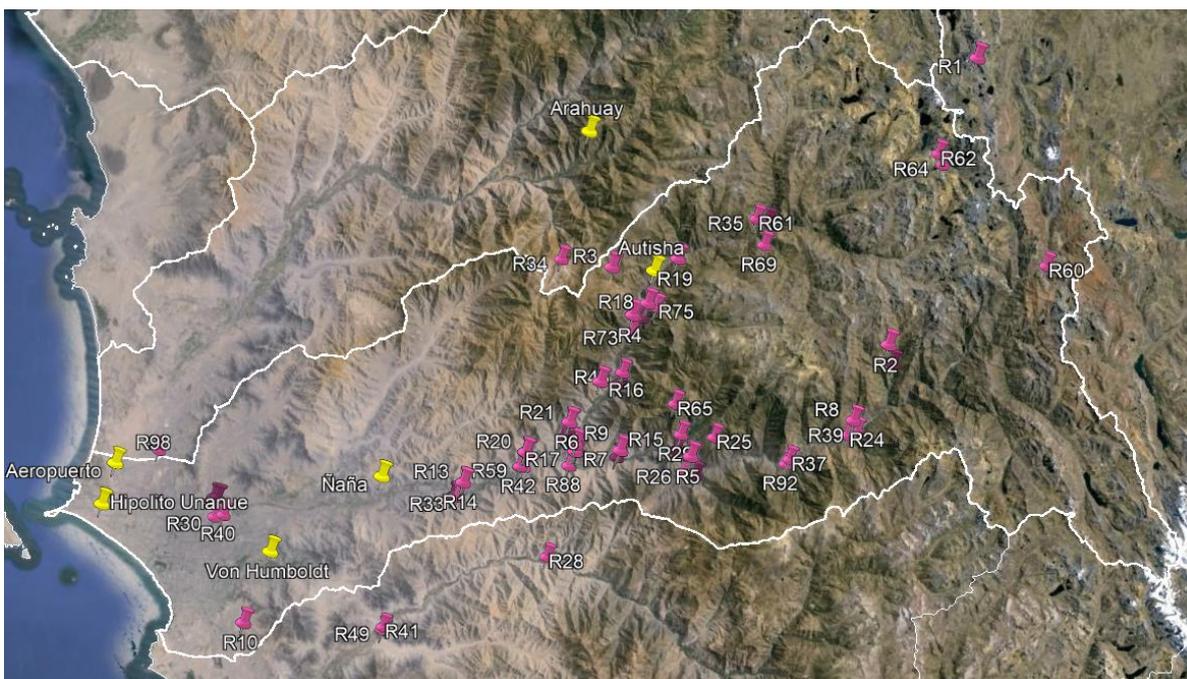


Figura 61. Huaicos en la cuenca Rímac (color magenta)

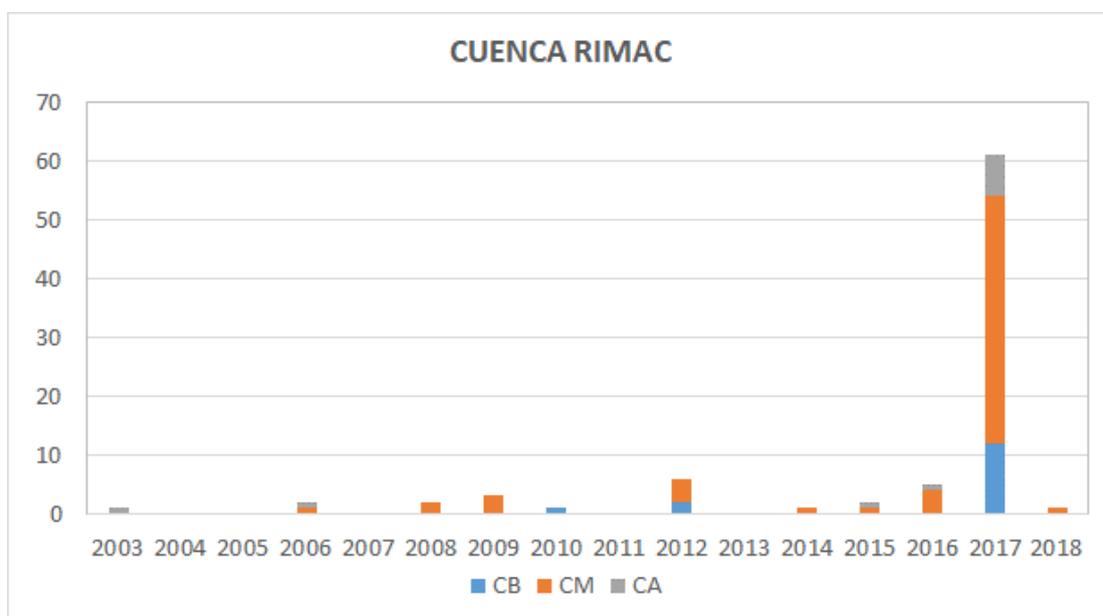


Figura 62. Historial de huaicos en las partes baja, media y alta de la cuenca Rímac

La figura 61 muestra los huaicos en la cuenca Rímac en el periodo 2003-2018 y la figura 62 muestra que la mayor frecuencia de huaicos se ha presentado en la cuenca media, principalmente en el año 2017.

Para determinar la relación entre el cambio de la variable precipitación y la cantidad de huaicos, hemos considerado las estaciones Alcantarilla, Donoso y Chosica que pertenecen a las cuencas de Huaura, Chancay-Huaral y Rímac respectivamente. Este análisis va estar limitado al periodo 2003-2018, porque es la única información que se tiene disponible sobre eventos de huaicos.

Solamente se van a considerar los huaicos que se encuentren a un radio de distancia de 10 km, en ese sentido se tienen las siguientes tablas.

	Alcantarilla			Alcantarilla		
	FEB	MAR		Huaicos	FEB	MAR
2003	0.0	0.0	2003	0		
2004	0.0	0.8	2004	0		
2005	0.2	0.0	2005	0		
2006	1.2	1.5	2006	0		
2007	0.2	0.4	2007	0		
2008	0.0	1.1	2008	0		
2009	6.7	1.2	2009	0	+	
2010	0.2	0.0	2010	0		
2011	0.0	1.3	2011	0		
2012	1.3	0.3	2012	0		
2013	0.1	2.6	2013	0		+
2014	0.0	1.2	2014	0		
2015	1.0	0.2	2015	0		
2016	1.4	0.0	2016	0	+	
2017	0.5	2.1	2017	2		+
2018	0.7	0.2	2018	0		
Percentil 93	1.395	2.070				

Figura 63. Precipitación mensual en la estación Alcantarilla y huaicos ocurridos

Los dos huaicos que ocurrieron cerca de la estación Alcantarilla se dieron en las siguientes fechas: 27/02/2017 y 14/03/2017, de estos 2 huaicos según los datos de precipitación solo el segundo se puede verificar. El percentil 93 se calculó para identificar el mes en el que probablemente se haya podido presentar un huaico.

De acuerdo a la tabla 22 y según el software TREND, la estación Alcantarilla indica que existe una tendencia significativa al 90% de confianza de aumento en la precipitación anual, sin embargo, el software RClimdex no muestra tendencia al aumento de precipitación en los 3 índices climáticos evaluados.

Donoso		Donoso	
	MAR	Huaicos	MAR
2003	0.00	2003	0
2004	1.10	2004	0
2005	0.00	2005	0
2006	2.30	2006	0
2007	5.00	2007	0
2008	2.10	2008	0
2009	3.80	2009	0
2010	0.00	2010	0
2011	0.00	2011	0
2012	0.50	2012	0
2013	1.80	2013	0
2014	3.60	2014	0
2015	1.80	2015	0
2016	0.00	2016	0
2017	8.90	2017	2 +
2018		2018	0

Percentil 93 5.078

Figura 64. Precipitación mensual en la estación Donoso y huaicos ocurridos

Los dos huaicos que ocurrieron cerca de la estación Donoso se dieron el 14/03/2017, estos 2 huaicos se puede verificar por el dato de precipitación que ocurrió esta fecha. El percentil 93 se calculó para identificar el mes en el que probablemente se haya podido presentar un huaico, según los datos de marzo de la estación Donoso este valor se supera en marzo 2017.

Según la tabla 20 obtenida con el software RClimdex, la estación Donoso no muestra tendencia al aumento de precipitación en los 3 índices climáticos evaluados.

	Chosica				Chosica			
	FEB	MAR	APR		Huaicos	FEB	MAR	APR
2003	10.3	2.9	0	2003	0			
2004	0.6	1.5	0.5	2004	0			
2005	1.7	0	0	2005	0			
2006	9.0	6.9	0	2006	0			
2007	3.0	2.8	7.7	2007	0			+
2008	12.1	1.5	0	2008	0			
2009	24.3	17.8	1.6	2009	0	+		
2010	0.3	0.8	0	2010	0			
2011	7.0	1	1.5	2011	0			
2012	12.8	4	37.4	2012	1			+
2013	2.5	3.5	0	2013	0			
2014	2.8	12.5	0.9	2014	0			
2015	15.1	41.8	2.1	2015	2	+	+	
2016	6.7	0.5	4	2016	0			
2017	14.3	40.4	0	2017	1		+	
2018	14.7	0.5	0	2018	0			
Percentil 93	15.080	39.270	7.515					

Figura 65. Precipitación mensual en la estación Chosica y huaicos ocurridos

Los cuatro huaicos que ocurrieron cerca de la estación Chosica se dieron el 05/04/2012, 09/02/2015, 23/03/2015 y 16/03/2017, estos cuatro huaicos se pueden verificar por el dato de precipitación que ocurrió en esas fechas y se indican como +. De acuerdo al percentil 93, se indican con el signo + aquellos meses en los que probablemente se haya podido presentar un huaico.

Según la tabla 21 obtenida con el software RClindex, la estación Chosica **SI** muestra tendencia al aumento de precipitación en los 3 índices climáticos evaluados, sin embargo, en la tabla 22 con el software TREND, los resultados no muestran una tendencia al aumento de la precipitación anual para la estación Chosica.

V. CONCLUSIONES

- El análisis de tendencias con el software RClimdex para la variable temperatura es contundente, en la parte baja de todas las cuencas evaluadas, se puede observar un incremento en la temperatura mínima (TNN) y en la temperatura máxima (SU25), salvo en la estación Donoso que muestra un descenso en la temperatura máxima. Debido a la escasa información de datos de temperatura, en las partes media y alta de las cuencas evaluadas solo se ha podido determinar que en la cuenca Huaura (estación Picoy) se ha observado una tendencia al incremento en la temperatura máxima (SU25) y en la temperatura mínima (TNN), mientras que en la cuenca Rímac (estación Matucana) se ha observado una tendencia al incremento en la temperatura máxima (SU25) y una tendencia al descenso en la temperatura mínima (TNN).
- El análisis de tendencias con el software RClimdex para la variable precipitación en la parte baja de las cuencas evaluadas, en general se puede observar que el comportamiento de la precipitación disminuye en todas las cuencas para los indicadores de precipitación intensa y días muy húmedos, la precipitación total anual solo se habría incrementado en las estaciones Lomas de Lachay y Von Humboldt.
- El análisis de tendencias con el software RClimdex para la variable precipitación en la parte alta de la cuenca Huaura indica una disminución en los 3 índices climáticos: Precipitación total anual (PRCPTOT), precipitación intensa (R10) y días muy húmedos (R95P) excepto la estación Paccho que presenta una tendencia al incremento de los días muy húmedos. Para la cuenca Chancay Huaral también se obtuvo una tendencia a la disminución de la precipitación en los 3 índices climáticos excepto la estación Pallac que presenta una tendencia al incremento en la precipitación total anual. Para la cuenca Chillón en la parte media (Arahuay) se observa una disminución en los 3 índices, en la cuenca alta la estación Huamantanga presenta una tendencia al incremento en los 3 índices, mientras que las estaciones Huaros y Pariacanca presentan una tendencia a la disminución o descenso de los indicadores R10 y R95P y un aumento en la PRCPTOT. Para la cuenca media del Rímac las estaciones Chosica, Autisha y Matucana indican de manera contundente una tendencia al incremento de los 3 indicadores climáticos de precipitación, mientras que en la parte alta las estaciones Carampoma y San José de Parac muestran una tendencia al incremento de la precipitación total anual.
- El análisis de tendencias de la precipitación anual con el software TREND indica una tendencia significativa al aumento de la precipitación en la estación Huaros con un nivel de confianza del 99%, en la estación Carampoma con 95% y en las estaciones Matucana, San José de Parac, Huamantanga y Alcantarilla con 90%.

- En cuanto a la relación entre el cambio de las variables temperatura y precipitación y el incremento de los huaicos en el departamento de Lima, se puede asegurar que en el caso de la cuenca media del Rímac, a partir de los resultados obtenidos con RClimdex, los 3 indicadores climáticos de precipitación presentaron incremento, en el caso de la estación Chosica, dos de ellos (precipitación intensa y días muy húmedos) presentaron alta significancia, lo cual se puede verificar con los huaicos que han ocurrido en los años 2012, 2016 y 2017 (ver Fig. 62) a diferencia de las cuencas Huaura y Chancay-Huaral que han mostrado una tendencia a la disminución de estos índices climáticos de precipitación y que además solo registran dos huaicos que fueron contrastados con la precipitación de las estaciones Alcantarilla y Donoso respectivamente (ver Fig. 63 y 64).
- Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los que obtuvo Armenta para Ecuador, es decir incrementos de temperatura y disminución de la variable precipitación en las estaciones costeras (estaciones en cuenca baja de nuestras cuencas evaluadas).
- Existe muy poca información de temperatura en las cuencas evaluadas (ver Fig. 10) y las series de tiempo presentan vacíos. En la cuenca Huaura las estaciones Alcantarilla, Andahuasi, Isla Don Martín, Oyon y Picoy tienen 2%, 53%, 38%, 41% y 6% de datos faltantes respectivamente. En la cuenca Chancay-Huaral la estación Donoso con 36% de datos faltantes. En la cuenca Chillón la estación Aeropuerto Internacional Jorge Chavez con 22% de datos faltantes. En la cuenca Rímac las estaciones Hipólito Unanue, Von Humboldt, Ñaña y Matucana tienen 61%, 28%, 12% y 15% de datos faltantes respectivamente.
- En cuanto a los datos de precipitación existen varias estaciones que ya no registran más y/o tienen grandes vacíos. En la cuenca Huaura las estaciones Alcantarilla, Andajes, Isla Don Martín, Paccho y Picoy tienen 0%, 4%, 37%, 0% y 0% de datos faltantes respectivamente. En la cuenca Chancay-Huaral las estaciones Donoso, Huayan, Lomas de Lachay, Pallac, Pircay Santa Cruz tienen 36%, 2%, 22%, 0%, 0%, y 2% de datos faltantes respectivamente. En la cuenca Chillón las estaciones Aeropuerto, Arahuay, Huamantanga, Huaros y Pariacancha tienen 50%, 20%, 3%, 0% y 0% de datos faltantes respectivamente. En la cuenca Rímac las estaciones Autisha, Carampoma, Chosica, Hipólito Unanue, Matucana, Ñaña, Santa Eulalia, San José de Parac y Von Humboldt tienen 22%, 1%, 41%, 62%, 3%, 17%, 2%, 21% y 46% de datos faltantes respectivamente.
- Hace falta una base de datos de huaicos histórica a nivel nacional que indique ubicación del huaico (coordenadas), zonas afectadas y evaluación de daños, INDECI elaboró una página web con esta información pero solo para el periodo 2003-2018.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda instalar estaciones meteorológicas para el registro de las variables precipitación y temperatura en la parte media de las cuencas evaluadas puesto que existe un gran vacío de información, en especial en la cuenca media del Rímac ya que actualmente solo se tiene el registro de la precipitación en la estación Chosica y es la zona que registra mayor cantidad de huaicos durante la temporada de lluvias.
- Solicitar al INDECI la actualización de la información histórica de emergencias por fenómeno, la que existe solo está disponible hasta el año 2018, asimismo siempre debe mostrar las coordenadas del lugar donde ocurrió el huaico.
- Realizar la actualización de este estudio cuando se tenga mas información sobre huaicos importantes.
- Realizar estudios similares en otras regiones del Perú donde también hayan ocurrido huaicos.

VII. REFERENCIAS

- Benavides, H., Mayorga, R. & Hurtado, G. (2007). *Análisis de índices de extremos climáticos para Colombia usando el Rclimdex* (Nota Técnica IDEAM – METEO/007-2007). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. tua
- Fidel, L.; Zavala, B.; Medina, L.; Castillo, L. & Jackson, L. (2008). *Movimientos en masa: Deslizamientos y huaicos en la cuenca de la quebrada Paihua. Región Lima, Provincia Huarochiri, distrito Matucana.*
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/2193>
- González, V., Alaniz, L., Arriaga, J. (Setiembre, 2018). *Análisis de tendencias para la identificación de la variabilidad climática en la cuenca del río Colorado, EUA-México.* XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina.
https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_185.pdf
- Hawkins, D. (1980). *Identification of Outliers.* Chapman & Hall.
- Instituto Geológico Minero y Metalurgico. (2005). *Movimientos en masa: Deslizamientos y huaicos en la quebrada Paihua* (Informe Técnico N°A6871).
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2193>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo.* Lima: INDECI.
<https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Amb-106.pdf>
- Khoir, A.N., Mamlu'atur, R., Safril, A., & Fadholi, A. (November, 2018). Analysis of changes in daily temperature and precipitation extreme in Jakarta on period of 1986-2014. *International Conference on Disaster Management 229(02017)*, 1-8. MATEC web of conferences.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201822902017>
- Lavado-Casimiro, W., Silvestre, E., & Pulache, W. (2010). Tendencias en los extremos de lluvias cerca a la ciudad del Cusco y su relación con las inundaciones de enero del 2010. *Revista Peruana Geo-atmosférica* (2), 89-98.
<https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1049>
- Zhang, X.; Yang, F. (2004). *RClimDex (1.0) User Manual.* Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario Canada.
<https://acmad.net/rcc/procedure/RClimDexUserManual.pdf>