

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TESIS:**

**Evaluación del índice de sequía en la cuenca del río Cachi  
mediante los métodos estadísticos SPI y SPEI, Ayacucho-2024**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERA AGRÍCOLA**

PRESENTADO POR:

**Bach. Carol Sheyla MEDINA HUAMAN**

ASESOR:

**M.Sc. David Jorge ALARCÓN ATAUCUSI**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2025**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por darme salud y fortaleza para culminar este estudio.*

*A mis padres, por su esfuerzo constante, su apoyo incondicional y por impulsarme siempre a crecer profesionalmente.*

*A mi hermana, por acompañarme en todo momento con amor y generosidad; y a mi hermano, por ser ejemplo de determinación.*

*A mis verdaderos amigos, por estar a mi lado con palabras sinceras, apoyo genuino y presencia constante durante este proceso.*

*Y a mi fiel mascota Bobby, por ser compañía y consuelo en cada etapa de mi vida universitaria.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza; por guiarme en cada paso de mi camino académico, brindándome perseverancia y claridad para alcanzar mis objetivos.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola.

A mis docentes, cuyo compromiso y enseñanza, ha sido fundamental en mi crecimiento profesional.

Al M.Sc. David Jorge Alarcón Ataucusi, mi asesor de tesis, por su guía constante, dedicación y apoyo incondicional durante el desarrollo de esta investigación, donde su orientación, ha sido clave para la culminación exitosa de este trabajo.

A mi familia y amigos, por su incondicional apoyo emocional y motivacional, siendo un pilar esencial y fundamental en momentos de desafío y así, alcanzar este logro.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y al Gobierno Regional de Ayacucho, por proporcionarme datos esenciales para realizar el estudio, contribuyendo al desarrollo de esta investigación.

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar el índice de sequía mediante los métodos estadísticos SPI y SPEI durante el periodo de 1994-2015, y proyectar su comportamiento futuro hasta el año 2100 en la cuenca del río Cachi, región Ayacucho. Se emplearon datos de precipitación observada provenientes de diez estaciones meteorológicas (SENAMHI y OPEMAN), así como datos simulados del producto grillado RAIN4PE, complementados con series temporales en ocho puntos adicionales para mejorar la cobertura espacial. En una primera etapa, se identificaron y analizaron las diferencias entre las precipitaciones observadas y estimadas, aplicando estadísticas como la prueba t-Student, F de Fisher, el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y la correlación de Pearson. Los resultados evidenciaron una correlación alta ( $R > 0.75$ ) y una eficiencia de desempeño entre satisfactoria y muy buena del producto RAIN4PE, validando su uso como fuente alternativa de datos climáticos. Posteriormente, se caracterizó la sequía mediante el SPI a una escala de 6 meses, identificando eventos moderados y severos distribuidos de manera fluctuante en el tiempo y el espacio, siendo las zonas medias y bajas de la cuenca las más afectadas. Finalmente, se analizó el impacto del cambio climático en las características de sequías futuras mediante el índice SPEI, utilizando proyecciones de los Modelos Climáticos Globales (GCM) bajo el escenario RCP8.5. Los resultados muestran una tendencia creciente en la frecuencia, duración y severidad de las sequías hacia fines del siglo XXI, especialmente en las zonas medias-altas de la cuenca. Estos hallazgos aportan una base científica para la comprensión del comportamiento histórico y futuro de las sequías y proporcionan información útil para la gestión de recursos hídricos, la planificación territorial y el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático.

**Palabras clave:** Sequía, SPI, SPEI, cambio climático, cuenca del río Cachi.

## ABSTRACT

The main objective of this research was to assess the drought index using the statistical methods SPI and SPEI during the period 1994–2015 and to project its future behavior up to the year 2100 in the Cachi River Basin, Ayacucho region. Observed precipitation data were obtained from ten meteorological stations (SENAMHI and OPEMAN), as well as simulated data from the gridded product RAIN4PE, complemented with time series at eight additional points to improve spatial coverage. In the first stage, differences between observed and estimated precipitation were identified and analyzed using statistical tools such as the Student's t-test, Fisher's F-test, the Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient (NSE), and Pearson's correlation. The results showed a high correlation ( $R > 0.75$ ) and a satisfactory to very good performance efficiency of the RAIN4PE product, validating its use as an alternative source of climate data. Subsequently, drought was characterized using the SPI at a 6-month scale, identifying moderate and severe events distributed unevenly over time and space, with the middle and lower areas of the basin being the most affected. Finally, the impact of climate change on future drought characteristics was analyzed using the SPEI index, based on projections from Global Climate Models (GCMs) under the RCP8.5 scenario. The results indicate an increasing trend in the frequency, duration, and severity of droughts towards the end of the 21st century, particularly in the mid-to-upper areas of the basin. These findings provide a scientific basis for understanding the historical and future behavior of droughts and offer useful information for water resource management, land-use planning, and the development of climate change adaptation strategies.

**Keywords:** Drought, SPI, SPEI, climate change, Cachi river basin.

## ÍNDICE

pág.

<b>I. CAPÍTULO I</b> .....	<b>14</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Antecedentes</b> .....	<b>14</b>
1.1.1 Antecedentes internacionales. ....	14
1.1.2 Antecedente nacional.....	15
<b>1.2 Cuenca hidrográfica</b> .....	<b>15</b>
1.2.1 Elementos de la cuenca hidrográfica.....	16
<b>1.3 El agua</b> .....	<b>16</b>
<b>1.4 Manejo de cuenca</b> .....	<b>17</b>
<b>1.5 Ciclo hidrológico</b> .....	<b>17</b>
1.5.1 Precipitación .....	17
1.5.2 Escurrimiento .....	17
1.5.3 Infiltración.....	18
1.5.4 Evaporación .....	18
<b>1.6 La sequía</b> .....	<b>18</b>
1.6.1 Clasificación de la sequía.....	19
1.6.2 Caracterización de sequías.....	20
1.6.3 Modelos de predicción de sequía .....	22
1.6.4 Índices de sequía .....	23
1.6.5 Escalas de tiempo.....	27
1.6.6 La sequía y sus efectos.....	29
<b>1.7 Sistema de teledetección</b> .....	<b>29</b>
1.7.1 Producto PISCO.....	29
1.7.2 Producto RAIN4PE .....	30
<b>1.8 Cambio climático</b> .....	<b>30</b>
<b>1.9 Modelos climáticos globales (GCM)</b> .....	<b>31</b>
1.9.1 Escenarios climáticos.....	32
<b>1.10 Reducción de escala de los modelos climáticos</b> .....	<b>33</b>
<b>II. CAPÍTULO II</b> .....	<b>35</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>35</b>

<b>2.1</b>	<b>Ubicación de la zona de estudio.....</b>	<b>35</b>
2.1.1	Ubicación política.....	35
2.1.2	Ubicación geográfica.....	35
2.1.3	Ubicación hidrográfica.....	35
2.1.4	Ubicación administrativa.....	36
2.1.5	Punto de aforo.....	36
<b>2.2</b>	<b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>38</b>
2.2.1	Observación.....	38
2.2.2	Medición.....	38
2.2.3	Descripción.....	38
<b>2.3</b>	<b>Procedimiento para la recolección de datos.....</b>	<b>38</b>
2.3.1	Fuentes de información.....	38
<b>2.4</b>	<b>Materiales y equipos.....</b>	<b>40</b>
2.4.1	Materiales.....	40
2.4.2	Equipos.....	40
<b>2.5</b>	<b>Problema general.....</b>	<b>40</b>
<b>2.6</b>	<b>Problemas específicos.....</b>	<b>40</b>
<b>2.7</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>41</b>
2.7.1	Delimitación del área de estudio.....	42
2.7.2	Recopilación y procesamiento de información climática.....	43
2.7.3	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	44
2.7.4	Estimación de los índices SPI y SPEI para sequías presentes.....	56
2.7.5	Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP).....	57
2.7.6	Validación de series de precipitación y simulaciones.....	57
2.7.7	Análisis e interpretación de los índices de sequía SPI y SPEIE.....	57
<b>III.</b>	<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>58</b>
	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>58</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterización del área de estudio.....</b>	<b>58</b>
3.1.1	Fuente de datos y periodo de estudio.....	60
3.1.2	Distribución de datos en la cuenca del río Cachi.....	60
3.1.3	Análisis exploratorio de datos (AED).....	63
3.1.4	Evaluación de la consistencia y calidad del producto grillado RAIN4PE.....	64
3.1.5	Formación de regiones homogéneas.....	68

3.1.6 Resultados del análisis de los indicadores de sequía en diferentes escalas de tiempo.....	77
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>122</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>124</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>125</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los intervalos húmedos y secos en función al valor del índice SPI. .....	2
<b>Tabla 2.</b> Posicionamiento hidrográfico de la zona objeto de estudio.....	35
<b>Tabla 3.</b> Ubicación del punto de aforo del ámbito de estudio.....	36
<b>Tabla 4.</b> Valores del coeficiente de Nash-Sutcliffe (CE).....	51
<b>Tabla 5.</b> Escala de correlación de Pearson. ....	52
<b>Tabla 6.</b> Rangos e interpretación del sesgo porcentual (PBIAS). ....	54
<b>Tabla 7.</b> Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Cachi.....	59
<b>Tabla 8.</b> Posicionamiento de las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Cachi. ....	60
<b>Tabla 9.</b> Posicionamiento de los puntos de registro en la cuenca del río Cachi. ....	62
<b>Tabla 10.</b> Resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a las estaciones de la cuenca .....	68
<b>Tabla 11.</b> Resultados de las características importantes de todos los puntos de registro. .....	70
<b>Tabla 12.</b> Resultados de las características importantes de la región homogénea 1. ....	73
<b>Tabla 13.</b> Resultados de las características importantes de la región homogénea 2. ....	74
<b>Tabla 14.</b> Resultados de las características importantes de la región homogénea 4. ....	74
<b>Tabla 15.</b> Atributos de las sequías SPI más severas que ocurrieron en cada región homogénea desde el 1994 hasta 2015. ....	82
<b>Tabla 16.</b> Atributos de las sequías SPEI más severas que ocurrieron en cada región homogénea desde el 1994 hasta 2015. ....	88
<b>Tabla 17.</b> Análisis de la correlación cruzada del SPI en 5 escalas temporales para la región 1 en el periodo 1994-2015. ....	91
<b>Tabla 18.</b> Análisis de la correlación cruzada del SPEI en las 5 escalas temporales para la región 1 en el periodo 1994-2015. ....	91
<b>Tabla 19.</b> Análisis de la correlación entre SPI y SPEI para sus diferentes escalas temporales.....	92

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Características de la sequía para un nivel de truncamiento $x_0$ .....	22
<b>Figura 2.</b> Estimaciones históricas y proyecciones de las precipitaciones para un área de estudio hacia el año 2100 obtenidas con los modelos CMIP5 y escenarios del IPCC.....	32
<b>Figura 3.</b> Estimaciones históricas y proyecciones de las temperaturas para un área de estudio hacia el año 2100 obtenidas con los modelos CMIP5 y escenarios del IPCC.....	32
<b>Figura 4.</b> Diversas metodologías para la corrección de datos de los MCG.....	34
<b>Figura 5.</b> Ubicación geográfica del área de estudio.....	37
<b>Figura 6.</b> Esquema de la ruta metodológica del proyecto.....	41
<b>Figura 7.</b> Proyección de datos grillados PISCO (temperatura máxima y mínima) a escala mensual.....	43
<b>Figura 8.</b> Proyecciones de datos grillados RAIN4PE a escala diaria.....	44
<b>Figura 9.</b> Identificación de un salto en la serie hidrometeorológica.....	45
<b>Figura 10.</b> Delimitación de la cuenca del río Cachi.....	59
<b>Figura 11.</b> Ubicación de estaciones pluviométricas en la cuenca de estudio.....	61
<b>Figura 12.</b> Series de precipitación de las estaciones meteorológicas.....	61
<b>Figura 13.</b> Series de precipitación registradas en los puntos de registro.....	63
<b>Figura 14.</b> Diagramas de caja de la precipitación mensual en las estaciones meteorológicas (1994-2015).....	63
<b>Figura 15.</b> Serie temporal de precipitación mensual: comparación entre datos observados y estimados por RAIN4PE en la estación San Pedro de Cachi.....	65
<b>Figura 16.</b> Dendograma utilizando el método de Ward.....	69
<b>Figura 17.</b> Resultados de MVR para todas las estaciones.....	70
<b>Figura 18.</b> Suma de los índices anuales del vector y de las estaciones.....	71
<b>Figura 19.</b> Resultados de MVR para la región 1.....	72
<b>Figura 20.</b> Resultados de MVR para la región 2.....	72
<b>Figura 21.</b> Resultados de MVR para la región 4.....	73
<b>Figura 22.</b> Suma de los índices anuales del vector y de las estaciones en la región 1.....	75
<b>Figura 23.</b> Suma de los índices anuales del vector y de las estaciones en la región 2.....	75
<b>Figura 24.</b> Suma de los índices anuales del vector y de las estaciones en la región 4.....	76
<b>Figura 25.</b> Estimación del SPI para la región homogénea 2 a escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses.....	79
<b>Figura 26.</b> Estimación del SPI para la región homogénea 3 a escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses.....	81
<b>Figura 27.</b> Estimación del SPEI para la región homogénea 2 a escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses.....	85

<b>Figura 28.</b> Estimación del SPEI para la región homogénea 3 a escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses. ....	87
<b>Figura 29.</b> Coeficiente de correlación entre SPI y SPEI sobre sus respectivas escalas temporales.....	91
<b>Figura 30.</b> Coeficiente de correlación entre los índices de sequía SPI y SPEI diversas escalas temporales.....	92
<b>Figura 31.</b> Características de las sequías a lo largo de un marco temporal de seis meses anuales.....	97
<b>Figura 32.</b> Datos de precipitación simulados utilizando GCM para la cuenca del rio Cachi. ....	98
<b>Figura 33.</b> Datos de temperatura simulados utilizando GCM para la cuenca del rio Cachi. ....	99
<b>Figura 34.</b> Serie temporal de la precipitación observada y simulados por GCM sin corrección.....	100
<b>Figura 35.</b> Datos de precipitación observada y simulada corregida GCM.....	101
<b>Figura 36.</b> Datos de temperatura máxima observada y simulada corregida GCM. ....	101
<b>Figura 37.</b> Datos de temperatura mínima observada y simulada corregida GCM.....	102
<b>Figura 38.</b> Estimación del SPEI-3 para la región homogénea 2 para los periodos de a) 2020-2040, b) 2041-2060, c) 2061-2080 y d) 2081-2100.....	107
<b>Figura 39.</b> Estimación del SPEI-3 para la región homogénea 2 para los periodos de a) 2020-2040, b) 2041-2060, c) 2061-2080 y d) 2081-2100.....	108
<b>Figura 40.</b> Estimación del SPEI-12 para la región homogénea 2 para los periodos de a) 2020-2060 y b) 2061-2100.....	108
<b>Figura 41.</b> Estimación del SPEI-3 para la región homogénea 3 para los periodos de a) 2020-2040, b) 2041-2060, c) 2061-2080 y d) 2081-2100.....	110
<b>Figura 42.</b> Estimación del SPEI-12 para la región homogénea 3 en el periodo de tiempo a) 2020-2060 y b) 2061-2100.....	110
<b>Figura 43.</b> Características proyectadas de las sequías de corto plazo (SPEI-3).....	115
<b>Figura 44.</b> Características proyectadas de las sequías de largo plazo (SPEI-12).....	120

## INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno natural, difícil de prever y controlar, ya que se desarrolla de manera gradual y muchas veces no se percibe hasta que sus efectos son evidentes. Este evento climático puede causar grandes pérdidas económicas, afectar la producción agrícola y poner en riesgo la disponibilidad de agua para el consumo humano. A lo largo del tiempo, diferentes estudios han definido la sequía desde distintas perspectivas, pero en general, todas coinciden en que se trata de un déficit prolongado de recursos hídricos que impacta a la sociedad y a los ecosistemas (Marcos, 2001).

A diferencia de otros fenómenos naturales, la sequía se desarrolla de manera gradual y suele pasar desapercibida hasta que afectan las actividades humanas o el medio ambiente. Además, sus consecuencias pueden prolongarse incluso después que las condiciones hídricas se normalicen (Changnon & Easterling, 1989).

La cuenca del río Cachi enfrenta un desafío importante, ya que puede comprometer la disponibilidad hídrica y afectar el equilibrio de los ecosistemas existentes. Por esta razón, es fundamental evaluar la sequía en la zona, no solo para comprender su comportamiento, sino también para mejorar la gestión de los recursos hídricos y planificar estrategias de mitigación.

Para este estudio, se utilizó dos índices estadísticos ampliamente reconocidos en la evaluación de la sequía: el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI). Estos métodos permitieron analizar la variabilidad temporal y espacial de la sequía en la cuenca del río Cachi y proyectar posibles escenarios futuros a partir del impacto del cambio climático.

## **Objetivo general**

Evaluar el índice de sequía utilizando los métodos estadísticos SPI y SPEI durante el periodo comprendido entre 1994 y 2015 y proyectar las tendencias futuras hasta el año 2100 en la cuenca del río Cachi.

## **Objetivos específicos**

1. Identificar y analizar las diferencias entre los datos de precipitación observados en las estaciones meteorológicas y los datos simulados durante el período 1994-2015 en la cuenca del río Cachi.
2. Caracterizar la sequía mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), analizando su distribución espacial y temporal para una escala temporal específica en la cuenca del río Cachi.
3. Analizar el impacto del cambio climático en las características de las sequías futuras utilizando datos simulados por Modelos Climáticos Globales (GCM) mediante el Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) para escalas de tiempo corto y largo plazo en la cuenca del río Cachi.

## I. CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Antecedentes

##### 1.1.1 Antecedentes internacionales.

Santiago (2016), en su tesis *“Cálculo de sequía asociado al cambio climático en el Estado de Sinaloa, México”*, examinó la sequía histórica en Sinaloa bajo el escenario de cambio climático RCP4.5. El Índice de Severidad de Sequía de Palmer (ISSP) se calculó utilizando el software Palmer 3.0 que identificó patrones de inicio, fin, duración y frecuencia de sequías que coinciden con los registros históricos de 1962, 1974, 1976, 1995 y 1996 del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Al evaluar el ISSP bajo el escenario RCP4.5, se observó un aumento en la frecuencia y duración de las sequías en comparación con los datos históricos, aunque la severidad extrema no mostró un incremento significativo.

Muñoz (2019), en su tesis *“Determinación de índices de sequía en la cuenca Transfronteriza del río Zarumilla”*, se enfocó en cartografiar y comparar distintos índices de sequía en dicha cuenca. Papayal, Matapalo, Arenillas y Rica Playa son las cuatro estaciones meteorológicas que tuvo en cuenta; las dos primeras están dentro de la cuenca, mientras que las otras dos están fuera de ella. En su análisis, aplicó cuatro métodos de evaluación de sequía: el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), el Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizada (SPEI), el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (SPDI) y el Método de Precipitación Normal (PPN). A través de la cartografía de los resultados y su comparación con el régimen pluviométrico de la zona, concluyó que el método PPN reflejó de manera más precisa el comportamiento de la sequía en la cuenca.

Arroyo & Ortiz (2020), en su proyecto de investigación: *“Vulnerabilidad de la cuenca de río Negro frente a la sequía e inundación a partir del índice estandarizado de precipitación en el periodo 1901-2020”*, evaluaron la vulnerabilidad de esta cuenca, ubicada en el departamento

de Cundinamarca, Colombia, frente a eventos extremos de sequía e inundación. Para ello, emplearon datos grillados de la NOAA para completar registros históricos de precipitación y calcularon el SPI en el periodo 1901-2020. Posteriormente, analizaron los valores medios de los periodos normales estandarizados (cada 10 años) mediante un análisis de varianza (ANOVA) y aplicaron la prueba de Tukey para identificar agrupaciones de datos. Finalmente, produjeron mapas de susceptibilidad a la sequía e inundación utilizando la interpolación espacial Kriging, validada con el análisis de dependencia espacial en R mediante el paquete “geoR”.

### **1.1.2 Antecedente nacional**

Un estudio de Carbajal, (2017) titulado “*Estimación del índice de sequía a partir de datos imágenes NDVI y LST del sensor MODIS y TRMM para las regiones de Lambayeque, Piura y Cajamarca – Perú, durante el periodo 2000 – 2013*”, examinó las variables que afectan el comienzo, la duración y la gravedad del fenómeno de la sequía. Su estudio tuvo como objetivo evaluar los índices de sequía producidos a partir de imágenes satelitales con el fin de investigar la evolución temporal y la distribución regional del Índice de Sequía Sintetizado (ISS), que combina tres elementos: el Índice de Condición de la Vegetación (ICV), el Índice de Condición de la Temperatura (ICT) y el Índice de Condición de la Precipitación (ICP). Para la estimación del ISS, se utilizaron datos del sensor MODIS para el NDVI y la temperatura de la superficie terrestre (LST), mientras que la precipitación se obtuvo del sensor TRMM. Los resultados revelaron que el año 2004 y 2005 se caracterizaron por la sequía, con valores de ISS, ICV, ICT e ICP inferiores a 0.4, lo que indica condiciones de sequía extrema, severa y moderada. Además, el ISS demostró una correlación moderada con el ICT en la zona semiárida y con el ICP en la zona subhúmeda seca, destacando así la variabilidad espacial y temporal de la sequía en las regiones de Piura, Lambayeque y Cajamarca desde el mes de marzo de 2000 hasta el mes de diciembre de 2013.

## **1.2 Cuenca hidrográfica**

Según Villón (2002), una cuenca hidrográfica se define como el territorio en donde todas las aguas provenientes de la lluvia se reúnen para conformar un único cauce (p. 21).

Según Vásquez et al. (2016), una cuenca hidrográfica se define como una región geográfica natural limitada por una cresta topográfica (*Divortium Aquarum*), que capta las precipitaciones y dirige el agua de escorrentía hacia un canal principal o río colector (p. 15).

## **1.2.1 Elementos de la cuenca hidrográfica**

### **1.2.1.1 Recursos naturales**

Según Vásquez et al. (2016), los recursos naturales son elementos de la naturaleza que los seres humanos pueden aprovechar para cubrir sus necesidades y que poseen un valor en el mercado, ya sea actual o potencial (p. 16).

### **1.2.1.2 Elementos antropogénicos**

Son aquellos elementos introducidos o creados por el ser humano. Entre ellos se pueden considerar las infraestructuras hidráulicas, la infraestructura vial, los cultivos, las plantaciones forestales y los restos arqueológicos, entre otros (Vásquez et al., 2016, p.16).

### **1.2.1.3 Elementos institucionales**

De acuerdo con Vásquez et al. (2016). Los aspectos antropogénicos como la estructura institucional, la coordinación entre diferentes entidades y el marco legal para la gestión o el manejo de las cuencas hidrográficas, son elementos destacados que deben considerarse en dicho contexto (p. 16).

### **1.2.1.4 Aspectos gubernamentales**

Se puede implementar una decisión política y gobernanza eficaz, que permita el desarrollo, la aplicación y el seguimiento del marco legal normativo indispensable para la gestión de una cuenca hidrográfica. Este aspecto frecuentemente subestimado, resulta fundamental debido a la considerable influencia en la administración y el uso del espacio físico y los recursos naturales que se encuentran en la cuenca (Vásquez et al., 2016).

## **1.3 El agua**

De acuerdo con la Ley de Recursos Hídricos (2009). El agua es un recurso natural que se renueva continuamente, esencial para la vida y fundamental, tanto para el desarrollo sostenible como para mantener los sistemas y ciclos naturales que lo sostienen, además de ser una cuestión de seguridad nacional (art. 1).

El crecimiento de la vida, así como las actividades productivas, económicas y ambientales, son posibles gracias al agua, que además de ser un factor esencial e integrador dentro de la cuenca. El agua para beber, el riego, la pesca, la generación de energía, las operaciones industriales, la minería, la navegación, el turismo, la biodiversidad y otros servicios ecosistémicos, son solo algunas de las muchas ventajas que los habitantes de la cuenca y las generaciones futuras obtendrán cuidadosamente gracias a la gestión y el uso de este recurso (Vásquez et al., 2016, p.17).

## **1.4 Manejo de cuenca**

Según Vásquez et al. (2016), el manejo de una cuenca hidrográfica requiere una administración integral basada en la implementación de políticas claras y normas adecuadas. Esto implica llevar a cabo acciones técnicas planificadas que promuevan la conservación y el uso racional del territorio y sus recursos naturales, la protección ambiental, el mejoramiento de la calidad de vida de la población y la participación activa de la comunidad local y la sociedad en general. Un aspecto fundamental para alcanzar estos objetivos, es la voluntad política y el compromiso de las autoridades y actores políticos a nivel local, regional y nacional, ya que sin ello no se podrá lograr un desarrollo sostenible (p. 109).

## **1.5 Ciclo hidrológico**

Según Ordoñez (2011). El ciclo hidrológico consiste en un conjunto de etapas mediante las cuales el agua se traslada desde la tierra hacia la atmósfera y posteriormente regresa a la tierra, a ampliaciones como la evaporación desde superficies como el suelo, el mar o masas de agua continentales, la condensación que forma las nubes, la precipitación, la acumulación en el suelo o en cuerpos de agua, y finalmente la reevaporación (p. 10).

### **1.5.1 Precipitación**

Según Ordoñez (2011). La precipitación se define como toda el agua meteórica que llega a la superficie terrestre ya sea en forma líquida, sólida o como precipitaciones ocultas, las cuales se producen por variaciones en la temperatura o la presión (p. 11).

Según Villón (2002). La precipitación es la fuente principal de agua que alimenta la superficie terrestre. La medición y el análisis de la contaminación son fundamentales ya que constituyen el punto de partida para los estudios enfocados en el uso y el control del recurso hídrico (p. 69).

### **1.5.2 Escurrimiento**

De acuerdo con Villón (2002). El escurrimiento es el agua resultante de la precipitación que se mueve tanto por la superficie como por debajo de ella hasta alcanzar una corriente, para luego ser conducida hacia el punto de salida de la cuenca (p. 135).

Según Aparicio (1989), el agua de la precipitación que alcanza la superficie terrestre, tras ser interceptada y evaporada en una porción, sigue diversas trayectorias hasta alcanzar la salida de la cuenca hidrográfica. Es posible categorizar estas rutas en tres categorías distintas: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo (p. 27).

### **1.5.2.1 Esgurrimiento superficial**

Según Villón (2002). El escurrimiento superficial es aquel que proviene de la precipitación que no se infiltra en el suelo y ocurre sobre la superficie, influyendo de manera inmediata en el escurrimiento total y presentándose durante la tormenta y justo después de que esta finalice (p. 136).

### **1.5.2.2 Esgurrimiento subsuperficial**

Según Villón (2002). El escurrimiento subsuperficial corresponde al agua que proviene de una parte de la precipitación que se ha infiltrado en el terreno. Su impacto en el escurrimiento total puede ser inmediato o retardado; si es inmediato, se trata como escurrimiento superficial, mientras que si su efecto es retardado se considera escurrimiento subterráneo (p. 136).

### **1.5.2.3 Esgurrimiento subterráneo**

Según Villón (2002). El escurrimiento subterráneo corresponde al agua proveniente de la capa freática, que se recarga con la porción de precipitación infiltrada una vez que el suelo ha alcanzado su saturación (p. 136).

## **1.5.3 Infiltración**

Según Aparicio (1989). La infiltración es el proceso mediante el cual el agua se desplaza desde la superficie del suelo hacia su interior, impulsada por las fuerzas gravitacionales y capilares (p. 177).

## **1.5.4 Evaporación**

Según Ordoñez (2011), la evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se transforma en gas. Este proceso solo puede ocurrir cuando hay agua disponible y se requiere también la presencia de humedad en la atmósfera (p. 12).

Por su parte, Villón (2002). Menciona que la evaporación es “la etapa permanente del ciclo hidrológico. Hay evaporación en todo momento y en toda superficie húmeda. Considerada un fenómeno puramente físico” (p.305).

## **1.6 La sequía**

La sequía se define como un fenómeno climático en el cual existe una falta prolongada de precipitación, lo que puede generar impactos negativos en los ecosistemas y las actividades humanas. No obstante, su definición varía considerablemente según el contexto geográfico y temporal en el que se analice.

Según Marcos (2001). Las definiciones enciclopédicas suelen describir la sequía como una disminución de las precipitaciones por un periodo relativamente largo, sin establecer umbrales

específicos ni considerar la realidad climática de la región afectada. Estas definiciones son denominadas conceptuales, ya que no incluyen criterios cuantificables para su delimitación.

Este fenómeno puede ocurrir en cualquier época del año y en una amplia gama de zonas climáticas, desde las más secas hasta las más lluviosas. Debido a que su gravedad y duración dependen de variables contextuales, no se ha llegado a un consenso sobre una única definición. La sequía consiste en un lapso extendido durante el cual los niveles de precipitación son considerablemente inferiores al promedio habitual para una región específica. Esto puede durar desde una temporada hasta muchos años. Resulta difícil detectar la aparición de sequías y evaluar su gravedad e impactos globales y locales debido a la falta de consenso sobre una definición específica (White & Walcott, 2009).

### **1.6.1 Clasificación de la sequía**

Las sequías representan fenómenos naturales complejos que impactan la disponibilidad de agua a lo largo del ciclo hidrológico como resultado de la escasez de precipitaciones durante períodos prolongados. La luz solar, la temperatura del aire, la presión del vapor de agua y la velocidad del viento, son las variables que determinan la tasa de evaporación, que a su vez afecta la duración y el tamaño del fenómeno (Kundzewicz et al., 1993).

De acuerdo con Wilhite & Glantz (1985). La sequía se clasifica en cuatro formas principales:

#### **1.6.1.1 Sequía meteorológica.**

Es una desviación negativa en los niveles de precipitación respecto a los valores climatológicos normales durante un período determinado. Dado que las características climáticas varían entre regiones, la duración e intensidad del déficit pluviométrico no pueden definirse de manera uniforme en todas las zonas geográficas.

Durante una sequía meteorológica, según Palmer (1965). La humedad disponible en una zona determinada cae por debajo de los niveles previstos climatológicamente durante un período prolongado de tiempo, a veces meses o incluso años.

Por su parte, Wilhite & Glantz (1985) consideran que esta sequía se define como el grado de desviación de la precipitación en comparación con la media de una serie temporal previamente establecida.

#### **1.6.1.2 Sequía agrícola.**

La sequía agrícola se define como la insuficiencia de humedad en el suelo para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, lo que afecta su crecimiento y rendimiento. Sin embargo, la cantidad de agua requerida varía según el tipo de cultivo y su etapa fenológica, lo que dificulta la definición de umbrales específicos para una región determinada.

A pesar de esta variabilidad, Kulik (1962). Propuso un criterio cuantitativo para definir la sequía agrícola, señalando que esta ocurre cuando la disponibilidad de agua en los primeros 20 cm del suelo es inferior a 19 mm.

Por su parte, Palmer (1965). Considera que la sequía agrícola se presenta cuando se produce una disminución de la humedad en la zona radicular de los cultivos, afectando su desarrollo y productividad.

#### **1.6.1.3 Sequía hidrológica.**

Marcos (2001). Indica que la sequía hidrológica se manifiesta con un desfase temporal respecto a la sequía meteorológica, ya que la reducción de los caudales hídricos no es inmediata tras un período de precipitaciones deficitarias. Contrariamente a la sequía agrícola, cuyos efectos pueden observarse poco después de la disminución de las precipitaciones, la sequía hidrológica puede tardar meses en manifestarse. En algunos casos, si las lluvias se restablecen rápidamente, la reducción en los niveles de agua puede no llegar a producirse de manera significativa. En este sentido, la secuencia temporal de las sequías es la siguiente: en primer lugar, ocurre la sequía meteorológica, seguida de la sequía agrícola y, finalmente, la sequía hidrológica.

#### **1.6.1.4 Sequía socioeconómica.**

La sequía socioeconómica no solo está determinada por la duración e intensidad del evento seco, sino también por la vulnerabilidad de la sociedad y la economía frente a la escasez de agua.

El *National Drought Mitigation Center*, señala que la magnitud de los efectos de la sequía depende de la forma en que las actividades económicas y sociales se desarrollan en un contexto de disponibilidad limitada de agua (NDMC, 1999).

### **1.6.2 Caracterización de sequías**

Yevjevich (1969). Propuso la idea de rachas o secuencias como una forma de describir las sequías y llamar la atención sobre sus características únicas. Los mecanismos espacio-temporales que afectan en la disponibilidad y demanda de agua en una región constituyen la base del análisis de las sequías en esta teoría. La disponibilidad de recursos hídricos se muestra mediante una diferencia en la serie temporal, mientras que las sequías se identifican por la necesidad de consumir este recurso. Determinar la duración de la sequía, el valor medio del déficit hídrico y su gravedad en relación con la escasez total son componentes esenciales para caracterizarla. Estos parámetros facilitan la difícil tarea de catalogación de estos eventos extremos.

Para determinar si un lugar está experimentando sequía, los meteorólogos analizan la distribución y la temporalidad de las precipitaciones, que pueden adoptar diversas formas. La intensidad de las sequías varía según su ubicación; algunas abarcan vastas extensiones de tierra, mientras que otras se prolongan durante meses o incluso años, causando estragos en poblaciones desprevenidas (CENAPRED, 2002).

#### **1.6.2.1 Duración (L).**

La duración de una sequía se caracteriza como el intervalo temporal (en días, meses o años) durante el cual la precipitación real es inferior a la media para un determinado periodo. La ecuación  $MAGNITUD = SEVERIDAD/DURACIÓN$ , puede ser utilizada para calcular cualquiera de los tres parámetros: duración, severidad y magnitud (Dracup et al., 1980).

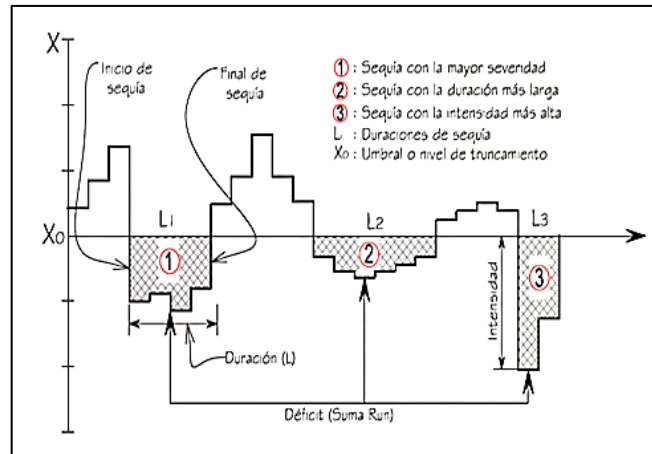
#### **1.6.2.2 Severidad (D).**

Dracup et al., (1980). Indican que, además de la magnitud, es posible delimitar la severidad de una sequía, la cual se caracteriza como el déficit acumulativo de caudal o precipitación a lo largo de un periodo seco.

Este término describe la acumulación de déficits hídricos hasta cierto punto. Resumir la deficiencia de precipitaciones durante el período del evento representa una secuencia negativa acumulativa, que a su vez cuantifica la gravedad.

#### **1.6.2.3 Intensidad (I).**

La intensidad de la sequía, una medida de la gravedad del fenómeno, es un criterio frecuentemente utilizado para describir las sequías. Para obtener la intensidad promedio, algunos autores dividen la magnitud entre la duración de la sequía. En otros contextos, se caracteriza como la mayor cantidad de déficit posible que se produjo durante la sequía. Algunas publicaciones utilizan la palabra "severidad" para describir los efectos de la sequía en un sentido más general, mientras que otras la utilizan para describir tanto la escala como la intensidad de la sequía.



**Figura 1.** Características de la sequía para un nivel de truncamiento  $x_0$ .

Fuente: Adaptado desde Mishra & Singh (2010, p. 209)

### 1.6.3 Modelos de predicción de sequía

#### 1.6.3.1 Modelos estocásticos

Estos modelos utilizan datos climáticos e hidrológicos históricos para estimar la probabilidad de futuras condiciones de sequía. Entre los modelos estocásticos lineales más utilizados para el pronóstico de sequías se encuentran el modelo Autorregresivo Integrado de Media Móvil (ARIMA) y el modelo Autorregresivo Integrado de Media Móvil Estacional (SARIMA) (Mishra & Desai, 2005).

#### 1.6.3.2 Modelos físicos

Mediante el uso de ecuaciones matemáticas o físicas, los modelos físicos representan la intrincada interacción de las numerosas partes del ciclo hidrológico. Estos modelos permiten replicar el comportamiento de la sequía a partir de procesos físicos fundamentales. Ejemplos de estos modelos incluyen la Herramienta de Evaluación de Suelos y Aguas (SWAT), el Sistema de Pronóstico y Monitoreo de Sequías (DMFS) y el Modelo de Capacidad de Infiltración Variable (VIC). (Liang et al., 1994).

#### 1.6.3.3 Modelos estadísticos

Los modelos estadísticos son representaciones matemáticas simplificadas que describen la relación entre variables observadas y permiten hacer predicciones sobre valores futuros o desconocidos. En el contexto de la predicción de sequías, estos modelos se basan en datos climáticos históricos y otros factores relevantes para estimar la ocurrencia e intensidad de la sequía.

Los métodos estadísticos tradicionales ofrecen buenos resultados al considerar los índices de sequía antecedentes y/o las precipitaciones subyacentes a la elaboración de dichos índices. Además, estos métodos pueden incorporar predicciones climáticas para mejorar su precisión.

En la actualidad, se están empleando cada vez más redes neuronales artificiales en diversas aproximaciones para la predicción de sequías y otras variables hidrológicas. (Mishra & Desai, 2005).

#### 1.6.4 Índices de sequía

Es posible comparar las numerosas sequías que experimenta una zona utilizando diversos índices. Para caracterizar el clima de una región, se utilizan la mayoría de estos índices. Entre ellos se encuentran Lang, Thornthwaite, Prescott, Capot-Rey, Bailley, Moral y Palmer. El uso de estos indicadores permite la compara el efecto y la severidad de las sequías en distintas regiones y épocas, aunque presentan ciertas limitaciones (CENAPRED, 2002).

##### 1.6.4.1 Índice de Precipitación Estandarizado (SPI).

Con base teórica sólida y utilizando únicamente registros mensuales de precipitación, idealmente con más de 30 años de datos, el SPI (*Standardized Precipitation Index*) ha ganado popularidad desde su propuesta por Mckee et al., (1993). Inicialmente, se altera el modelo probabilístico Gamma con dos parámetros para ajustarlo a una distribución normal; el índice SPI constituye su variable dependiente; durante los años de precipitaciones, adquiere un valor positivo, mientras que en los años de sequía o secos, adquiere un valor negativo.

Para calcular este índice, se toma la precipitación total correspondiente a un período específico, se divide entre la desviación estándar y posteriormente se elimina la media aritmética de la suma. Para valores que se aproximan a la media, el resultado se aproximará a cero; para valores que se aproximan a la desviación estándar, será uno. Por consiguiente, si la precipitación documentada es inferior a la media del período, el resultado será uno. En regiones donde la precipitación es extremadamente fluctuante, la estandarización de los datos obstaculiza la comparación entre distintos climas. En dichas zonas, el cálculo de este índice se basa en el promedio mensual de precipitación (Campos, 2012).

Obtener los valores potenciales para cada una de las siete duraciones mensuales: 1, 3, 6, 9, 12, 24 y 48, es el primer paso para estimar el índice SPI. La cantidad total de puntos de datos en el registro mensual, con  $nd=12.NA$ , en el que  $NA$  es el número de años de registro accesibles, se utiliza para ajustar el modelo Gamma para un mes. Los períodos durante los cuales se calculan las sumas móviles son los siguientes: Al registrar información durante un período de tres meses, por ejemplo, el primer dato representará el total de los tres primeros meses, el segundo dato representará el total del segundo al cuarto mes, y así sucesivamente. En consecuencia, el valor actualizado de  $nd$  será:

$$nd = 12.NA - dm + 1 \quad (1)$$

Donde  $dm$  representa la duración de la nueva secuencia de datos, calculada en términos de sumas móviles. Se ajusta mediante el uso de la distribución Gamma mixta, dado que permite la obtención de sumas móviles iguales a cero en intervalos de tiempo reducidos. La siguiente ecuación representa la función de densidad de probabilidad de la distribución Gamma de dos parámetros:

La distribución probabilística Gamma correspondiente a dos parámetros de ajuste se expresa en función de la densidad de probabilidad de la siguiente manera:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/\beta} \quad \text{para } x > 0 \quad (2)$$

Aquí,  $\alpha > 0$  denota el parámetro de forma,  $\beta > 0$  representa el parámetro de escala,  $x > 0$  indica la precipitación durante un periodo de tiempo especificado y  $\Gamma(\alpha)$  se refiere a la función Gamma o factorial extendida, originalmente denominada Pearson tipo III. Se han sugerido diversos enfoques para la estimación de los parámetros de ajuste, entre las que destaca el método de máxima verosimilitud por su alta precisión, y sus formulaciones son (Campos, 2012):

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (4)$$

A se define como una variable auxiliar:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^{n^l} \ln(x_i)}{n^l} \quad (5)$$

Donde  $n^l$  representa la cantidad de puntos de datos no nulos ( $x_i$ ), con una media aritmética denotada como  $\bar{x}$ . Se requiere una corrección derivada de la técnica de máxima verosimilitud, específicamente la sustracción del término  $\Delta_\alpha$  cuando este es inferior a 5.60. Esto es:

$$\Delta_\alpha = a_0 + a_1 \cdot \alpha + a_2 \cdot \alpha^2 + a_3 \cdot \alpha^3 + a_4 \cdot \alpha^4 + a_5 \cdot \alpha^5 \quad (6)$$

$$a_0 = 0.04701236$$

$$a_2 = 0.05139812$$

$$a_4 = 0.002974521$$

$$a_1 = -0.0742802$$

$$a_3 = -0.0177746$$

$$a_5 = -0.0001899932$$

La distribución Gamma mixta considera la probabilidad de valores cero, denotada como  $q$ , y la probabilidad de valores distinto de cero, representada como  $p = 1 - q$ . La ecuación para calcular la probabilidad de no superación de un valor  $x$  es la siguiente:

$$H(x) = q + p \cdot G(x) \quad (7)$$

Posteriormente, cuando  $x = 0$ ,  $H(0) = q$ . En el caso de que  $m$  represente el número de ceros presentes en la serie en procesamiento, el valor de  $q$  será estimado por  $m/n_d$ , lo que implica que  $n' = n_d - m$ . En el caso de que la serie no posea valores nulos,  $q$  será cero y  $H(x) = G(x)$ .

La probabilidad relativa de no superar  $G(x)$  un valor  $x$ , se calcula mediante la transformación del modelo Pearson tipo III a una distribución  $ji$  cuadrada  $X^2$  con  $\nu$  grados de libertad, transformando la variable original en otra que sigue esta distribución, lo que permite obtener dicha probabilidad usando tablas o funciones conocidas (Haan, 1977):

$$X^2 = 2 \cdot x/\beta \quad (8)$$

$$\nu = 2 \cdot \alpha \quad (9)$$

Esta aproximación consiste en usar una expansión en serie matemática para calcular la probabilidad acumulada de no exceder un valor específico en una distribución  $X^2$  para un valor de  $\nu$ . (Abramowitz & Stegun, 1965).

$$\begin{aligned} G(x) &= P(X^2/\nu) \\ &= \left(\frac{X^2}{2}\right)^{\nu/2} \frac{e^{-X^2/2}}{\Gamma(\frac{\nu+2}{2})} \left[1 + \sum_{r=1}^{\infty} \frac{X^{2r}}{(\nu+2) \cdot (\nu+4) \cdots (\nu+2r)}\right] \end{aligned} \quad (10)$$

Según Abramowitz & Stegun (1965). La estimación de la función factorial Gamma se realizó a través de la fórmula de Stirling, que para valores elevados del argumento  $\varepsilon$  proporciona una aproximación altamente precisa con un error aproximado a cero. La fórmula es:

$$\Gamma(\varepsilon) \cong e^{-\varepsilon} \cdot \varepsilon^{\varepsilon-1/2} \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \left(1 + \frac{1}{12 \cdot \varepsilon} + \frac{1}{288 \cdot \varepsilon^2} - \frac{139}{51840 \cdot \varepsilon^3} - \frac{571}{2788320 \cdot \varepsilon^4} \dots\right) \quad (11)$$

Finalmente, según Edwards & Mckee (1997). Se utiliza una aproximación numérica racional, tal como se expone en Abramowitz & Stegun (1965). Para transformar la probabilidad acumulada  $H(x)$  en la variable normal estandarizada  $Z$ , con media cero y varianza unitaria, que establece el índice SPI. Las ecuaciones correspondientes son:

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}{1 + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2 + c_3 \cdot t^3}\right) \quad \text{para } 0 < H(x) < 0.50 \quad (12)$$

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}{1 + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2 + c_3 \cdot t^3}\right) \quad \text{para } 0 < H(x) < 0.50 \quad (13)$$

Dónde:

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0 < H(x) < 0.5 \quad (14)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0.50 < H(x) < 1 \quad (15)$$

$$b_0 = 2.515517$$

$$b_1 = 0.802853$$

$$b_2 = 0.010328$$

$$c_1 = 1.432788$$

$$c_2 = 0.189269$$

$$c_2 = 0.001308$$

La Tabla 1 establece los niveles de humedad o sequía, acompañados con sus correspondientes probabilidades de ocurrencia. Por ejemplo, las condiciones de sequía moderada ( $SPI \leq -1$ ) presentan una probabilidad de ocurrencia del 15.9 %, mientras que las sequías extremas presentan una probabilidad de ocurrencia del 25%.

**Tabla 1.** Clasificación de los intervalos húmedos y secos en función al valor del índice SPI

Valor de SPI	Designación
> 2,00	Extremadamente húmedo
1.50 a 1.99	Muy húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
0.99 a -0.99	Cercano a normal
-1.00 a -1.49	Sequía Moderada (SL)
-1.50 a -1.99	Sequía Severa (SS)
< -2.00	Sequía Extrema (SE)

Fuente: Adaptado por Mckee et al., (1993, p.179)

#### 1.6.4.2 Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI).

La principal restricción del SPI radica en su dependencia exclusiva de la precipitación, desatendiendo otras variables que influyen en la demanda de agua atmosférica, tales como la temperatura, la velocidad del viento, la radiación solar y la deficiencia de presión de vapor.

Con el objetivo de superar dicha restricción, Vicente-Serrano et al., (2010) desarrollaron el SPEI, un sistema que combina la sensibilidad del PDSI con las variaciones y tendencias térmicas, con una facilidad de cálculo y la naturaleza multiescalar del SPI.

El SPEI se fundamenta en un balance mensual de agua climática (precipitación menos evapotranspiración potencial), denominado serie D, calculada en diversas escalas temporales y que, aunque matemáticamente se asemeja al SPI, incorpora la función de la evapotranspiración potencial. La metodología empleada para su cálculo se asemeja a la utilizada para el cálculo del SPI, no obstante, utiliza una distribución de probabilidad Log-logística de tres parámetros en lugar de la distribución Gamma de dos parámetros. La clasificación de sequía del SPI puede ser igualmente utilizada en la evaluación del Sistema de Protección Individual (SPEI) (Tabla 1).

El cálculo del SPEI se realiza inicialmente mediante el cálculo de la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial correspondiente al mes  $j$  del año  $i$  (serie  $D^{ij}$ ), expresada en milímetros. Posteriormente, se integra la serie  $D^{ij}$  en la escala de tiempo  $k$  de interés para obtener las series  $D_k^{ij}$ .

$$D^{ij} = P_{ij} - ETP_{ij} - ETP_{ji} \quad (16)$$

donde  $P_{ij}$  y  $ETP_{ij}$  representan la precipitación y la evapotranspiración potencial correspondientes al mes  $j$  del año  $i$ , respectivamente, se expresan en milímetros.

La determinación del SPEI exige la implementación de una distribución probabilística compuesta por tres parámetros. En una función de distribución de dos parámetros, la variable  $x$  se encuentra en un límite inferior de cero ( $0 < x < \infty$ ), mientras que, en una función de distribución de tres parámetros,  $x$  puede adquirir valores en el intervalo ( $\gamma < x < \infty$ ), donde  $\gamma$  es el parámetro inicial de la distribución). En consecuencia, Vicente-Serrano et al. (2010), propugnaron la implementación de una distribución Log-logística de tres parámetros, considerando que la serie  $Dk$  puede exhibir valores negativos y cuya función de densidad de probabilidad se presenta de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \quad (17)$$

En el rango de ( $\gamma > Dk > \infty$ ),  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  representan los parámetros de escala, forma y origen correspondientes a los valores  $Dk$ .

Los parámetros de la distribución log-logística pueden ser adquiridos mediante diversos métodos, siendo el método de momentos L es el más robusto y aplicación más sencilla:

$$\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2} \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})\Gamma(1 - \frac{1}{\beta})} \quad (19)$$

$$\gamma = w_0 - \alpha \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})\Gamma(1 - \frac{1}{\beta}) \quad (20)$$

donde  $\Gamma(1+1/\beta)$  representa la función gamma correspondiente a  $(1+1/\beta)$ , y  $w_s$  representa el momento de probabilidad pesada de orden  $s$  ( $s=0,1,2$ ):

$$w_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \left(1 - \frac{i-0.35}{n}\right)^s \quad (21)$$

En este contexto,  $x_i$  representa la muestra ordenada aleatoriamente ( $x_1 < x_2, \dots, < x_n$ ) de los valores de  $Dk$  y  $n$  representa el tamaño de la muestra.

La distribución de probabilidad correspondientes a las series  $Dk$ , según la distribución Log-logística, se proporciona a través de (Vicente-Serrano et al., 2010).

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^{\beta}\right]^{-1} \quad (22)$$

Para determinar los valores correspondientes al SPEI, se transforman los valores de  $F(x)$  en la variable normal estándar  $Z$ , sustituyendo  $(x)$  por  $(x)$  en las ecuaciones 12 y 13. La evaluación se basa en la simulación del índice SPI.

El índice SPEI manifiesta beneficios en comparación con otros índices, dado que es multiescalar e incorpora la variable temperatura. Su implementación resulta idónea para el seguimiento de la sequía asociada al cambio climático (Abramowitz & Stegun, 1965).

#### 1.6.4.3 Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP).

La estimación de la evapotranspiración potencial se realizó utilizando el método de Thornthwaite, tal como lo sugieren Vicente-Serrano et al. (2010). Este enfoque representa uno de los métodos más simplificados (ecuación 23), dado que únicamente exige datos de la temperatura media mensual y la latitud del lugar en el que se pretende calcular la ETP.

$$ETP = 16K \left( \frac{10T}{I} \right)^m \quad (23)$$

En este esquema,  $ETP$  representa la evapotranspiración potencial mensual (mm/mes);  $T$  representa la temperatura media mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ), e  $I$  representa el índice de calor calculado mediante la suma de 12 valores de índices mensuales:

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left( \frac{T_j}{5} \right)^{1.5414} \quad (24)$$

$m$  se trata de un coeficiente que está condicionado por el índice de calor  $I$ .

$$m = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.492 \quad (25)$$

$k$  se calcula como una función de la latitud y el mes:

$$K = \left( \frac{N}{12} \right) \left( \frac{NDM}{30} \right) \quad (26)$$

En la ecuación 27,  $NDM$  representa el número de días del mes y  $N$  representa el número máximo de horas de sol.

$$N = \left( \frac{24}{\pi} \right) w_s \quad (27)$$

Y  $w_s$  representa el ángulo horario correspondiente a la salida del sol, según:

$$w_s = \arccos(-\tan\varphi \tan\delta) \quad (28)$$

En este contexto,  $\varphi$  se define como la latitud (radianes) de la estación climatológica, mientras que  $\delta$  se calcula como la declinación solar (radianes).

$$\delta = 0.4093 \operatorname{sen} \left( \frac{2\pi J}{368} - 1.405 \right) \quad (29)$$

donde  $J$  representa el día promedio Juliano correspondiente al mes.

#### 1.6.5 Escalas de tiempo

Las escalas temporales en el cálculo de los índices de sequía, como el SPI y el SPEI, son fundamentales para diferenciar distintos tipos de sequías. Estos índices suelen calcularse en períodos de 1, 3, 6, 9 y 12 meses.

#### **1.6.5.1 SPI-1 y SPEI-1**

El SPI-1 y el SPEI-1 corresponden a índices calculados con datos acumulados a escala de un mes, lo que permite evaluar las condiciones de sequía a corto plazo. Por ejemplo, el SPI-1 para un mes determinado, como enero, compara la precipitación de ese mes con los registros históricos del mismo mes en años anteriores, situando la precipitación observada en el contexto climatológico histórico para detectar anomalías. El uso de estos índices es especialmente útil para identificar sequías meteorológicas y sus efectos inmediatos sobre la humedad del suelo y el estrés en los cultivos durante la temporada de crecimiento (Rivera, 2014).

#### **1.6.5.2 SPI-3 y SPEI-3**

El SPI-3 y SPEI-3 reflejan condiciones de humedad a corto y mediano plazo, ofreciendo una estimación estacional de la precipitación. Esta escala resulta útil en regiones agrícolas, ya que permite evaluar la disponibilidad de humedad con mayor precisión que otros índices (OMM, 2012).

Sin embargo, un lapso de tres meses con condiciones normales o húmedas puede manifestarse dentro de un periodo prolongado de sequía, lo que requiere cotejar con escalas temporales de mayor envergadura para prevenir interpretaciones incorrectas (Rivera, 2014).

#### **1.6.5.3 SPI-6 y SPEI-6**

El SPI-6 y SPEI-6 permiten analizar tendencias estacionales y de mediano plazo, comparando la precipitación de un período de seis meses con registros históricos. Esta escala es efectiva para evaluar anomalías en escorrentías y niveles de reservorios, suministrando datos fundamentales para la administración de los recursos hídricos (Rivera, 2014).

#### **1.6.5.4 SPI-9 y SPEI-9**

El SPI-9 y SPEI-9 proporcionan información sobre patrones de precipitación inter-estacionales, siendo para la supervisión de sequías con repercusiones significativas en la agricultura y otros sectores. Valores inferiores a -1.5 indican condiciones secas prolongadas que pueden evolucionar en sequías hidrológicas o multianuales (Rivera, 2014).

#### **1.6.5.5 SPI-12 e SPEI-12**

El SPI-12 y SPEI-12 evalúan la variabilidad climática a largo plazo al comparar la precipitación acumulada en un período de 12 meses con los registros históricos. Esta escala se relaciona con variaciones en caudales, niveles de reservorios y aguas subterráneas, siendo crucial para la gestión hídrica de largo plazo (Vicente et al., 2010).

En cualquier intervalo temporal, el valor del SPI se asigna al mes final del período analizado, lo que debe considerarse en su interpretación (Rivera, 2014).

### 1.6.6 La sequía y sus efectos

A diferencia de otros desastres naturales de rápida manifestación, la sequía se desarrolla de manera progresiva, pero sus impactos pueden ser más extensos y devastadores. Sus efectos afectan la producción de alimentos, la disponibilidad de agua en el suelo, la ganadería, la vida silvestre y, en general, la sostenibilidad de los ecosistemas.

Según el *National Drought Mitigation Center* (NDMC). Los efectos de la sequía pueden analizarse en tres dimensiones principales. En el ámbito económico, genera pérdidas en la producción agrícola y ganadera, afecta la industria maderera, incrementa los costos de abastecimiento de agua y provoca alzas en los precios de los alimentos. En el aspecto ambiental, puede causar daños irreversibles en la biodiversidad, aumentar la erosión hídrica y eólica, reducir la calidad del agua, intensificar la contaminación del aire y alterar el ciclo hidrológico. A nivel social, la sequía conlleva escasez de alimentos, malnutrición, conflictos por recursos hídricos, incremento de la pobreza, migración forzada y abandono de tierras agrícolas.

### 1.7 Sistema de teledetección

Un sistema de teledetección principalmente tiene dos componentes: la plataforma (satélite) y el sensor (sensor a distancia), sin obviar la relevancia de otros componentes tales como el objeto, la fuente de energía, el sistema de transmisión y la función del usuario (Caicedo, 2008).

#### 1.7.1 Producto PISCO

PISCO (*Peruvian Interpolation of the SENAMHIs Climatological and Hydrological Stations*). Es una base de datos espaciales desarrollada por la Dirección General de Hidrología del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Este producto ofrece información mensual con una resolución de grilla de 0.05° y cubre el período desde el 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre de 2016 (Aybar et al., 2017).

De acuerdo con Lavado (2015) y Ayala (2016). La corrección de las precipitaciones mensuales (PC) se determina a través de la ecuación 30, que implica la sustracción de la precipitación CHIRPS (PCHIRPS) y los valores de interpolación (IP) de la discrepancia entre PCHIRPS y las precipitaciones registradas en las estaciones del SENAMHI (PSENAMHI).

$$PC = PCHIRPS - IP (PCHIRPS - PSENAMHI) \quad (30)$$

Los datos climáticos generados por PISCO incluyen variables como precipitación diaria y mensual, temperatura mínima y temperatura máxima. Estos datos están disponibles en

formatos raster y abarcan el período comprendido entre el 1 de enero de 1981 y el 31 de diciembre de 2016. PISCO se encuentra calibrado y validado dentro del territorio peruano a través de los procedimientos descritos anteriormente.

Según Aybar et al., (2017), este producto marcó un hito en 2014 al consolidarse como la primera base de datos espacial de precipitación con resolución de 0.05° en Perú, permitiendo un monitoreo más preciso del clima y la hidrología en el país.

### **1.7.2 Producto RAIN4PE**

El producto RAIN4PE constituye un conjunto innovador de datos de precipitación diaria en forma de cuadrícula, obtenidos a través de la combinación de datos de precipitación provenientes de diversas fuentes de precipitación (precipitación infrarroja del Grupo de Riesgos Climáticos por satélite, CHIRP, reanálisis ERA5 y la precipitación en tierra) y la elevación del terreno mediante el método de regresión de bosque aleatoria. Además, la corrección hidrológica de RAIN4PE se realiza mediante el uso de datos de caudales en cuencas con subestimación de la precipitación mediante el uso de hidrología inversa.

En consecuencia, RAIN4PE representa el único producto de precipitación cuadrículada para Perú y Ecuador, el cual se favorece de la observación directa de diversas fuentes de precipitación, datos de elevación, y se complementa con datos de flujo de agua para rectificar la subestimación de la precipitación en páramos y cuencas montañosas. Los datos proporcionados por RAIN4PE se encuentran accesibles para la superficie terrestre en las áreas de 19°S-2°N y 82-67°W, con una resolución temporal diaria y una resolución espacial de 0.1° x 0.1°, con disponibilidad de datos para el periodo 1981-2015. La información relativa a la precipitación se suministra en el formato NetCDF. (Fernandez et al., 2022).

## **1.8 Cambio climático**

De acuerdo con Greenpeace (2019), el cambio climático es considerado uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo debido a sus impactos ambientales, económicos y sociales. Sus consecuencias podrían resultar devastadoras si no se disminuye de manera significativa la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En la actualidad, las repercusiones del cambio climático ya son evidentes y se manifiestan en una variedad de indicadores climáticos:

- La temperatura promedio a nivel mundial ha experimentado un incremento de 1,1°C desde la era preindustrial.
- El período 2015-2019 ha sido probablemente el quinquenio más cálido jamás registrado, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM).
- La tasa de aumento del nivel del mar ascendió a 5 mm por año entre 2014 y 2019.

Además de los cambios ambientales, el cambio climático conlleva impactos económicos y sociales significativos, tales como:

- Reducción en la productividad agrícola y daños en las cosechas.
- Aumento de la frecuencia e intensidad de sequías.
- Riesgos en la salud pública.
- Incremento en la prevalencia de eventos meteorológicos extremos, tales como tormentas y huracanes.
- Incremento en la incidencia de incendios de gran envergadura.

Los escenarios más pesimistas proyectan que, si continúan las emisiones contaminantes sin mitigación, la temperatura global podría aumentar hasta aproximadamente 4.8°C para finales de este siglo, lo que supondría graves consecuencias en múltiples ámbitos. El cambio climático no solo es un problema ambiental, sino que también tiene implicaciones políticas, económicas y sociales. En este contexto, cuanto más se retrase la toma de medidas para mitigar sus efectos, mayores serán los costos asociados a la adaptación al aumento de las temperaturas.

Respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, el 79% de las mismas en la Unión Europea se derivan de la combustión de combustibles utilizados en la generación de energía y el transporte, según datos proporcionados por Eurostat.

### **1.9 Modelos climáticos globales (GCM)**

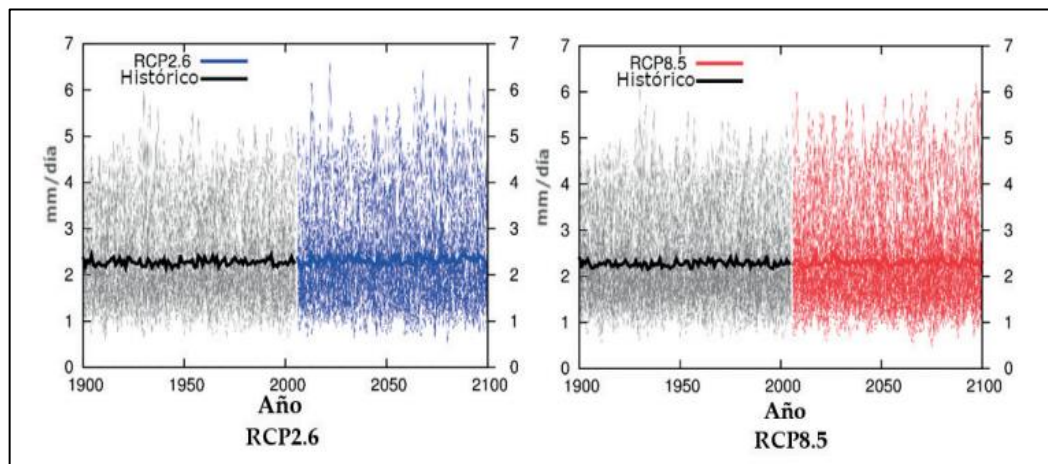
Se utilizan los Modelos Climáticos Globales (GCM, por sus siglas en inglés), en conjunto con los escenarios del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Estos modelos reproducen los procesos físicos esenciales de la atmósfera, el océano, la criósfera y la superficie terrestre, lo cual facilita la evaluación de las repercusiones del cambio climático a nivel global y regional.

En el presente estudio, se emplearán los modelos GCM del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados – Fase 5 (CMIP5), que han sido extensivamente utilizados desde finales de la década de 1980 (Giorgetta et al., 2013). El CMIP5 reúne un conjunto de modelos climáticos globales, los cuales son utilizados en conjunto para realizar predicciones climáticas (Neelin et al., 2013). Estos modelos cuentan con un alcance espacial aproximado de 50 kilómetros (Taylor et al., 2012).

El acceso a los datos de CMIP5 se efectúa mediante la aplicación web KNMI Climate Explorer, desarrollada por el Real Instituto Meteorológico de los Países Bajos (KNMI) (<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>). Esta plataforma ofrece una amplia colección de datos

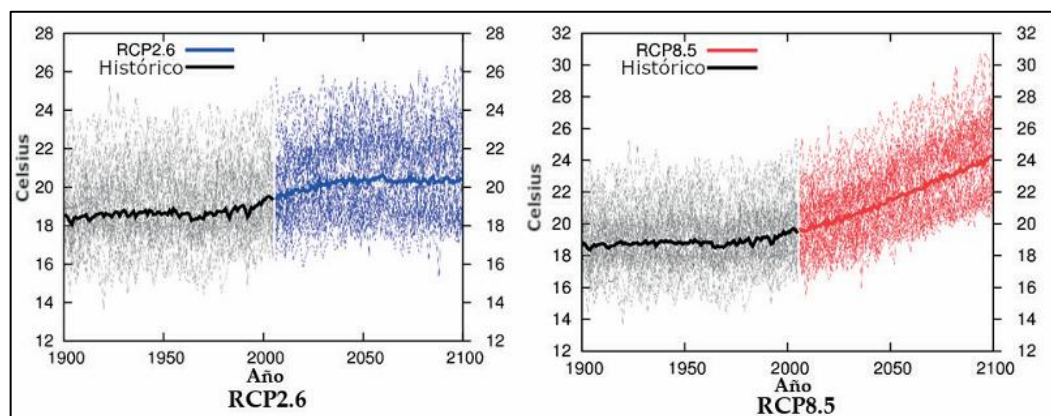
meteorológicos, junto con herramientas de análisis avanzados (Trouet & Van Oldenborgh, 2013).

Con el objetivo de elaborar proyecciones de precipitación y temperatura, se introducen en KNMI Climate Explorer las coordenadas geográficas de la región de estudio, el escenario climático seleccionado, la variable a analizar y el período de proyección correspondiente. Las figuras 1.2 y 1.3 presentan ejemplos de las estimaciones realizadas para un área de estudio mediante el KNMI Climate Explorer, basadas en el comportamiento de las series históricas entre 1990 y 2005 (Orozco et al., 2018).



**Figura 2.** Estimaciones históricas y proyecciones de las precipitaciones para un área de estudio hacia el año 2100 obtenidas con los modelos CMIP5 y escenarios del IPCC.

Fuente: Adaptado desde Orozco et al. (2018, p.7)



**Figura 3.** Estimaciones históricas y proyecciones de las temperaturas para un área de estudio hacia el año 2100 obtenidas con los modelos CMIP5 y escenarios del IPCC.

Fuente: Adaptado desde Orozco et al. (2018, p.7)

### 1.9.1 Escenarios climáticos

Los escenarios de cambio climático empleados en este estudio corresponden a los Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por su acrónimo en inglés)

desarrolladas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Estos escenarios permiten proyectar diferentes trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero y sus impactos en el clima global. Los escenarios considerados son:

- **RCP2.6.** Es el escenario más optimista que supone una reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzando valores netos cercanos a cero antes del 2030.
- **RCP4.5.** Considera la implementación de políticas de mitigación que reduzcan gradualmente las emisiones logrando un equilibrio antes del 2050.
- **RCP6.0.** Representa un escenario intermedio donde las reducciones de emisiones se retrasan hasta el año 2030 cuando las futuras generaciones tomarán medidas más drásticas para mitigar el impacto climático.
- **RCP8.5.** Es el escenario más pesimista que asume la continuidad de las tendencias actuales de emisión sin cambios significativos en las políticas ambientales (Orozco et al., 2018).

Estos escenarios se basan en los modelos del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados – fase 5 (CMIP5) iniciativa del IPCC que proporciona herramientas basadas en diversos Modelos Climáticos Globales (MCG). Los modelos incluidos en el CMIP5 presentan una diversidad en su complejidad, desde aquellos que simulan únicamente la interacción entre la atmósfera y el océano hasta modelos avanzados del sistema climático terrestre que incluyen ciclos biogeoquímicos de la vegetación y capas de hielo.

Los modelos del CMIP5 constituyen la fuente primordial de datos para las proyecciones climáticas a largo plazo y permiten analizar distintos escenarios de cambio climático tanto de origen natural como antrópico. Además, contienen información relevante para la aplicación de modelos hidrológicos esenciales para evaluar los impactos del cambio climático en las cuencas hidrográficas.

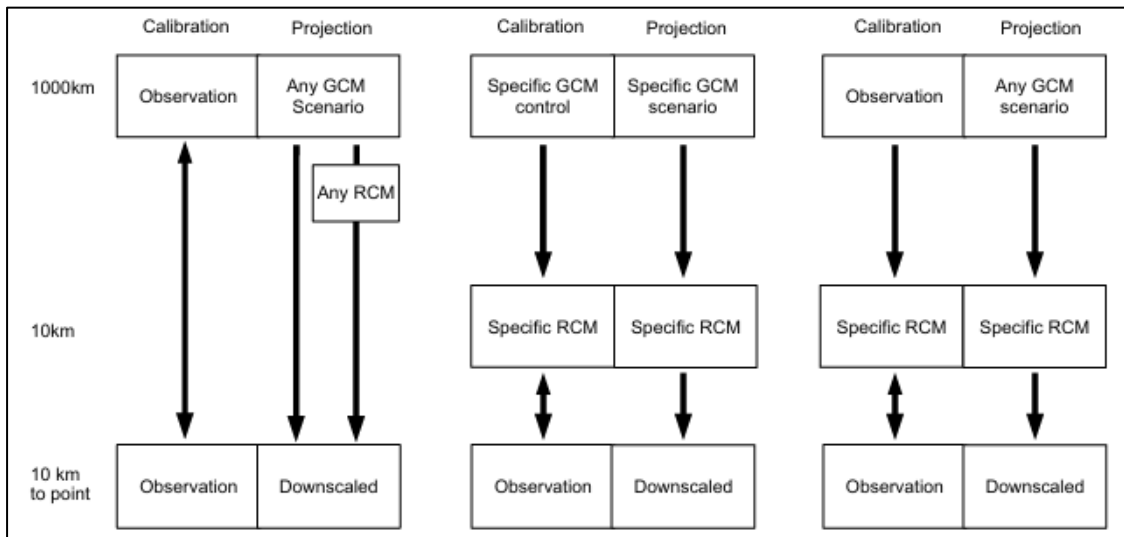
### **1.10 Reducción de escala de los modelos climáticos**

A pesar de su utilidad la aplicación de los resultados del CMIP5 en estudios hidrológicos presenta ciertas limitaciones en la resolución espacial de los modelos globales. Para abordar este problema se emplean diferentes enfoques de reducción de escala (*downscaling*) los cuales permiten mejorar la resolución de las proyecciones climáticas a nivel local.

El procedimiento de reducción de escalada puede ser implementado mediante una variedad de metodologías, desde las más básicas, como los análisis de sensibilidad basados en incrementos constantes ( $\Delta$ -Delta), hasta los enfoques dinámicos. Los métodos estadísticos

se sitúan en una posición intermedia, abarcando tanto métodos paramétricos como no paramétricos.

Estos enfoques permiten mejorar la aplicabilidad de los modelos climáticos en estudios hidrológicos facilitando una evaluación más precisa del impacto del cambio climático en los recursos hídricos.



**Figura 4.** Metodologías para la corrección de datos de los MCG.

Fuente: Adaptado desde Maraun et al. (2010, p.8)

## II. CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1 Ubicación de la zona de estudio

##### 2.1.1 Ubicación política

Desde una perspectiva política, el área de estudio se localiza y comprende:

- Departamento** : Ayacucho con un porcentaje del 91% y Huancavelica con 9%.
- Provincia** : 4 provincias.
- Distrito** : 23 distritos.
- Cuenca** : cuenca hidrográfica del río Cachi.

##### 2.1.2 Ubicación geográfica

La ubicación geográfica del campo de investigación está ubicada en las coordenadas UTM WGS 84, zona 18 S – UTM:

- Este** : 526079.01 – 617004.49m
- Norte** : 8502819.78 – 8582811.14 m
- Cota** : 2200 - 5200 m. s. n. m

##### 2.1.3 Ubicación hidrográfica

Según las unidades hidrográficas del Perú, la región de estudio se ubica en:

**Tabla 2.** Posicionamiento hidrográfico de la zona objeto de estudio

Nivel	Nombre de la unidad hidrográfica	Código	Área (Km <sup>2</sup> )
Nivel 1	Región Hidrográfica Amazonas	4	6007483.30
Nivel 2	Cuenca Alto Amazonas	49	2240156.52

<b>Nivel3</b>	Cuenca Ucayali	499	348423.44
<b>Nivel 4</b>	Cuenca del Río Mantaro	4996	34363.18

Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.4 Ubicación administrativa

De acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2008), el área de estudio se ubica dentro de la Jurisdicción de:

- Autoridad Administrativa del Agua Mantaro.
- Administración Local del Agua Ayacucho.
- Autoridad del Agua de Huanta – Ayacucho.

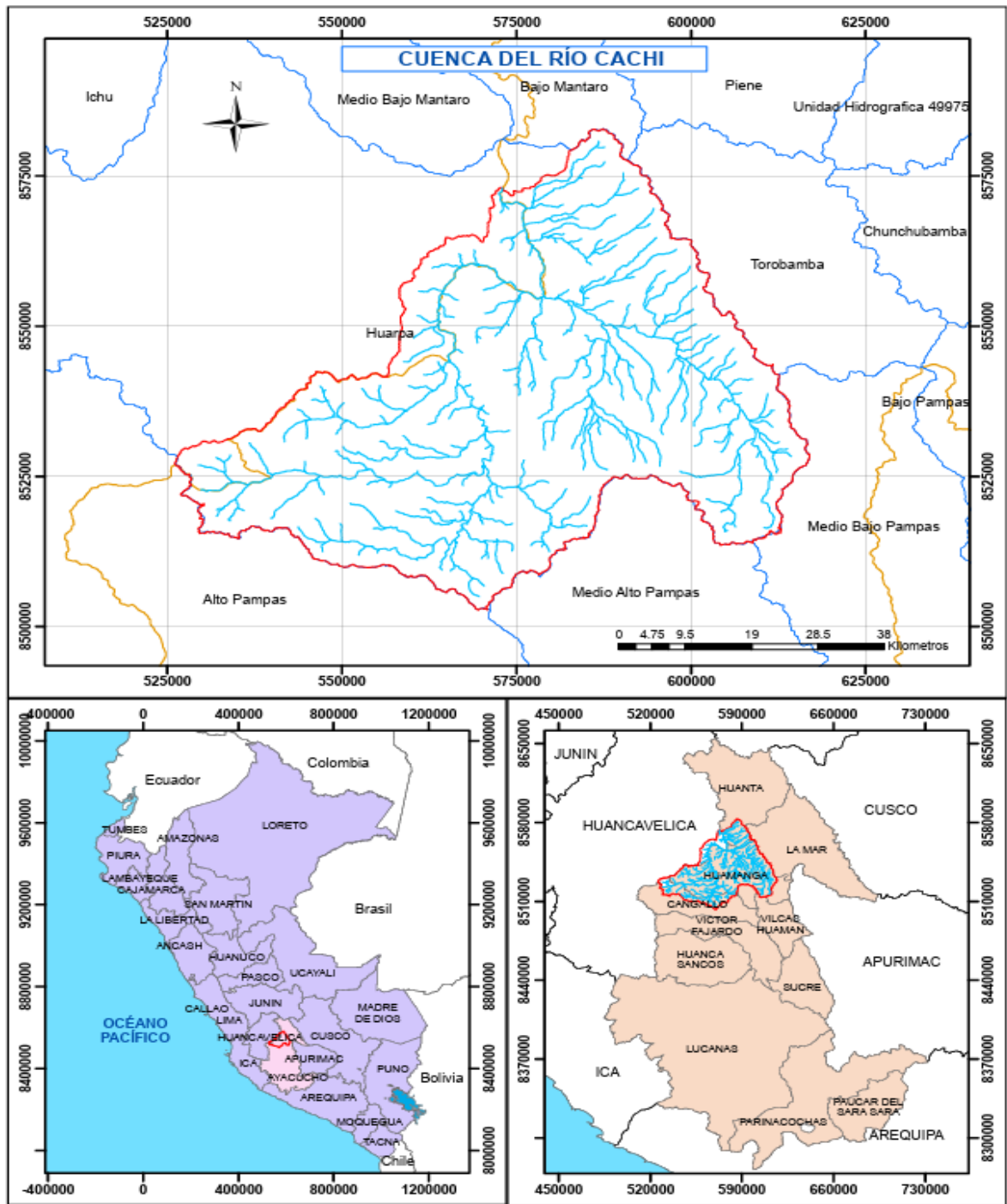
#### 2.1.5 Punto de aforo

El punto de interés para determinar la cuenca del río Cachi se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Ubicación del punto de aforo del ámbito de estudio

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Este	573152.37	m
Norte	8573295.23	m
Altura	2210	m.s.n.m.
Zona	18S	
Datum	WGS_1984_UTM	

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5.** Ubicación geográfica del área de estudio

Fuente: Elaboración propia

## **2.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para el presente estudio, se emplearon diversas técnicas de recolección de datos con el objetivo de garantizar la precisión y validez de la información, utilizada en el análisis de sequías en la cuenca del río Cachi.

### **2.2.1 Observación.**

La observación, permitió registrar eventos y condiciones meteorológicas relevantes durante el período de estudio. Esta técnica incluyó la recopilación mensual de información relativa a la precipitación, las temperaturas máximas y mínimas, obtenidos a través de estaciones meteorológicas, sensores remotos y proyecciones climáticas basadas en Modelos Climáticos Globales (GCM). La observación abarcó el área de la cuenca del río Cachi, permitiendo evaluar la variabilidad climática.

### **2.2.2 Medición.**

La técnica de medición facilitó la transformación de variables climáticas en datos cuantificables. A través de esta metodología, se registraron y documentaron los valores de precipitación y temperatura, proporcionando información precisa sobre los patrones climáticos de la cuenca del río Cachi en diferentes escalas temporales.

### **2.2.3 Descripción.**

La descripción consistió en la recopilación, organización y sistematización de los datos obtenidos mediante observación y medición. Su propósito fue estructurar la información de manera clara y detallada, permitiendo la caracterización de las sequías en la cuenca del río Cachi y facilitar el análisis e interpretación de los resultados.

## **2.3 Procedimiento para la recolección de datos**

### **2.3.1 Fuentes de información**

#### **2.3.1.1 Fuentes primarias**

Las fuentes primarias corresponden a una información de primera mano, obtenida directamente gracias a las entidades oficiales. En esta investigación, se accedió a registros climáticos por medio de solicitudes formales como al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y a la Oficina de Operación y Mantenimiento Hidráulico (OPEMAN). Los datos recopilados incluyen series mensuales de precipitación, temperatura máxima y mínima, registradas en estaciones meteorológicas dentro de la cuenca del río Cachi.

#### **2.3.1.2 Fuentes secundarias**

Las fuentes secundarias comprenden productos climáticos derivados a partir de bases de datos satelitales y modelos de interpolación espacial, los cuales

proporcionan variables meteorológicas clave, como la precipitación y la temperatura mensual máxima y mínima.

### **Producto RAIN4PE**

El producto RAIN4PE es un conjunto de datos climatológicos en formato cuadriculado, desarrollado específicamente para Perú y Ecuador. Su construcción se basa en la integración de observaciones in situ, datos de elevación y registros hidrológicos, lo que permite minimizar la subestimación de la precipitación en regiones montañosas, tales como páramos y cuencas de alta altitud. Este producto presenta una resolución espacial de 0.1° x 0.1° y una resolución temporal diaria, abarcando el período de 1981 a 2015 dentro del rango geográfico de 19°S-2°N y 82°W-67°W.

Los datos de RAIN4PE están disponibles en formato NetCDF y pueden descargarse en el siguiente enlace: <https://doi.org/10.5880/pik.2020.010>.

### **Producto PISCO**

El producto PISCO de temperatura ofrece información grillada desde el 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre de 2016. Los datos se descargan en formato NetCDF desde la dirección:

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/>

### **Identificación de escenarios climáticos**

Con el propósito de evaluar las proyecciones de precipitación y temperatura bajo diferentes condiciones de cambio climático, se emplearon Modelos Climáticos Globales (GCM) del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados en su quinta fase (CMIP5). Estos modelos permiten analizar la evolución de las variables climáticas en función de los escenarios propuestos por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

La información puede ser adquirida a través de la plataforma KNMI Climate Explorer, accesible en el siguiente enlace: <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>.

Para este estudio, los archivos provenientes de PISCO y RAIN4PE fueron procesados en RStudio mediante códigos especializados, con el objetivo de extraer las series temporales de precipitación mensual y temperaturas en la cuenca del río Cachi, utilizando sus coordenadas geográficas.

## 2.4 Materiales y equipos

### 2.4.1 Materiales

- Imágenes satelitales del servidor ALOS PALSAR en formato DEM de 12.5 m.
- Mapas del servidor GEO GPS PERU en formato *shapefile*.
- Datos de estaciones meteorológicas proporcionado por el SENAMHI y OPEMAN.
- Datos de precipitación del producto RAIN4PE en formato NC.
- Datos de las temperaturas máximas y mínimas correspondientes al producto PISCO en formato NC.
- Datos por Modelos Climáticos Globales (CGM).
- Materiales de escritorio.

### 2.4.2 Equipos

- Programa RStudio
- Programa ArcGIS 10.5
- Programa Hydraccess
- Programa Google Earth Pro
- Microsoft Word, Excel, etc.
- Programa Past4.03
- Laptop Core i7

## 2.5 Problema general

¿Cómo evaluar el índice de sequía utilizando los métodos estadísticos SPI y SPEI durante el período comprendido entre 1994 y 2015, y proyectar las tendencias futuras hasta el año 2100 en la cuenca del río Cachi?

## 2.6 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las diferencias entre los datos de precipitación observados en las estaciones meteorológicas y los datos simulados durante el período 1994-2015 en la cuenca del río Cachi?
- ¿Cómo se caracteriza la sequía en términos espaciales y temporales utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para una escala temporal específica en la cuenca del río Cachi?
- ¿Cuál es el impacto del cambio climático en las características futuras de las sequías, utilizando datos simulados por Modelos Climáticos Globales (GCM) mediante el Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) para escalas de tiempo corto y largo plazo en la cuenca del río Cachi?

## 2.7 Metodología

El desarrollo de esta investigación se estructuró en seis etapas, cada una de las cuales permitió el cumplimiento de los objetivos planteados. A continuación, se presenta el diagrama de flujo que ilustra el proceso metodológico:

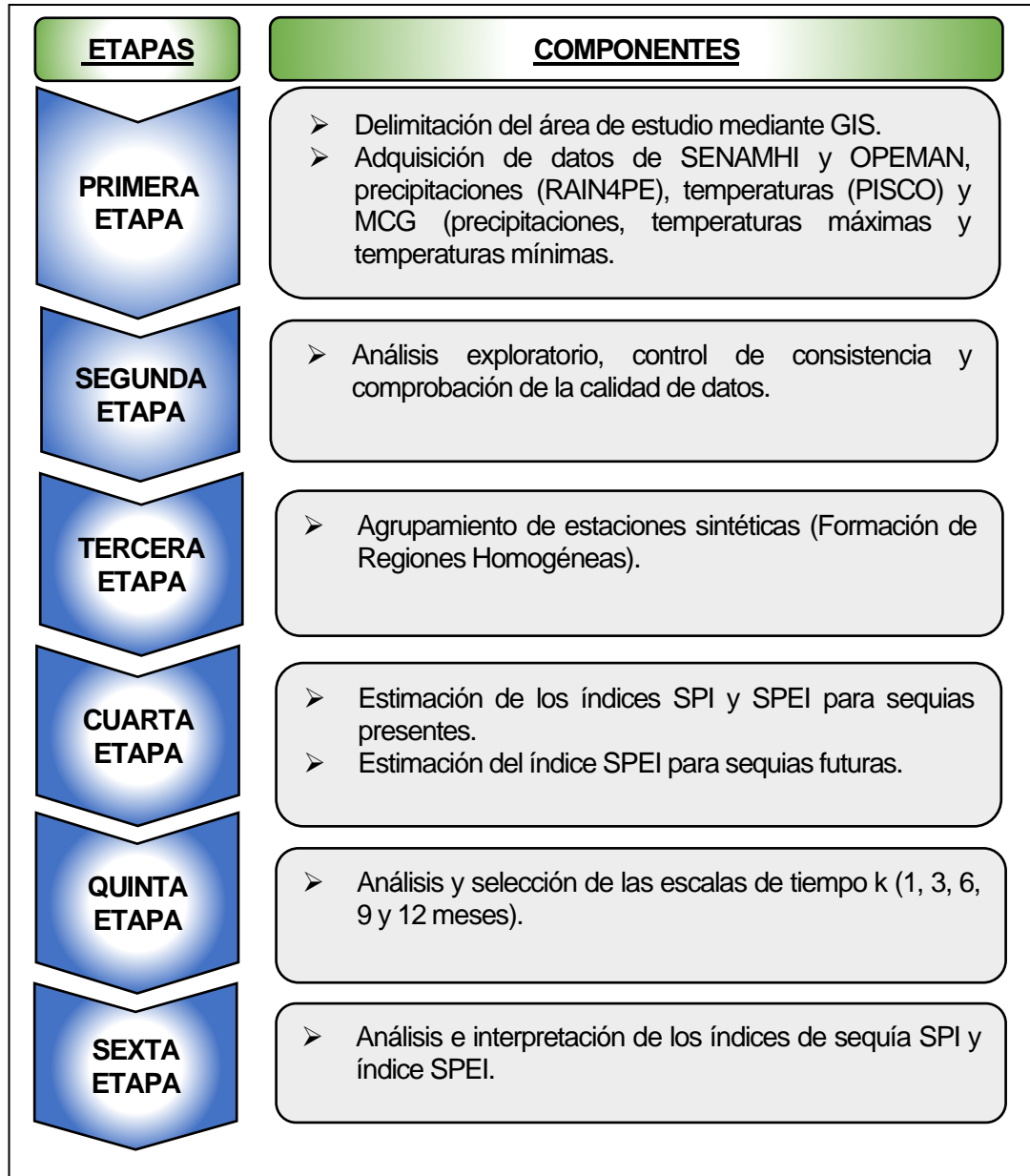


Figura 6. Esquema de la ruta metodológica del proyecto

Fuente: Elaboración propia

### 2.7.1 Delimitación del área de estudio

El Modelo Digital de Elevación (DEM) desempeña un papel fundamental en la definición del área de estudio, facilitando la identificación de la extensión y atributos de la cuenca del río Cachi como sus subcuencas, la infraestructura fluvial y los límites de captación. El procedimiento se llevó a cabo utilizando ArcGIS 10.5, siguiendo las siguientes directrices:

#### 1. Ubicación del área de intervención.

- Se identificó y localizó el área de estudio correspondiente a la cuenca del río Cachi.
- Se descargó el DEM del satélite ALOS PALSAR en formato TIFF con una resolución espacial de 12.5 m.

#### 2. Procesamiento del DEM:

- Se corrigieron espacios vacíos e inconsistencias en el DEM utilizando la herramienta Fill, generando así una superficie continua.

#### 3. Generación de la dirección de flujo:

- Se aplicó la herramienta *Flow Direction* para modelar la dirección de flujo en cada celda del DEM procesado.

#### 4. Cálculo de la acumulación de flujo:

- Mediante la herramienta *Flow Accumulation*, se determinó la acumulación de flujo en función de la topografía y las direcciones de flujo.

#### 5. Creación del *shapefile* del punto de aforo:

- Se generó un archivo *shapefile* para marcar el punto de aforo de la cuenca hidrográfica.
- Luego, se utilizó la herramienta *Watershed* para identificar las áreas que drenan hacia dicho punto.

#### 6. Delimitación final de la cuenca:

- Se aplicó la herramienta *Raster to Polygon* para convertir los datos raster en un *shapefile*, facilitando así su análisis y visualización.

#### 7. Cálculo de parámetros geomorfológicos:

- Se estimaron diversos parámetros de la cuenca, entre ellos: parámetros de forma, rectángulo equivalente, parámetros de relieve (desnivel total y pendiente), características de la red hidrográfica.

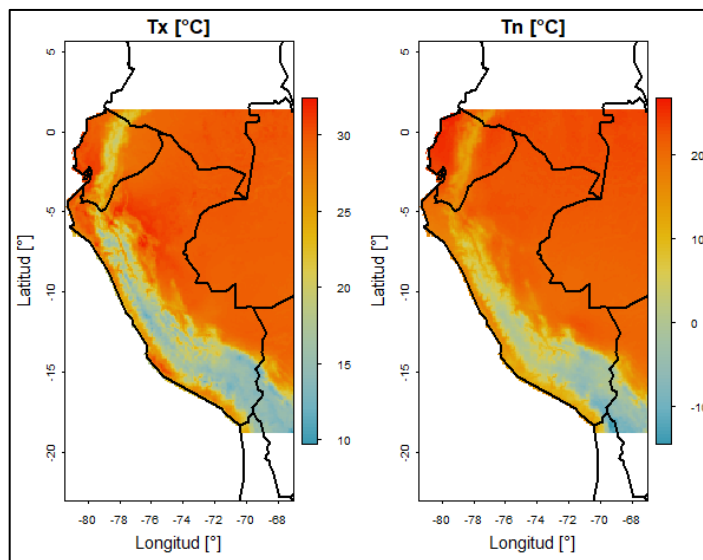
### 2.7.2 Recopilación y procesamiento de información climática

Para el análisis de la información climática en la cuenca del río Cachi, se recopilaron y procesaron datos provenientes de diversas fuentes.

Los datos observados de precipitación fueron adquiridos a través del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Oficina de Operación y Mantenimiento Hidráulico (OPEMAN). Estos registros, obtenidos de estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca, abarcan el período de 1994 a 2023 y se presentan en escala mensual.

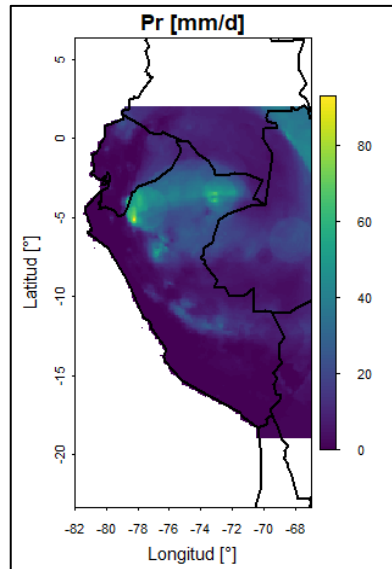
Se analizaron las influencias topográficas, la latitud y la longitud de la cuenca de estudio para detectar patrones climáticos mediante teledetección y la instalación de puntos de registro, lo que permitió mejorar la representatividad espacial de los datos recopilados.

Para complementar los registros observacionales, se incorporaron datos grillados de precipitación diaria del producto RAIN4PE, los cuales fueron agregados mediante sumatoria para convertirlos a escala mensual y facilitar su análisis. Asimismo, se emplearon datos mensuales de temperatura máxima y mínima del producto PISCO V1.1, con una resolución espacial de  $0.1^\circ$  (~10 km). Ambos conjuntos de datos fueron descargados en formato NetCDF, lo que permitió su procesamiento mediante herramientas especializadas.



**Figura 7.** Proyección de datos grillados PISCO (temperatura máxima y mínima) a escala mensual

Fuente: Elaboración propia



**Figura 8.** Proyecciones de datos grillados RAIN4PE a escala diaria

Fuente: Elaboración propia

Se recurrió al empleo de Modelos Climáticos Globales (MCG) para la generación de proyecciones futuras de precipitación y temperatura en la cuenca del río Cachi, abarcando el período 1994-2100. Estos datos también fueron descargados en formato NetCDF y procesados con RStudio y ArcGIS, lo que permitió un análisis detallado de las variaciones espaciales y temporales de las condiciones climáticas proyectadas.

### 2.7.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En esta etapa se llevó a cabo un análisis exploratorio, con el objetivo de evaluar la consistencia y homogeneidad de la información. Este proceso permitió caracterizar las variables climáticas facilitando el uso en el análisis regional de sequías en la cuenca del río Cachi.

Los registros de precipitaciones, temperaturas máximas y mínimas, se originan en estaciones de medición puntuales, las cuales emplean instrumentos de medición. En vista de la importancia crucial de la calidad de los datos para el análisis, se llevaron a cabo pruebas de consistencia y homogeneidad previo a su procesamiento.

#### 2.7.3.1 Análisis exploratorio

La metodología del análisis exploratorio se enfoca en la detección de valores atípicos (outliers), utilizando el recurso gráfico del diagrama de cajas (Boxplot). Los valores identificados como atípicos serán sometidos a evaluación y contraste con los sucesos de precipitación documentados en estaciones adyacentes para determinar si deben ser incorporados o excluidos en análisis subsecuentes.

### Diagrama de caja (*Boxplot*)

La regla del *Boxplot* constituye un método visual para detectar posibles valores atípicos. Este gráfico define el rango intercuartil dentro de una caja y establece los intervalos de confianza del 5 % y 95 % mediante barras externas. Los valores que caigan fuera de estos límites pueden ser considerados como atípicos. (Iglewicz & Hoaglin, 1993).

Intervalo de confianza establecido en el 95%:

$$\frac{x - Q_3}{Q_3 - Q_1} > L_S \quad (31)$$

Limitación para la ampliación del intervalo de confianza al 5%:

$$\frac{Q_1 - x}{Q_3 - Q_1} > L_I \quad (32)$$

$$L_I = Q_1 - (Q_3 - Q_1) * 1.5$$

$$L_S = Q_3 + (Q_3 - Q_1) * 1.5$$

Donde:

- $L_I, L_S$  : Valor crítico en la regla de Boxplot.
- $x$  : Punto que se encuentra fuera del límite superior o inferior establecido en la regla de boxplot.
- $Q_i$  : Cuartil i-ésimo.

#### 2.7.3.2 Análisis de saltos

Los saltos en una serie hidrológica representan transiciones entre estados debido a factores naturales, como deslizamientos y embalsamientos, o intervenciones humanas. Su detección es fundamental para evaluar cambios en la dinámica hídrica.

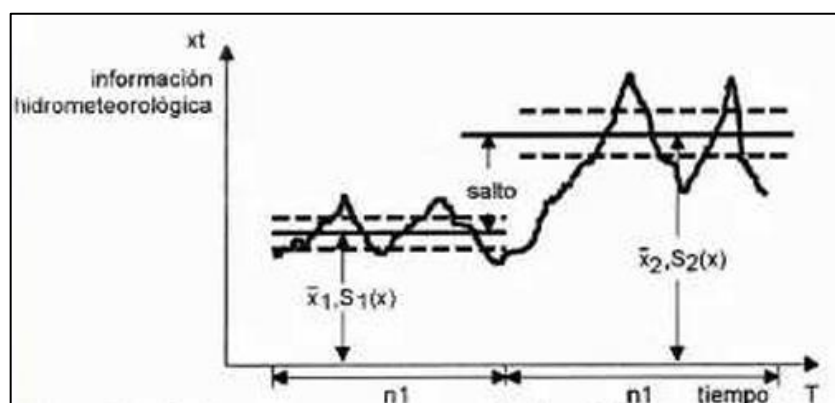


Figura 9. Identificación de un salto en la serie hidrometeorológica

Fuente: Villón (1983, p. 309)

Un salto puede resultar de un cambio abrupto de las condiciones estándar aguas arriba de la estación de control (caudales) o en las proximidades de la estación de medición (precipitación).

**Estrategia para la detección de un salto:**

- **Recopilación de información de campo:** Se identifican posibles causas, como el cambio de ubicación de estaciones o modificaciones en la regulación del flujo.
- **Evaluación de las series temporales de los datos:** Se grafican los datos (precipitación vs. tiempo) para detectar variaciones significativas. Es crucial diferenciar estos saltos de periodos prolongados de sequía o humedad.
- **Criterios para identificar información dudosa:** Comparación con estaciones vecinas para detectar discrepancias en registros históricos.

**a. Evaluación y cuantificación**

De acuerdo con Aliaga (1983). La detección y cuantificación de fallos en las series temporales, manifestados como saltos, se lleva a cabo a través de un análisis estadístico basado en pruebas de hipótesis. Para ello, se utilizan la media y la desviación estándar como parámetros principales, aplicando las pruebas “t-Student” y F de “Fisher” para identificar discrepancias significativas.

Una vez verificados los posibles errores en campo y a través del análisis de doble masa, se delimitan los periodos críticos para su evaluación y posible corrección. Antes de aplicar ajustes, se calculan los parámetros estadísticos clave para verificar si los valores se encuentran dentro de un rango permisible, conforme a los criterios de significancia establecidos en las pruebas estadísticas.

- **Consistencia en la media**

El análisis estadístico implica verificar, a través de la prueba estadística t (prueba de hipótesis), si los valores medios de las muestras coinciden o difieren estadísticamente con una probabilidad del 95% o con un 5% de significación, de la siguiente manera:

**Cálculo de la media y de la desviación estándar correspondientes a las muestras, calculando en:**

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i ; S_1(x) = \left[ \frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{33}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j ; S_2(x) = \left[ \frac{1}{n_2-1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{34}$$

donde:

✓  $x_i$  : Valores de la serie de datos observados

- ✓  $x_j$  : Valores de la serie de datos estimados
- ✓  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$  : Media de las variables observadas y estimadas, respectivamente
- ✓  $S_1(x), S_2(x)$ : Desviación estándar de los datos observados y estimados, respectivamente
- ✓  $n_1, n_2$  : Número de datos observados y estimados (tamaño de muestra)

**Cálculo del  $t$  calculado ( $t_c$ ) según:**

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d} \quad (35)$$

donde:  $\mu_1 - \mu_2 = 0$  (por hipótesis, la hipótesis es que las medias son iguales)  
 además:

$$S_d = S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} \quad (36)$$

como:

- ✓  $S_d$ : desviación de los promedios
- ✓  $S_p$ : desviación estándar ponderada

**Determinación del valor  $t$  tabular ( $t_t$ )**

Es el valor crítico de  $t$ , obtenido de la tabla de  $t$ -Student, considerando un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0.05$ ,  $\alpha/2 = 0.025$ ) y grados de libertad G.L. =  $n_1 + n_2 - 2$ . Esta tabla se encuentra en el Apéndice (tabla A.5, p. 420) del libro de Villón (2005).

**Comparativa del  $t_c$  y el  $t_t$ :**

- ✓ Si se establece que  $|t_c| \leq |t_t|$  (95%) entonces,  $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$  (estadísticamente).  
 En el presente escenario, dada la equivalencia estadística entre las medias  $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$  no se debe llevar a cabo un proceso de corrección.
- ✓ Si: se establece que  $|t_c| > |t_t|$  (95%) entonces,  $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$  (estadísticamente).  
 En el presente escenario, dada la equivalencia estadística entre las medias  $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$  estadísticamente, se requiere la corrección de la información.

- **Consistencia de la desviación estándar**

El análisis estadístico implica verificar, a través de la prueba  $F$ , si los valores de las desviaciones estándar de las muestras coinciden o difieren estadísticamente, con un 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación, de la siguiente forma:

**Cálculo de las varianzas correspondientes a ambos periodos:**

$$S_1^2(x) = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2$$

$$S_2^2(x) = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2$$
(37)

**Cálculo del F calculado ( $F_c$ ), de acuerdo con:**

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$
(38)

**Cálculo del F tabular (valor crítico de F o  $F_t$ )**

Se obtiene de la tabla F de Fisher ubicada en el Apéndice (tabla A.4, p. 418) del libro de Villón (2005). para una probabilidad del 95%, es decir, con un nivel de significación  $\alpha = 0.05$  y los respectivos grados de libertad.

$$\begin{cases} GLN = n_1 - 1 \\ GLD = n_2 - 1 \end{cases} \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$\begin{cases} GLN = n_2 - 1 \\ GLD = n_1 - 1 \end{cases} \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$
(39)

donde:

- ✓  $\alpha$  : Nivel de significancia
- ✓ GLN : Grados de libertad del numerador
- ✓ GLD : Grados de libertad del denominador

**Comparación del  $F_c$  con el  $F_t$**

- ✓ Si:  $F_c \leq F_t$  (95%) entonces  $S_1(x) = S_2(x)$ , se considera que las desviaciones estándar son iguales estadísticamente.
- ✓ Si:  $F_c > F_t$  (95%) entonces  $S_1(x) \neq S_2(x)$ , las desviaciones estándar son diferentes estadísticamente por lo tanto se considera a que existe salto.

- **Corrección de los datos**

En los escenarios en los que los parámetros media y desviación estándar de las muestras de las series temporales coinciden estadísticamente, la información original no se rectifica debido a su consistencia con el 95% de probabilidad, incluso cuando en la doble masa se detecten pequeñas variaciones. Por el contrario, los valores de las muestras se ajustan a través de las siguientes ecuaciones:

$$X_{(t)} = \left[ \frac{X_t - \bar{X}_1}{S_1(x)} \right] * S_2(x) + \bar{X}_2$$
(40)

$$X_{(t)} = \left[ \frac{X_t - \bar{X}_2}{S_2(x)} \right] * S_1(x) + \bar{X}_1$$
(41)

Donde:

- ✓  $X_t$  : Valor a ser corregido
- ✓  $X_{(t)}$  : Valor corregido de los saltos

Esta ecuación se emplea cuando se requiere la corrección de los valores de la muestra de tamaño  $n_1$ , mientras que la ecuación 41, si se requiere la corrección la muestra de tamaño  $n_2$ .

### 2.7.3.3 Estadísticas de comparación por pares

- **Coefficiente de eficiencia (CE)**

Para corroborar la hipótesis, se llevó a cabo la evaluación del coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE). El intervalo de ajuste crítico se extiende desde  $-\infty$  (ajuste inadecuado) hasta 1 (ajuste óptimo). Este criterio se emplea habitualmente en la valoración de los modelos hidrológicos.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (42)$$

Dónde:

- ✓  $n$  : Cantidad de observaciones
- ✓  $P_i$  : Valores simulados o pronosticados
- ✓  $O_i$  : Valores observados
- ✓  $\bar{O}$  : Media de los valores observados

En la tabla presenta el intervalo de valores correspondientes al coeficiente de Nash-Sutcliffe (CE) y la correspondiente descripción del ajuste.

**Tabla 4.** Valores del coeficiente de Nash-Sutcliffe (CE).

Rango de CE	Ajuste
< 0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

Fuente: Molnar (2011)

- **Coefficiente de correlación de Pearson (R)**

El coeficiente de correlación de Pearson constituye la métrica más frecuentemente utilizada para cuantificar la asociación entre dos variables. Indica el nivel de correlación o asociación existente entre dos variables. El intervalo de r oscila entre -1 y +1.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (43)$$

**Tabla 5.** Escala de correlación de Pearson.

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0.9 a -0.99	Correlación negativa muy alta
-0.7 a -0.89	Correlación negativa alta
-0.4 a -0.69	Correlación negativa moderada
-0.2 a -0.39	Correlación negativa baja
-0.01 a -0.19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0.01 a 0.19	Correlación positiva muy baja
0.2 a 0.39	Correlación positiva baja
0.4 a 0.69	Correlación positiva moderada
0.7 a 0.89	Correlación positiva alta
0.9 a 0.99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: Orlando & Ibijes (2012)

#### 2.7.3.4 Reducción de escala de los datos estimados por el modelo GCM

Para estimar el impacto del cambio climático a nivel global, se emplean datos provenientes de Modelos Climáticos Globales (GCM) desarrollados en el marco del Proyecto de Intercomparación de los Modelos Acoplados, fase 5 (CMIP5), utilizando escenarios climáticos específicos. Sin embargo, estos datos exhiben restricciones en relación con el grado de detalle espacial que pueden lograr. La resolución limitada de los modelos globales impide una captura precisa de las características climáticas locales. Por consiguiente, la valoración de las repercusiones del cambio climático a escala local, especialmente en relación con los recursos hídricos, demanda proyecciones climáticas a escala reducida.

#### Técnicas de reducción de escala

El proceso de reducción de escala, basado en el método conocido como *Quantile Mapping*, consiste en ajustar las propiedades atmosféricas modeladas por los GCM a las condiciones meteorológicas locales. Este ajuste puede realizarse mediante modelos matemáticos de base física o a través de métodos estadísticos, como la corrección de sesgo (*Bias Correction*). Estas técnicas utilizan registros meteorológicos locales para generar modelos óptimos que

representen de manera más precisa los datos observados, aumentando así la confiabilidad en las proyecciones climáticas futuras.

### **Procedimiento para el uso de datos de precipitación crudos del GCM**

1. Preparación y conversión de datos: Los datos climáticos simulados, en su formato original NetCDF, se convierten a un formato manejable para su análisis en entornos como R.
2. Extracción del punto de grilla: Se selecciona el punto del modelo GCM más cercano geográficamente a la estación meteorológica o puntos representativos de la cuenca.
3. Conversión y localización espacial: El objetivo es aislar los datos de precipitación para el área de interés, específicamente la cuenca del río Cachi.
4. Aplicación del *Quantile Mapping*: Se calcula la función de distribución acumulada (CDF) de los datos observados y simulados, y luego se ajustan los cuantiles simulados para que coincidan con los cuantiles observados, corrigiendo así la distribución completa de los datos simulados.

### **Reducción de escala no paramétrica**

En el estudio actual, se aplicó una reducción de escala estadística en los datos simulados por los Modelos Climáticos Globales (GCM) mediante el método *Quantile Mapping*. Este procedimiento se basa en una corrección no paramétrica, la cual no asume una distribución específica de los datos, lo que lo hace adecuado para variables como la precipitación que presentan distribuciones sesgadas. A diferencia de métodos simples como el *Linear Scaling*, el *Quantile Mapping* permite ajustar no solo la media, sino toda la distribución de los datos, mejorando así la representación de los valores extremos y las condiciones locales observadas. Este método ha demostrado ser efectivo para corregir los sesgos presentes en las proyecciones climáticas, especialmente en contextos hidroclimáticos complejos (Cannon et al., 2015).

#### **2.7.3.5 Sesgo porcentual (PBIAS)**

La cuantificación por porcentaje del BIAS evalúa la tendencia de los valores simulados a incrementarse o disminuir en relación con los valores observados. El valor óptimo del porcentaje del BIAS es 0, los valores negativos señalan una subestimación y los valores positivos señalan una sobreestimación. La ecuación para su cálculo se presenta de la siguiente manera:

$$BIAS(\%) \text{ o } PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (44)$$

donde:

- ✓  $S_i$ : valor de la precipitación estimada por satélite
- ✓  $O_i$ : valor de precipitación observada

**Tabla 6.** Rangos e interpretación del sesgo porcentual (PBIAS)

<b>PBIAS</b>	<b>Interpretación modelo</b>
$PBIAS < \pm 10$	Muy bueno
$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	Bueno
$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	Satisfactorio
$PBIAS \geq \pm 25$	Insatisfactorio

Fuente: Moriasi et al. (2007)

### 2.7.3.6 Formación de regiones homogéneas

La configuración de regiones homogéneas se lleva a cabo en dos fases fundamentales: la formación preliminar de las mismas y la definición de estas regiones.

#### Primera etapa: formación preliminar de regiones

En esta etapa, las estaciones se agrupan inicialmente mediante diversos enfoques, que incluyen:

- Criterios subjetivos, como proximidad geográfica, características fisiográficas o altitud.
- Técnicas matemáticas, entre las que destacan: métodos de aglomeración jerárquica, como el método de Ward, métodos de aglomeración particional, como K-means, y métodos de análisis de componentes principales, entre otros.

En la presente investigación, se empleó el procedimiento de Ward para la clasificación inicial de los 18 puntos considerados, fundamentándose en sus datos de precipitación promedio mensual correspondientes al período 1994-2015.

#### Segunda etapa: definición de regiones homogéneas

Para determinar si las agrupaciones preliminares forman efectivamente regiones homogéneas, se utilizó el Método del Vector Regional (MVR) mediante el programa HYDRACCESS. Este método permite identificar grupos de estaciones pluviométricas con comportamiento similar en términos de la variabilidad interanual de la precipitación.

El MVR ha sido ampliamente aplicado en el Perú, como lo evidencian estudios previos. Este enfoque asegura la robustez y representatividad de las regiones homogéneas definidas en función de las características pluviométricas locales. (Rau et al., 2017).

### a) Método de Ward

El método de Ward es un enfoque aglomerativo que implica la generación de una serie de particiones de los datos: la primera partición se compone de  $n$  grupos (clusters) cada uno con una única estación, mientras que la última partición se constituye de un solo grupo que alberga todas las  $n$  estaciones. La agrupación de los grupos se realiza mediante medidas de proximidad, y en el caso particular del método Ward, la fusión de dos grupos se fundamenta en la medida del criterio de suma de los errores al cuadrado. El propósito en cada fase es reducir al mínimo el incremento total de la suma de los errores al cuadrado ( $E$ ) dentro del conglomerado, tal como se evidencia en:

$$E = \sum_{m=1}^g E_m \quad (45)$$

Donde:

$$E_m = \sum_{l=1}^{n_m} \sum_{k=1}^{P_k} (x_{ml,k} - \overline{x_{m,k}})^2 \quad (46)$$

En la situación que  $\overline{x_{m,k}} = \left(\frac{1}{n_m}\right) \sum_{l=1}^{n_m} x_{ml,k}$  (la media del primer conglomerado para la  $k$ -ésima variable),  $x_{ml,k}$  se define como la puntuación de la  $k$ -ésima variable ( $k=1, \dots, p$ ) para  $l$ -ésimo objeto correspondiente ( $l=1, \dots, n_m$ ) en el  $m$ -ésimo conglomerado ( $m=1, \dots, g$ ). Este aumento se correlaciona directamente con la distancia cuadrada euclidiana entre los centroides de los clústeres, en los que los centroides son ponderados por  $n_m n_q / (n_m + n_q)$  al calcular las distancias entre centroides. En este contexto, los números  $n_m$  y  $n_q$  representan los números de los objetos en los dos grupos  $m$  y  $q$ .

### b) Método del vector regional

El Vector Regional (VR) se define como una estación ficticia que representa el promedio de todas las estaciones dentro de una región específica. Este método se emplea para comparar y evaluar la consistencia de cada estación individual, descartando aquellas que presenten discrepancias significativas. El VR se determina utilizando el principio de la precipitación media extendida, evitando que estaciones con valores de precipitación extremadamente bajos o altos influyan de manera desproporcionada en el análisis.

Posteriormente, utilizando la metodología de mínimos cuadrados, se alcanzan los índices pluviométricos regionales anuales  $Z_i$  y la precipitación media extendida  $P_j$ . Esto se consigue mediante la minimización de la siguiente ecuación:

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left( \frac{P_{ij}}{P_j} - Z_i \right)^2 \quad (47)$$

Donde:

✓  $i$ : índice del año.

- ✓  $j$ : índice correspondiente a la estación
- ✓  $N$ : número de años
- ✓  $M$ : número de estación
- ✓  $P_{ij}$ : precipitación anual registrada en la estación  $j$  durante el año  $i$
- ✓  $P_j$ : precipitación media extendida al periodo de  $N$  años
- ✓  $Z_i$ : índice de precipitaciones regionales correspondiente al año  $i$

Según Rau et al. (2017), se considera que una región es homogénea si la desviación estándar de las diferencias entre los índices pluviométricos anuales de las estaciones y los índices del Vector Regional (VR) es menor a 0.104. Adicionalmente, el coeficiente de correlación entre el VR y los valores pluviométricos anuales de las estaciones debe ser superior a 0.7.

Posteriormente, se derivan regiones homogéneas que exhiben una variabilidad comparable en la variabilidad interanual de la precipitación. Este análisis es crucial para el estudio, ya que permite identificar el conjunto de estaciones que conforman cada región homogénea, facilitando así una mejor caracterización de la sequía en la cuenca del río Cachi.

#### **2.7.3.7 Análisis de datos**

Se basa en la información recogida por las estaciones meteorológicas de SENAMHI y OPEMAN, complementada con estimaciones de RAIN4PE y PISCO, además de datos simulados mediante Modelos Climáticos Globales (GCM).

De acuerdo con Aliaga (1983). La manipulación de los datos conlleva la modificación de las series históricas para asegurar su homogeneidad. Esto implica la valoración y rectificación de los errores de medición, junto con la completación y ampliación de datos ausentes, garantizando de este modo su consistencia para los análisis subsiguientes.

#### **2.7.4 Estimación de los índices SPI y SPEI para sequías presentes**

En esta fase del estudio, se calcularon los índices SPI (Índice de Precipitación Estandarizado) y SPEI (Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizado) para diversas escalas temporales, abarcando 1, 3, 6, 9 y 12 meses.

El propósito fundamental de esta estimación fue identificar las particularidades de las sequías en función del tiempo y seleccionar el índice que mejor representara estas condiciones, junto con su escala temporal correspondiente. Este análisis fue esencial para entender las sequías desde una perspectiva tanto espacial como temporal.

El índice SPEI, propuesto por Vicente-Serrano et al. (2010), se distingue por incorporar la Evapotranspiración Potencial (ETP) en su cálculo, lo que permite obtener una evaluación más

precisa de las condiciones de sequía. A diferencia del SPI, que únicamente considera la precipitación, el SPEI tiene en cuenta también la demanda atmosférica de agua, lo que mejora su capacidad para representar las sequías.

### **2.7.5 Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP)**

El cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP) se realizó utilizando el método de Thornthwaite (1948), el cual se basa en la relación entre la temperatura media mensual y el fotoperíodo, siendo adecuado para regiones con información climática limitada. Este paso es crucial para la estimación del índice SPEI, ya que dicho índice utiliza la diferencia entre la precipitación y la demanda atmosférica de agua para describir de manera más precisa las condiciones de sequía en la cuenca del río Cachi.

### **2.7.6 Validación de series de precipitación y simulaciones**

En esta etapa, se realizó la validación de las series de precipitación observada y simulada (previamente calibradas). Las series se sometieron a pruebas estadísticas para comprobar la validez de las hipótesis planteadas en el estudio. Dichas pruebas permitieron evaluar la consistencia y el desempeño de los datos simulados en relación con los datos observados. Las validaciones se realizaron utilizando rutinas desarrolladas en el lenguaje de programación R, aplicando diversos métodos estadísticos.

### **2.7.7 Análisis e interpretación de los índices de sequía SPI y SPEI**

En esta última etapa del análisis, se compararon los resultados obtenidos con los índices SPI y SPEI, evaluando lo siguiente:

- **Escalas Temporales:** Determinación de cuál de los índices refleja de manera más precisa las características de las sequías en la región a través de diferentes horizontes de tiempo.
- **Espacio-Temporalidad:** Evaluación de la distribución espacial y temporal de las sequías utilizando ambos índices.
- **Impactos Futuros:** Estimación de las tendencias de sequía bajo los escenarios de cambio climático proyectados por los Modelos Climáticos Globales (GCM).

Finalmente, el índice y la escala temporal seleccionados fueron aquellos que mejor representaron las características de las sequías en la cuenca del río Cachi, aportando datos fundamentales para la administración sostenible del agua en la región.

### **III. CAPÍTULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

##### **3.1 Caracterización del área de estudio**

El área de estudio seleccionada para este trabajo de investigación es la cuenca del río Cachi, que abarca una superficie total de 3603.48 km<sup>2</sup>, con un perímetro de 358.96 km. La cuenca se encuentra a una altitud máxima de 5181 msnm y una altitud mínima de 2242 msnm. Esta cuenca se identifica como un afluente del río Mantaro y forma parte de la vertiente del océano Atlántico. Desde una perspectiva geográfica, se localiza al sur del centro peruano, entre los paralelos 13°19'25.43" S y 13°18'22.79" S, y los meridianos 74°20'34.09" O y 74°11'40.94" O.

La cuenca del río Cachi comprende regiones pertenecientes a las provincias de Cangallo, Vinchos, Huamanga y Angaraes, las cuales se encuentran distribuidas en los departamentos de Ayacucho (91%) y Huancavelica (9%).

Con base en los registros de precipitación, se observó una relación directa entre la altitud y la precipitación. A mayores altitudes dentro del área de estudio, se registra una mayor cantidad de precipitación, mientras que, en las zonas de menor altitud, la precipitación disminuye notablemente.

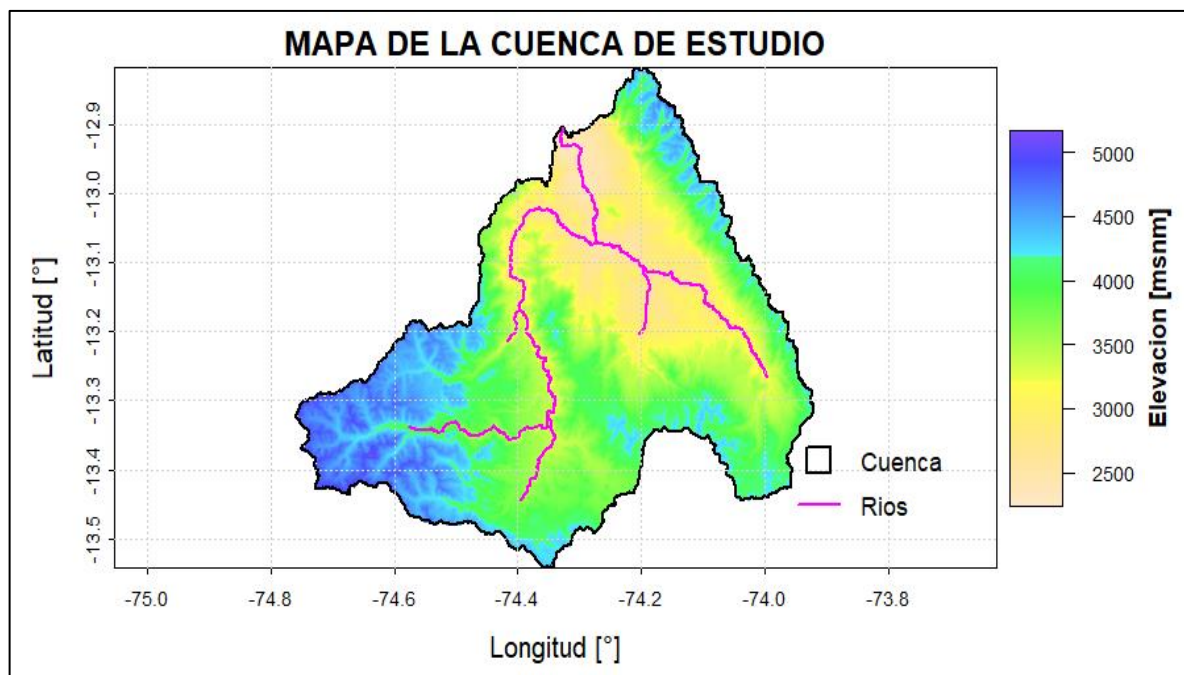


Figura 10. Delimitación de la cuenca del río Cachi

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Cachi

	PARAMETROS	UND	NOMENCLATURA	CUENCA
	Superficie total de la cuenca	Km <sup>2</sup>	At	3603.483
	Perímetro	Km.	P	358.959
UBICACIÓN	Zona de Proyeccion UTM	s/U	Zona	18
	X	m	Coord. X	642821.91
	Y	m	Coord. X	8605256.81
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA			
	FACTOR DE FORMA			
	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)	s/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$	1.687
	Longitud de la Cuenca	Km.	LB	158.022
	Ancho Medio de la Cuenca	Km.	$AM = At / LB$	22.804
	Factor de Forma	s/U	$Kf = AM / LB$	0.144
	RECTANGULO EQUIVALENTE			
Lado Mayor	Km.	$Kc*(\pi*A)^{1/2}/2*(1+(1-4/\pi*Kc^2))$	158.022	
Lado Menor	Km.	$Kc*(\pi*A)^{1/2}/2*(1-(1-4/\pi*Kc^2))$	22.804	
Densidad de drenaje	Km./Km <sup>2</sup> .	Dd = Lt / At	0.374	
Desnivel total de la cuenca	Km.	Ht	2.939	
Altura media de la cuenca	m.s.n.m.	Hm	3709	
Pendiente cuenca ( Met. Rectangulo Equivalente)	%	Ht / Lma	1.86%	
Tiempo de Concentracion Kírpich	min.	$0.0195(L^3/h)^{0.385}$	910.53	

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1 Fuente de datos y periodo de estudio

Para identificar y analizar las diferencias entre los datos observados y los datos simulados en la cuenca del río Cachi, se emplearon datos de precipitación provenientes de estaciones meteorológicas instaladas por SENAMHI y OPEMAN, así como datos satelitales de precipitación espacial. Estos datos incluyen los productos RAIN4PE para precipitación, PISCO para temperatura máxima y mínima, todas ellas a escala mensual abarcando el periodo de enero de 1994 a diciembre de 2015.

### 3.1.2 Distribución de datos en la cuenca del río Cachi

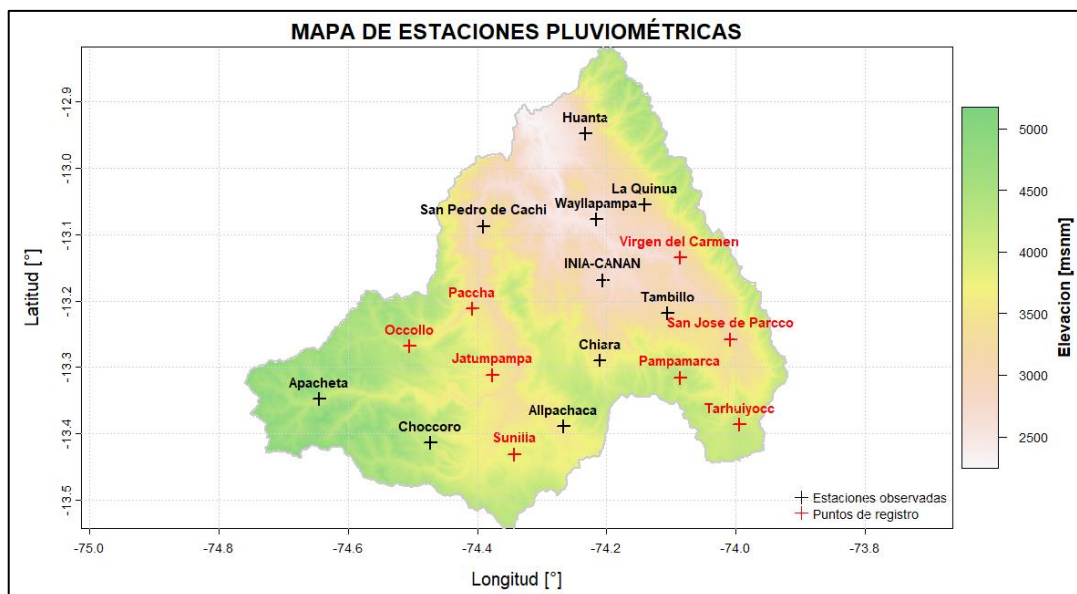
#### a. Estaciones meteorológicas en la cuenca

En la cuenca del río Cachi, se identificaron datos provenientes de diez estaciones meteorológicas instaladas por SENAMHI y OPEMAN. Las ubicaciones específicas de estas estaciones se detallan en la tabla siguiente:

**Tabla 8.** Posicionamiento de las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Cachi

<b>Posicionamiento de estaciones meteorológicas</b>				
N°	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
1	Wayllapampa	13° 4' 35.4"	74° 12' 59.4"	2470
2	San Pedro de Cachi	13° 5' 14.72"	74° 23' 26.4"	3247
3	La Quinoa	13° 3' 19.7"	74° 8' 29.7"	3215
4	Huanta	12° 56' 51"	74° 13' 59"	2627
5	INIA-CANAN	13° 10' 06"	74° 12' 22"	2735
6	Allpachaca	13°23'19"	74°16'00"	3550
7	Apacheta	13°20' 51"	74°38'44"	4150
8	Chiara	14°17'25.45"	74°12'39.64"	3400
9	Choccoro	13° 24' 48"	74° 28' 23"	4025
10	Tambillo	13° 13' 6.65"	74° 6' 22.69"	3250

Fuente: Elaboración propia

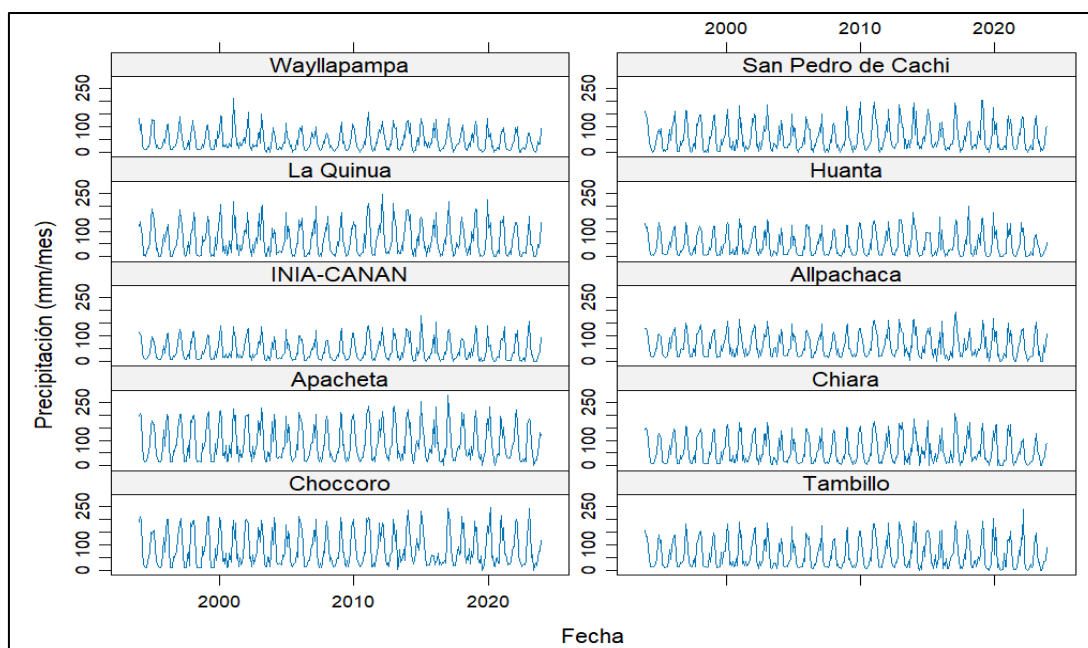


**Figura 11.** Ubicación de estaciones pluviométricas en la cuenca de estudio

Fuente: Elaboración propia

**b. Serie temporal de la información recogida por las estaciones meteorológicas**

Se procedió a completar los datos pendientes utilizando técnicas de imputación y análisis de consistencia. Subsecuentemente, se originó la serie temporal de precipitaciones meteorológicas.



**Figura 12.** Series de precipitación de las estaciones meteorológicas

Fuente: Elaboración propia

### c. Puntos de registro en la cuenca de estudio

Se instauraron ocho puntos de registro adicionales o estaciones virtuales para realizar un análisis más detallado de la precipitación en la totalidad del área. La escasa disponibilidad de 10 estaciones meteorológicas resulta insuficiente para un tratamiento integral de las características climáticas de la cuenca.

Estos puntos fueron seleccionados y situados estratégicamente con el fin de mejorar la cobertura espacial y facilitar la recopilación de datos de precipitaciones satelitales. La figura 11 muestra la densidad de las estaciones en la cuenca, lo que permite visualizar mejor la distribución de los puntos de monitoreo y su contribución a un análisis más detallado de las variaciones en la precipitación a lo largo de la cuenca de estudio.

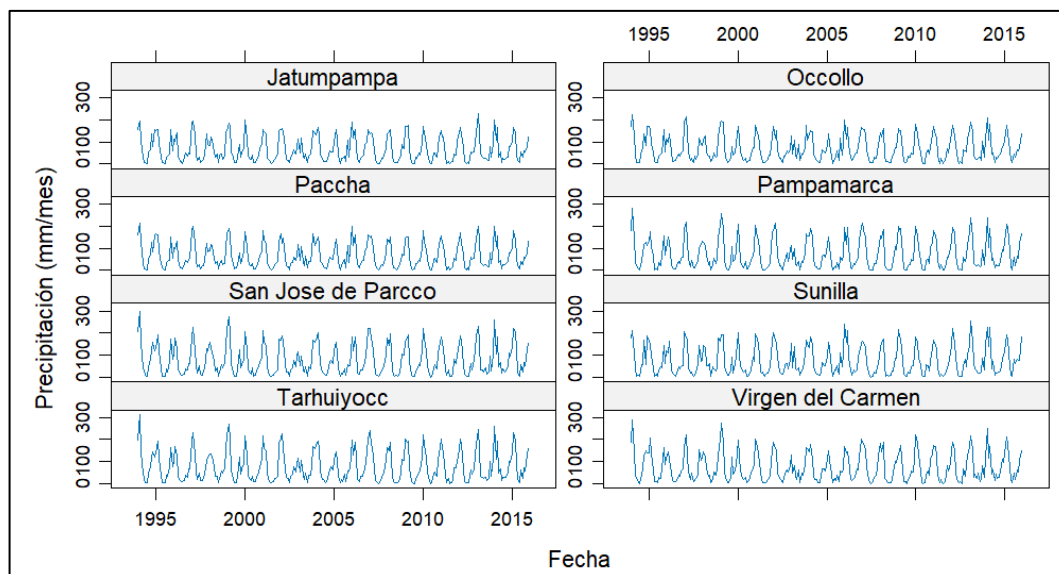
**Tabla 9.** Posicionamiento de los puntos de registro en la cuenca del río Cachi

<b>Posicionamiento de estaciones meteorológicas virtuales</b>				
N°	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
1	Jatumpampa	13°18'39.96"	74°22'38.28"	3743
2	Occollo	13°16'4.44"	74°30'17.64"	3862
3	Paccha	13°12'43.67"	74°24'29.88"	3357
4	Pampamarca	13°18'54.72"	74°5'10.32"	3959
5	San Jose de Parcco	13°15'27.72"	74°0'29.88"	3226
6	Sunilla	13°25' 50.27"	74°20'33.51"	3724
7	Tarhuiyocc	13°23' 11.04"	73°59'39.84"	3788
8	Virgen del Carmen	13°8' 6.36"	74°5'13.56"	2846

Fuente: Elaboración propia

### d. Secuencia temporal de los datos estimados en los 8 puntos de registro situados en el área objeto de estudio

El producto RAIN4PE, fue empleado para la generación de las series temporales en los puntos de registro, seleccionado por su habilidad para proporcionar una representación más exacta, respaldada por validaciones realizadas en investigaciones previas.

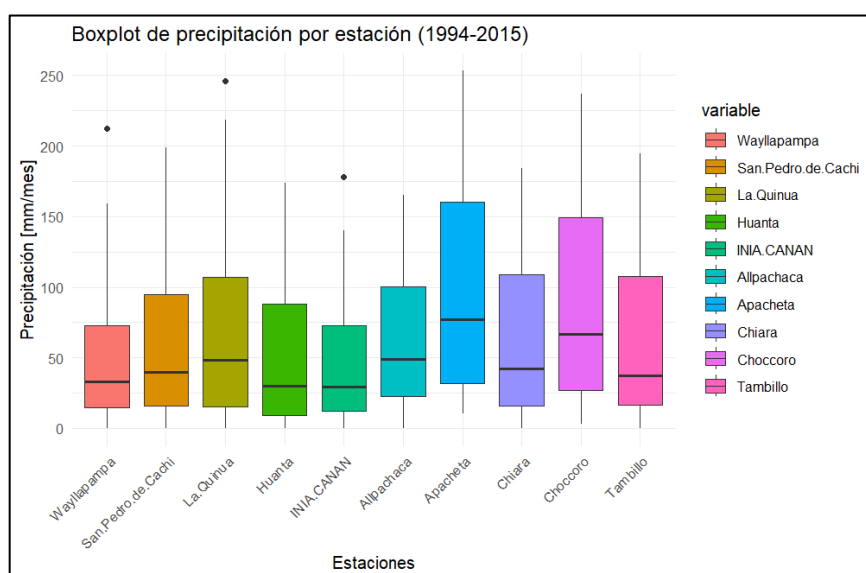


**Figura 13.** Series de precipitación registradas en los puntos de registro

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 Análisis exploratorio de datos (AED)

Durante la fase de Análisis Exploratorio de Datos (AED), se generó gráficos de cajas (boxplots), con el propósito de identificar cualitativamente los datos atípicos (outliers) en las series de precipitación. Estos gráficos representan los valores extraídos de las cajas, señalando posibles datos atípicos para cada mes. La figura 14 presenta estos diagramas de caja mensuales, elaborados a partir de los datos recolectados.



**Figura 14.** Diagramas de caja de la precipitación mensual en las estaciones meteorológicas (1994-2015)

Fuente: Elaboración propia

En términos generales, las estaciones meteorológicas muestran valores de precipitación que se encuentran dentro de los límites de confianza, tanto superior como inferior. No obstante, se identificaron algunos posibles valores atípicos, especialmente durante los meses de la estación pluvial.

Cada uno de estos valores fue validado al compararlos con los registros de estaciones cercanas, lo que permitió concluir que no había evidencia suficiente para considerarlos erróneos. En consecuencia, no se ha documentado la existencia de datos atípicos en esta investigación.

### **3.1.4 Evaluación de la consistencia y calidad del producto grillado RAIN4PE**

Para validar y contrastar la calidad del producto RAIN4PE, se compararon los datos de precipitación mensual registrados por las estaciones meteorológicas con las estimaciones derivadas de la información satelital de este producto. En consecuencia, en este estudio no se ha documentado la existencia de datos atípicos.

#### **3.1.4.1 Dependencia puntual**

Los datos fueron analizados en una escala mensual, dado que las correlaciones entre la precipitación observada y la estimada a partir del producto grillado demostraron ser aceptables en dicha escala.

- **Análisis de consistencia de los datos mensuales**

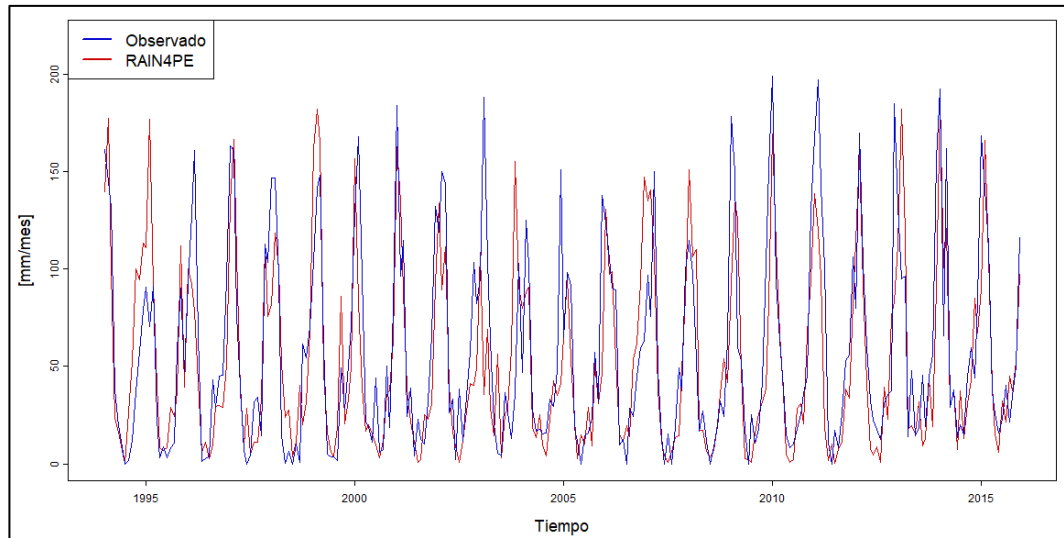
Para ilustrar el proceso de análisis, se seleccionó la estación de San Pedro de Cachi. No obstante, este mismo análisis se llevó a cabo para todas las estaciones.

#### **A. Análisis de saltos en estaciones**

En la figura 15 ilustra la secuencia temporal de los datos observados y estimados, evidenciando la ausencia de salto en ambos procesos. En consecuencia, este análisis será preliminar y se llevará a cabo con el objetivo de discernir si los datos observados y estimados exhiben similitud en su media y desviación estándar.

- **Secuencias temporales correspondientes a los datos observados y estimados**

La Figura 15 presenta una secuencia temporal correspondiente a las informaciones mensuales observadas y estimadas por el producto RAIN4PE. Es destacable que, tanto en el periodo observado como en el estimado, las magnitudes de las precipitaciones manifiestan similitudes.



**Figura 15.** Serie temporal de precipitación mensual: comparación entre datos observados y estimados por RAIN4PE en la estación San Pedro de Cachi

Fuente: Elaboración propia

- **Consistencia en la media**

A través de la prueba estadística t-Student se detecta la discrepancia en la media. A continuación, se presenta los resultados de los datos observados y estimados mediante las ecuaciones de t-Student.

Reemplazando los datos se obtiene a continuación:

$$n_1 = 264$$

$$n_2 = 264$$

$$\bar{x}_1 = 57.54174$$

$$\bar{x}_2 = 52.79394$$

$$S_1(x) = 51.37754$$

$$S_2(x) = 47.44707$$

**Cálculo de la desviación estándar ponderada y desviación de las diferencias de los promedios ( $S_p$  y  $S_d$ )**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}}$$

$$S_d = S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

$$S_p = 49.45137$$

$$S_d = 4.304189$$

**Cálculo de t calculado ( $t_c$ )**

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d}$$

$$t_c = 1.103066$$

### Cálculo de t tabulado o tablas ( $t_t$ )

Utilizando la tabla de t-Student, se obtiene  $t_t = 1.960$

Se obtiene:  $|t_c| = 1.103066 \leq |t_t| = 1.960$  al 95% de efectividad, por lo que, desde una perspectiva estadística, las medias son idénticas. En consecuencia, los datos obtenidos tanto observados como estimados presenta una consistencia en la media.

- **Consistencia de la desviación estándar**

La evaluación de la consistencia en la desviación estándar se lleva a cabo utilizando la prueba "F" de Fisher conforme al procedimiento establecido:

Se realiza el cálculo de la varianza correspondiente a los datos observados y estimados.

$$S_1^2(x) = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2$$

$$S_1^2(x) = 2639.652$$

$$S_2^2(x) = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2$$

$$S_2^2(x) = 2251.225$$

### Cálculo del F calculado ( $F_c$ )

El estadístico F se calcula como la razón entre las varianzas. Dependiendo de cuál varianza sea mayor, el cálculo se ajusta según la ecuación 2.8.

Como:  $S_1^2(x) > S_2^2(x)$ , entonces:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}$$

$$F_c = 1.17254$$

### Cálculo del valor tabulado de F ( $F_f$ ) según tablas:

Para:  $\alpha = 0.05$

Como:  $S_1^2(x) > S_2^2(x)$ , entonces:

$$GLN = n_1 - 1 = 263$$

$$GLD = n_2 - 1 = 263$$

Se obtiene de la tabla de f de Fisher:  $F_t = 1.225$

### Probabilidad de decisión:

Como:  $F_c = 1.17254 < F_t = 1.228$  (95%) entonces:  $S_1(x) = S_2(x)$ , se deduce que las desviaciones estándar son estadísticamente equivalentes.

En consecuencia, la información proveniente de estos dos tipos de datos **no debe ser modificada**.

En resumen, en este caso para los datos observados y estimados RAIN4PE en la estación San Pedro de Cachi, podemos deducir que tanto la media y la desviación estándar cumplen que estos son similares y no deben ser corregidos de acuerdo a los resultados de las pruebas “t” y “F”; por lo que también se puede confirmar que ambos datos no presentan saltos.

Viendo el análisis de los datos observados y estimados, obtenemos un resultado estadísticamente que ambos son similares o semejantes y no necesitan ser corregidos. Podemos decir que los datos estimados por RAIN4PE son semejantes a los registrados.

## B. Estadísticas de comparación por pares

La evaluación de comparación de pares para los datos observados y estimados es esencial, dado que mediante este análisis se verificarán las hipótesis propuestas en este estudio académico.

- **Coefficiente de eficiencia (CE)**

La comprobación de la hipótesis se llevará a cabo mediante la aplicación del coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE). El intervalo de ajuste crítico se extiende desde  $-\infty$  (ajuste inadecuado) hasta 1 (ajuste óptimo). Este criterio se emplea habitualmente en la valoración de los modelos hidrológicos.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} = 0.594$$

A partir de este valor de **NSE = 0.594**, se puede inferir conforme a la tabla 4, que establece que valores que superan a 0.4 se consideran ajuste Bueno.

- **Coefficiente de Pearson (R)**

Se tiene:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} = 0.79$$

Con el valor de **R = 0.79** podemos decir, según la tabla 5, existe una **correlación positiva alta** entre los datos observados y simulados.

Se aplicaron estadísticas de comparación entre la información observada y la estimada por RAIN4PE en todas las estaciones. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 10.** Resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a las estaciones de la cuenca

Estación	T de Student	F de Fisher	NSE	R de Person
Wayllapampa	1.403	0.728	0.385	0.758
San Pedro de Cachi	1.103	1.173	0.594	0.788
La Quinoa	1.021	1.224	0.578	0.776
Huanta	1.461	1.071	0.602	0.803
INIA-CANAN	3.093	0.658	0.314	0.781
Allpachaca	0.859	0.578	0.368	0.801
Apacheta	3.385	1.267	0.586	0.818
Chiara	0.046	1.014	0.600	0.799
Choccoro	1.195	1.077	0.576	0.786
Tambillo	0.887	0.875	0.550	0.795

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la prueba t-Student y la prueba F de Fisher mostraron que, en la mayoría de estaciones, no existen diferencias significativas en las medias y varianzas de los datos observados y simulados, destacando la similitud estadística entre ambas fuentes.

En cuanto al coeficiente NSE, los valores oscilaron entre 0.314 (INIA-CANAN) y 0.602 (Huanta), indicando un ajuste de moderado a bueno en varias estaciones, especialmente en Huanta, Chiara y San Pedro de Cachi. Por su parte, el valor de correlación de Pearson fue elevado en todas las estaciones (entre 0.758 y 0.818), reflejando una alta correlación temporal entre las series de datos observadas y simuladas.

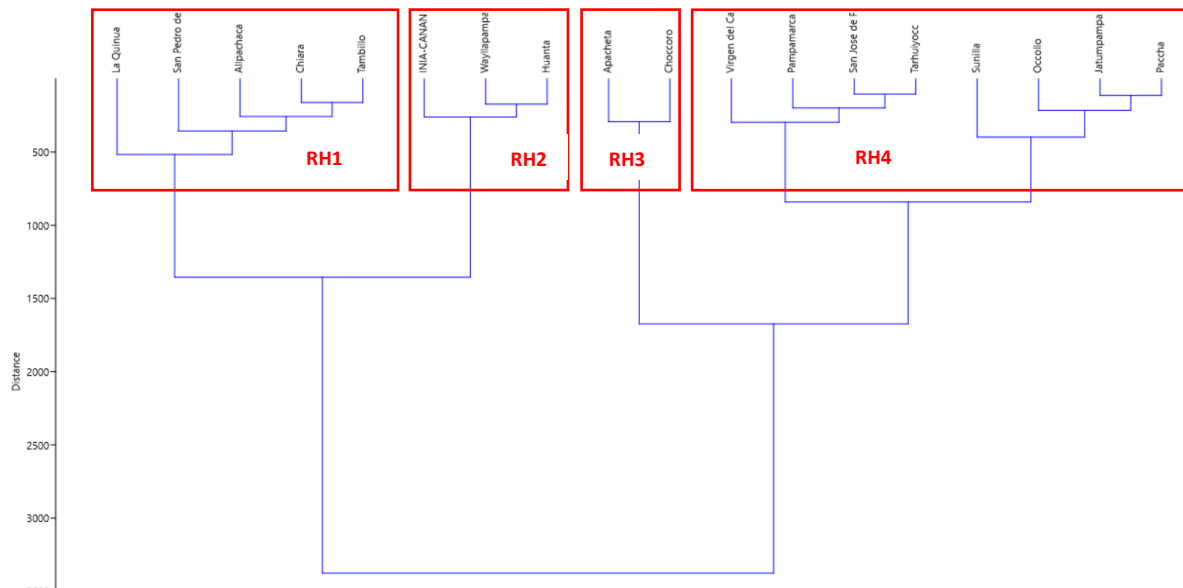
Estos resultados evidencian que el producto RAIN4PE, representa de manera efectiva la precipitación mensual en la cuenca, siendo adecuado para estudios climáticos e hidrológicos en zonas con limitada información observada.

Además, estudios previos confirman esta robustez: Fernandez et al. (2022), reportaron que RAIN4PE superó otros productos *gridded* en simulaciones hidrológicas en cuencas de Perú y Ecuador, demostrando un rendimiento superior en la simulación tanto de caudales bajos como extremos

### 3.1.5 Formación de regiones homogéneas

Se utilizaron datos observados y estimados de precipitación espacial (RAIN4PE) en 18 puntos de registro dentro de la cuenca de estudio para definir regiones homogéneas mediante el Método del Vector Regional (MVR) con HYDRACCESS. Como primer paso, se aplicó el método de agrupación de Ward para llevar a cabo una categorización preliminar de las estaciones, considerando variables estandarizadas como precipitación media anual, la altitud, la latitud y la longitud, dando mayor peso a la precipitación. El resultado se visualiza en un

dendrograma, a partir del cual se identificaron cuatro regiones homogéneas preliminares, según el nivel de similitud entre los puntos.



**Figura 16.** Dendrograma utilizando el método de Ward

Fuente: Elaboración propia

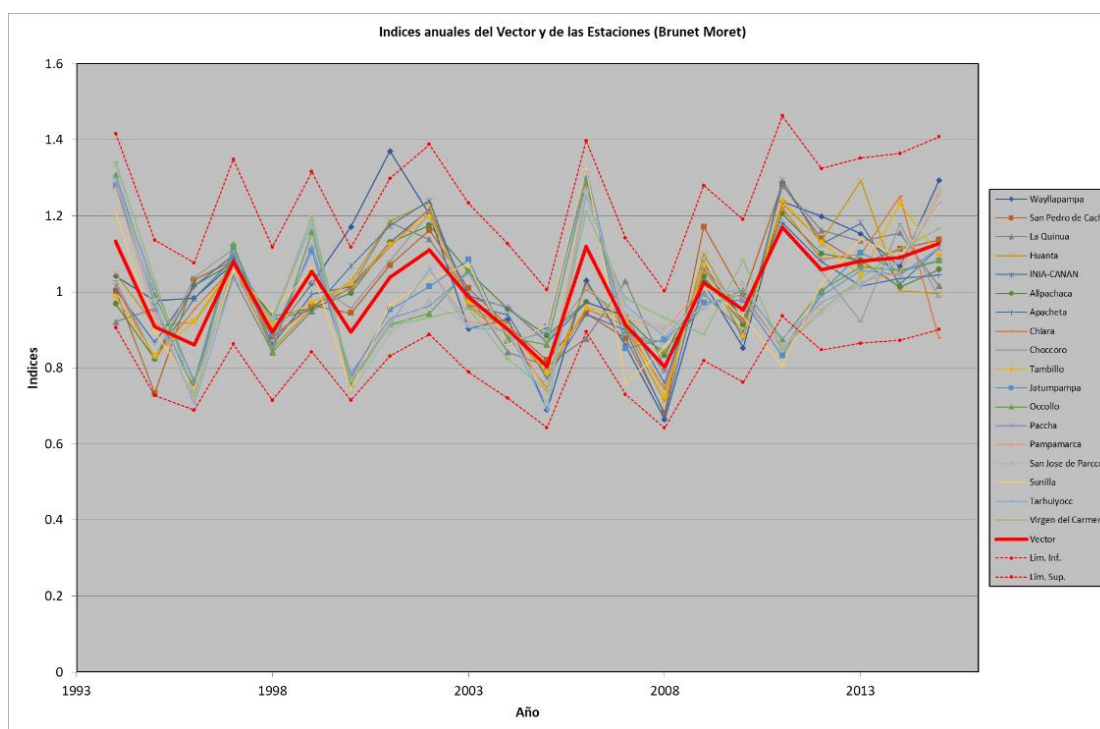
La distribución espacial del primer clúster de estaciones, realizado mediante el método de Clúster de Ward, permitió identificar cuatro grupos. El grupo 1 incluye estaciones como La Quinoa, San Pedro de Cachi, Allpachaca, Chiara y Tambillo. El grupo 2 abarca la zona baja de la cuenca, caracterizada por menor precipitación, con estaciones como INIA-CANAN, Wayllapampa y Huanta. En el grupo 3 se encuentran las estaciones de mayor altitud: Apacheta y Choccoro. Finalmente, el grupo 4 está compuesto por las estaciones restantes, incluyendo Virgen del Carmen, Pampamarca, San José de Parcco, entre otras.

Como segundo paso, se utilizó el Método del Vector Regional (MVR) para validar si las agrupaciones definidas preliminarmente constituyen regiones homogéneas. Este análisis incluye la evaluación de tres características clave: la correlación (CC) entre las estaciones y el vector regional, la desviación estándar de las desviaciones (DED), y la gráfica de suma de índices anuales, útil para detectar posibles inconsistencias en los datos. Además, se considera la calidad de las estaciones, cuyo puntaje varía de 0 a 10.

Rau et al. (2017), afirman que un área se considera homogénea si las estaciones presentan  $DED < 0.104$  y  $CC > 0.7$ . Cabe señalar que una de las regiones preliminares solo agrupa dos estaciones, lo cual no cumple con el mínimo requerido por HYDRACCESS (tres estaciones). Por ello, inicialmente se realizó un análisis del vector regional considerando todas las

estaciones como una sola región, permitiendo evaluar el comportamiento de los puntos que no pueden analizarse individualmente.

Los resultados preliminares del MVR, mostrados en la figura 17, y los valores detallados de DED y CC en la tabla 11, confirman la homogeneidad de las estaciones examinadas. Asimismo, en la figura 18 demuestra una adecuada consistencia en los datos de las estaciones de Apacheta y Chocccoro sin cambios bruscos de pendiente, lo que refuerza la confiabilidad del análisis realizado.



**Figura 17.** Resultados de MVR para todas las estaciones

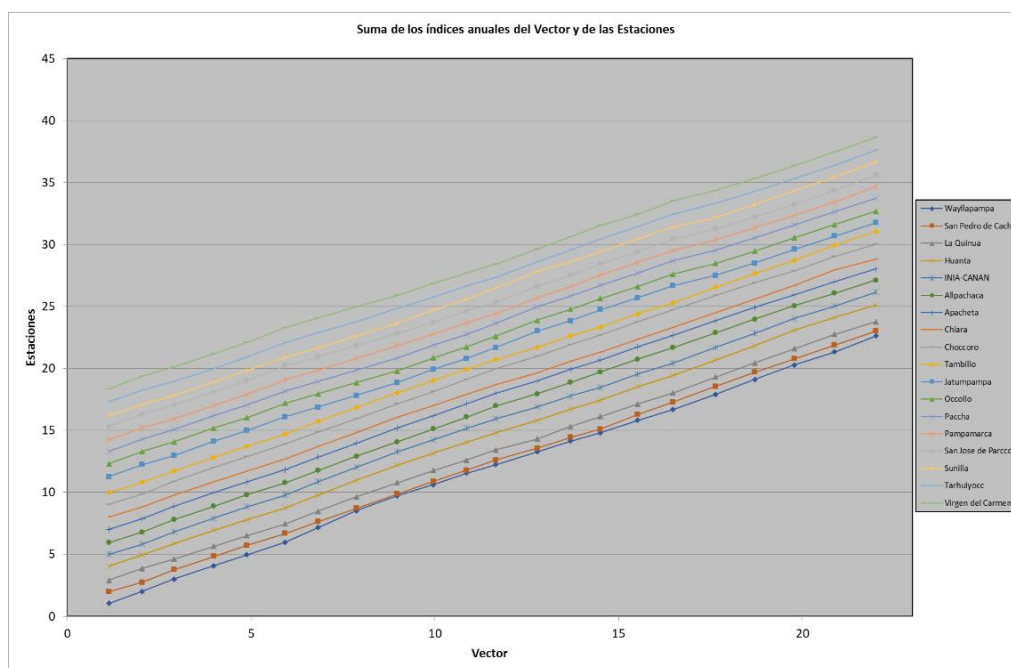
Fuente: Elaboración propia – Software Hydracces

**Tabla 11.** Resultados de las características significativas de todos los puntos de registro

<b>Id Estación</b>	<b>N° Años</b>	<b>Coef. Variación</b>	<b>D.E. Desvíos</b>	<b>Homogeneidad B.M.</b>	<b>Correl. /Vector</b>	<b>Calidad (/10)</b>	<b>Evaluación (/10)</b>
Wayllapampa	22	0.176	0.125	0.104	0.735	9.3	7.3
San Pedro de Cachi	22	0.147	0.091	0.695	0.775	9.5	9.1
La Quinua	22	0.144	0.103	0.584	0.689	9	9
Huanta	22	0.15	0.092	0.567	0.785	9.7	9.7
INIA-CANAN	22	0.151	0.097	0.39	0.759	9.2	9.2
Allpachaca	22	0.101	0.081	0.183	0.705	9.4	9.4
Apacheta	22	0.108	0.076	0.125	0.75	9.6	9.6
Chiara	22	0.14	0.094	0.638	0.728	9.5	9.5
Choccoro	22	0.111	0.081	0.267	0.727	9.5	9.5
Tambillo	22	0.137	0.08	0.614	0.804	9.5	9.5

Jatumpampa	22	0.147	0.11	0.589	0.653	9	9
Occollo	22	0.151	0.11	0.645	0.671	9.2	9.2
Paccha	22	0.149	0.112	0.548	0.642	9.2	9.2
Pampamarca	22	0.161	0.11	0.653	0.711	9	9
San Jose de Parcco	22	0.171	0.124	0.496	0.663	9	9
Sunilla	22	0.161	0.115	0.708	0.678	9.2	9.2
Tarhuiyocc	22	0.164	0.11	0.659	0.725	8.9	8.9
Virgen del Carmen	22	0.164	0.128	0.53	0.6	8.7	8.7

Fuente: Elaboración propia con el software Hydracces



**Figura 18.** Suma de los índices anuales del vector y de las estaciones

Fuente: Elaboración propia – Software Hydracces

Según lo mostrado en la figura 17, la región 3, conformada por las estaciones Apacheta y Choccoro, presenta un comportamiento coherente con el vector regional, evidenciando incrementos y descensos similares en los mismos periodos. Los valores de DED obtenidos (0.076 y 0.081) indican una proximidad adecuada al vector, como se observa en la tabla 3.5. Los coeficientes de correlación ( $CC = 0.750$  y  $0.727$ ) superan el umbral de 0.7, validando su inclusión dentro de la regionalización preliminar. Además, la figura 18 muestra que no existen quiebres abruptos en las gráficas de doble acumulación, lo que indica la consistencia de datos y ausencia de errores significativos, confirmando así la validez de esta región homogénea.

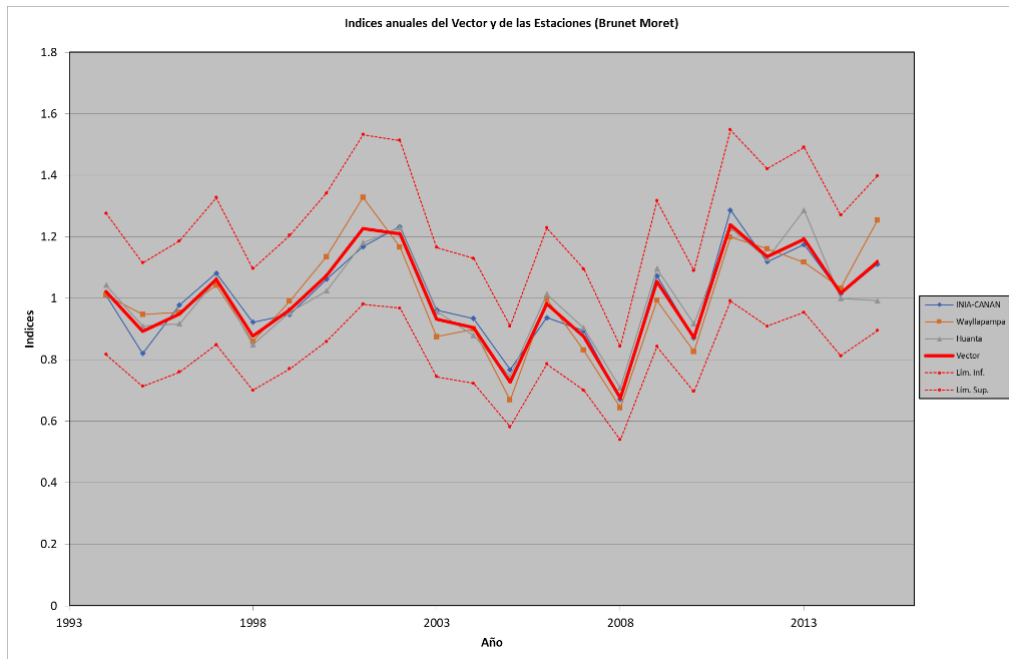
En cuanto a la regionalización general, se identificaron tres regiones homogéneas adicionales que sí cumplen con los requisitos mínimos del programa HYDRACCES: la región 1 con cinco estaciones, la región 2 con tres y la región 4 con ocho. Estas regiones permiten el cálculo confiable del vector regional, y en los resultados preliminares se verifica que las estaciones

se ajustan a los límites superiores e inferiores del vector, lo que respalda la calidad de la información registrada.



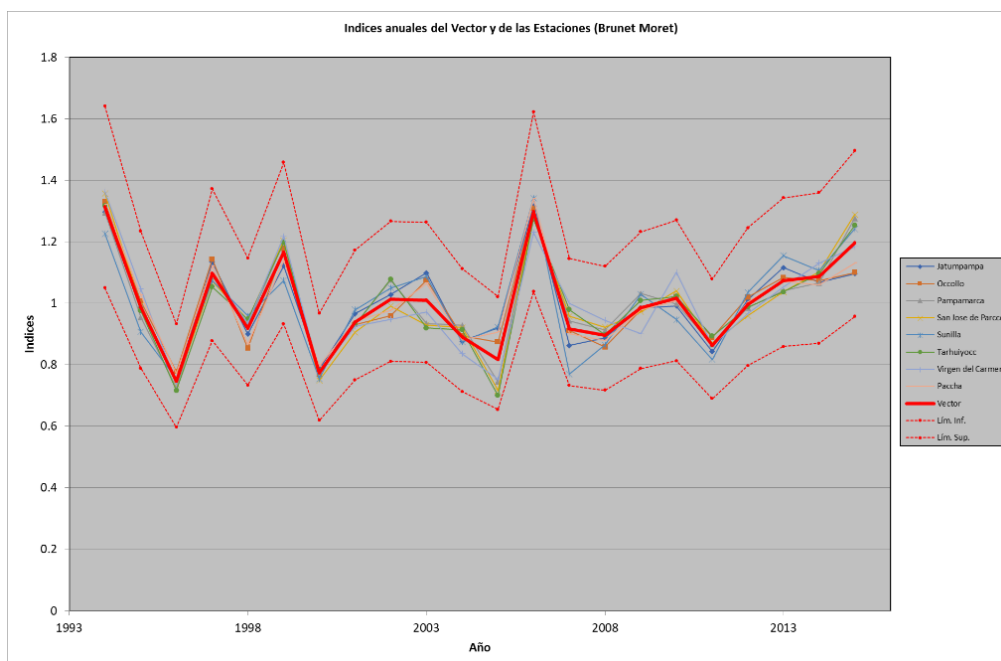
**Figura 19.** Resultados de MVR para la región 1

Fuente: Elaboración propia – Software Hydracces



**Figura 20.** Resultados de MVR para la región 2

Fuente: Elaboración propia – Software Hydracces



**Figura 21.** Resultados de MVR para la región 4

Fuente: Elaboración propia – Software Hydraces

También se analizaron los atributos de las regiones 1, 2 y 4. En la región 1, los valores de DED se encuentran entre 0.028 y 0.064, cumpliendo con el criterio establecido ( $<0.104$ ) para considerar una región homogénea. Asimismo, los valores de correlación (CC) varían entre 0.889 y 0.981, superando ampliamente el umbral de 0.7, lo que permite validar la agrupación preliminar propuesta por el método de Clúster de Ward.

De igual forma, en la región 2 se obtuvo un DED entre 0.032 y 0.053, y una CC entre 0.954 y 0.977, valores que ratifican la homogeneidad del grupo. En el caso de la región 4, los DED se sitúan entre 0.035 y 0.064, también dentro del rango aceptable, mientras que la CC oscila entre 0.916 y 0.972, con una alta consistencia entre estaciones. Estos resultados respaldan la validez de la regionalización preliminar definida mediante el agrupamiento jerárquico.

**Tabla 12.** Resultados de las características importantes de la región homogénea 1

Id Estación	Nº Años	Coef. Variación	D.E. Desvíos	Homogeneidad B.M.	Correl. /Vector	Calidad (/10)	Evaluación (/10)
La Quinoa	22	0.144	0.064	0.745	0.889	9.6	7.5
San Pedro de Cachi	22	0.147	0.054	0.518	0.929	9.8	9.3
Allpachaca	22	0.101	0.047	0.061	0.932	9.8	9.7
Chiara	22	0.14	0.045	1	0.946	9.9	9.9
Tambillo	22	0.137	0.028	0.238	0.981	9.9	9.9

Fuente: Elaboración propia – Software Hydraces

**Tabla 13.** Resultados de las características importantes de la región homogénea 2

<b>Id Estación</b>	<b>N° Años</b>	<b>Coef. Variación</b>	<b>D.E. Desvíos</b>	<b>Homogeneidad B.M.</b>	<b>Correl. /Vector</b>	<b>Calidad (/10)</b>	<b>Evaluación (/10)</b>
Wayllapampa	22	0.176	0.053	0.09	0.954	9.8	9.4
Huanta	22	0.15	0.043	0.12	0.958	9.9	9.8
INIA-CANAN	22	0.151	0.032	0.676	0.977	9.9	7.7

Fuente: Elaboración propia – Software Hydracces

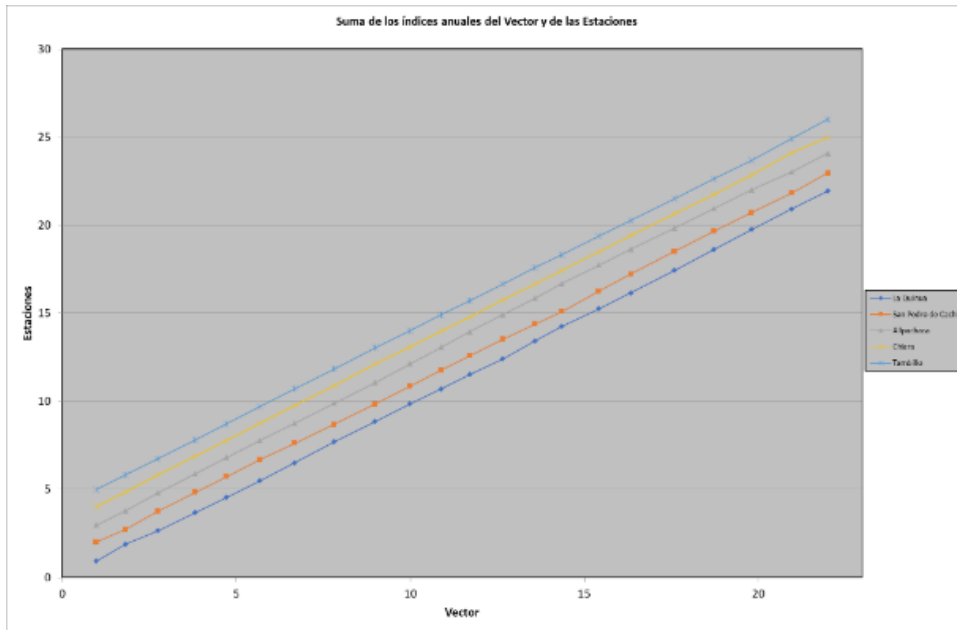
**Tabla 14.** Resultados de las características importantes de la región homogénea 4

<b>Id Estación</b>	<b>N° Años</b>	<b>Coef. Variación</b>	<b>D.E. Desvíos</b>	<b>Homogeneidad B.M.</b>	<b>Correl. /Vector</b>	<b>Calidad (/10)</b>	<b>Evaluación (/10)</b>
Jatumpampa	22	0.147	0.043	0.192	0.958	9.9	7.8
Occollo	22	0.151	0.038	0.843	0.968	9.9	9.5
Pampamarca	22	0.161	0.038	0.985	0.971	9.9	9.8
San Jose de Parcco	22	0.171	0.042	0.213	0.971	9.9	9.9
Sunilla	22	0.161	0.064	0.635	0.916	9.7	9.7
Tarhuiyocc	22	0.164	0.044	0.787	0.962	9.8	9.8
Virgen del Carmen	22	0.164	0.049	0.207	0.951	9.9	9.9
Paccha	22	0.149	0.035	0.417	0.972	9.9	9.9

Fuente: Elaboración propia – Software Hydracces

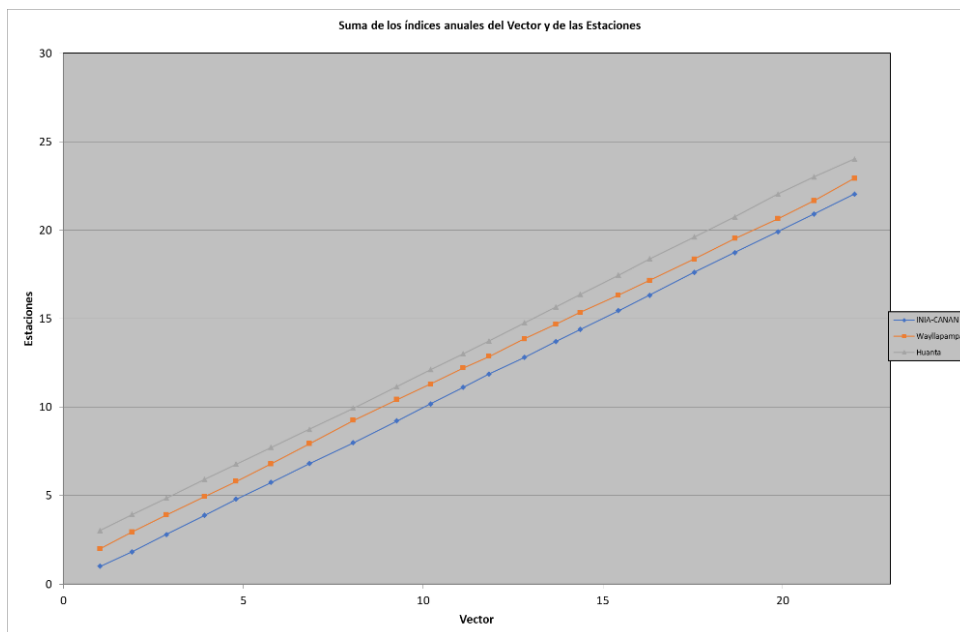
Como conclusión del estudio preliminar de regionalización utilizando el Método del Vector Regional (MVR), también se evaluaron los gráficos agregados de los índices anuales para el vector y cada estación. En el caso de la región 1, no se evidencian cambios significativos de pendiente, lo que indica una adecuada consistencia en la información registrada por las estaciones, descartando la necesidad de aplicar correcciones.

De manera similar, en la región 2, las gráficas no presentan quiebres abruptos, lo cual confirma la coherencia de los datos y refuerza la validez de la agrupación. Finalmente, en la región 4 tampoco se observaron variaciones bruscas en las pendientes, lo que demuestra que la información de cada estación es consistente y confiable, sin requerir ajustes adicionales.



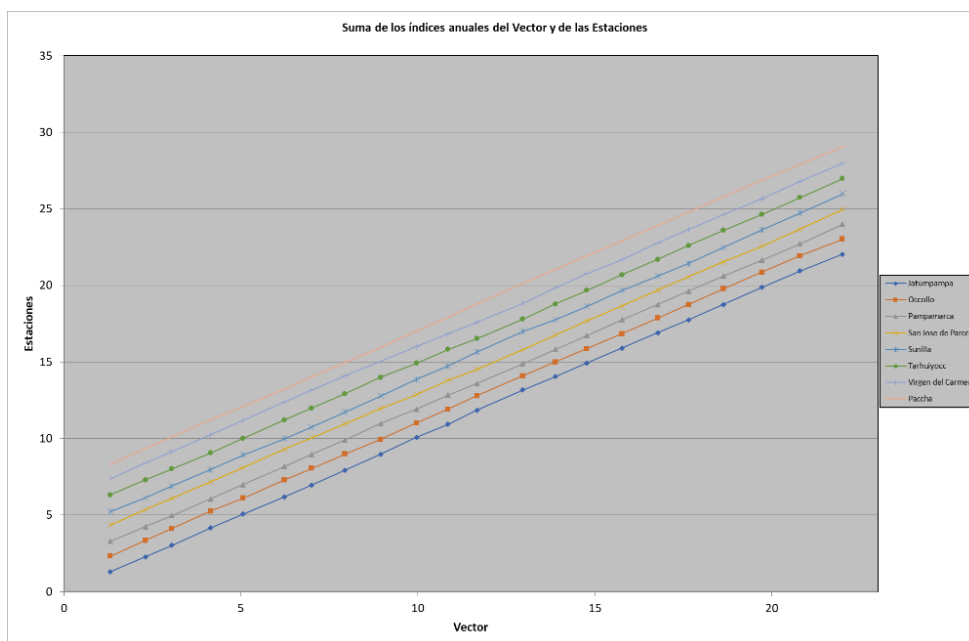
**Figura 22.** Sumatoria de los índices anuales del vector y de las estaciones correspondientes a la región 1

Fuente: Elaboración propia – Software Hydracces



**Figura 23.** Sumatoria de los índices anuales del vector y de las estaciones correspondientes a la región 2

Fuente: Elaboración propia – Software Hydracces



**Figura 24.** Sumatoria de los índices anuales del vector y de las estaciones correspondientes a la región 4

Fuente: Elaboración propia – Software Hydracces

En consecuencia, se delimitaron cuatro zonas homogéneas basándose en la categorización inicial utilizando la técnica de agrupación de Ward. Esta delimitación fue posteriormente validada mediante el cálculo del Vector Regional (MVR). Para definir espacialmente cada región, se utilizó el método de isoyetas.

Las regiones identificadas son las siguientes:

- **Región 1:** Precipitación Media Anual (PMA) de 738 mm. Agrupa las estaciones La Quinoa, San Pedro de Cachi, Allpachaca, Chiara y Tambillo.
- **Región 2:** PMA de 550 mm. Incluye las estaciones INIA-CANAN, Wayllapampa y Huanta, ubicadas en la parte baja de la cuenca, caracterizada por una menor cantidad de precipitaciones.
- **Región 3:** PMA de 1053 mm. Conformada por Apacheta y Choccoro, localizadas en la zona alta de la cuenca, siendo la región más húmeda del área de estudio.
- **Región 4:** PMA de 869 mm. Incluye ocho estaciones: Virgen del Carmen, Pampamarca, San José de Parcco, Tarhuiyocc, Sunilla, Occollo, Jatumpampa y Paccha. Esta región presenta precipitaciones moderadas.

### **3.1.6 Resultados del análisis de los indicadores de sequía en diferentes escalas temporales**

Diversos sistemas de naturaleza hidrológica, ecológica y agrícola muestran respuestas distintas a las sequías climáticas en distintos periodos temporales. En consecuencia, el SPI y el SPEI se calculan en intervalos de tiempo que van de 1 a 48 meses. Se utilizaron datos mensuales de precipitación y temperaturas máximas y mínimas desde 1994 hasta 2015 para la cuenca del río Cachi, la cual consta de cuatro secciones homogéneas. Los índices SPI y SPEI se desarrollaron para medir la escasez de precipitaciones, lo que permite una evaluación más precisa de los efectos de la sequía en diferentes elementos del ciclo hidrológico.

En escalas cortas (1, 3 y 6 meses), estos índices son útiles para detectar sequías agrícolas, ya que los niveles de humedad del suelo reaccionan rápidamente a las anomalías de precipitación. En contraste, escalas más largas (desde 9 hasta 48 meses) son más apropiadas para analizar sequías hidrológicas, afectando reservas subterráneas, escorrentía y almacenamiento en embalses.

De acuerdo con la recomendación inicial de Mckee et al. (1993), esta investigación utilizó las escalas de 1, 3, 6, 9 y 12 meses para el análisis de sequía meteorológica. Asimismo, se plantea la aplicación del índice SPEI para evaluar escenarios futuros de sequía durante el periodo 2020–2100, incorporando los efectos de la temperatura en el balance hídrico, lo cual es crucial en el contexto del cambio climático.

En este sentido, el uso conjunto del SPI y SPEI caracterizan los eventos de sequía en cada región homogénea, considerando su duración, intensidad, severidad y probabilidad de ocurrencia.

#### **3.1.6.1 Problemas relacionados con el SPI y el SPEI en la cuenca del río Cachi**

Para ilustrar los resultados obtenidos con los índices SPI y SPEI en la cuenca del río Cachi, se presentan a continuación los análisis correspondientes a dos regiones homogéneas designadas: la región 3, caracterizada por su alto nivel de humedad y marcada presencia de precipitaciones; y la región 2, reconocida como la zona más seca del estudio debido a su clima. En cuanto a las regiones 1 y 4, sus resultados no presentan contrastes climáticos tan pronunciados, por lo que se incluirán en los anexos del documento para su consulta complementaria.

##### **3.1.6.1.1 Evaluación del SPI para las regiones homogéneas 2 y 3**

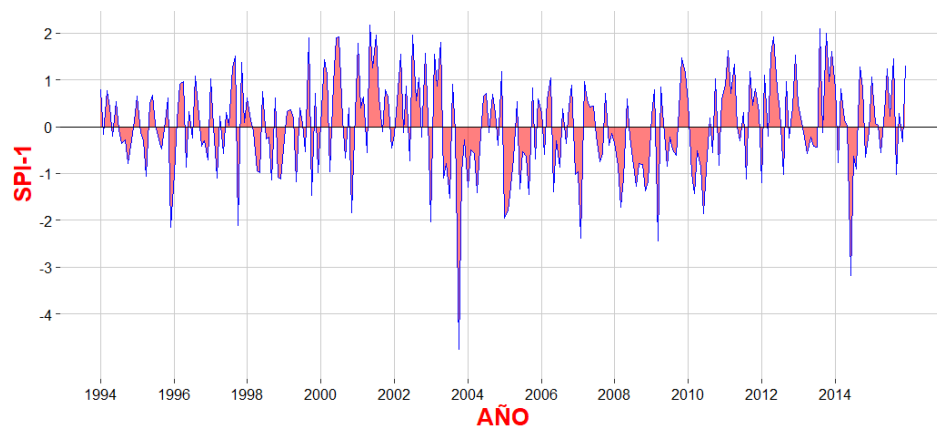
Los siguientes gráficos examinan las ocurrencias de sequía identificadas utilizando el SPI en varias escalas temporales: 1, 3, 6, 9 y 12 meses, considerando como ejemplo las regiones 2

y 3. Este análisis permite observar el comportamiento de las sequías en contextos climáticos contrastantes dentro de la cuenca.

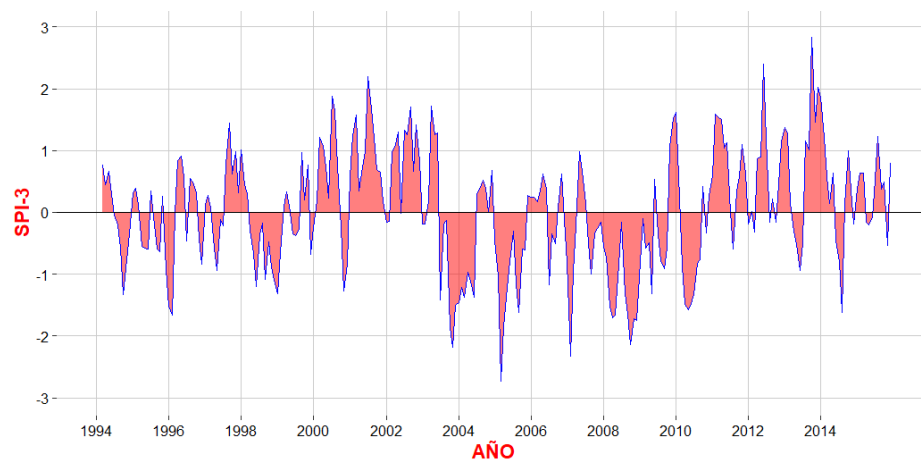
La tabla 15 ofrece un resumen comparativo de las sequías más severas registradas entre 1994 y 2015 en las cuatro regiones homogéneas. Se incluyen indicadores esenciales, como el recuento de ocurrencias, la duración máxima (en meses), la intensidad máxima y la gravedad extrema, lo que facilita la evaluación y comparación del efecto de la sequía en las distintas regiones.

**a. Análisis SPI en periodos de tiempo de 1, 3, 6, 9 y 12 meses de la región homogénea 2.**

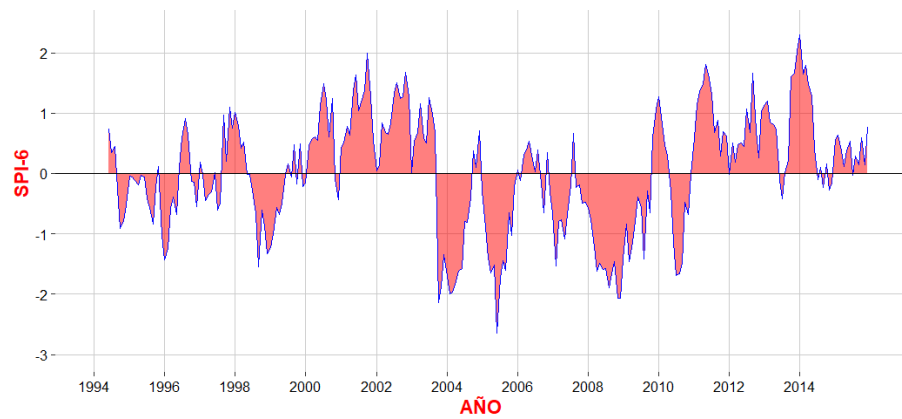
**a) SPI - 1 mes**



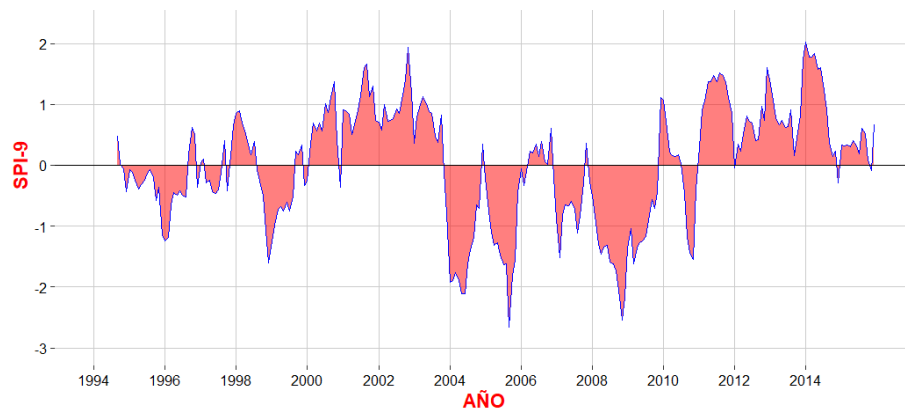
**b) SPI - 3 meses**



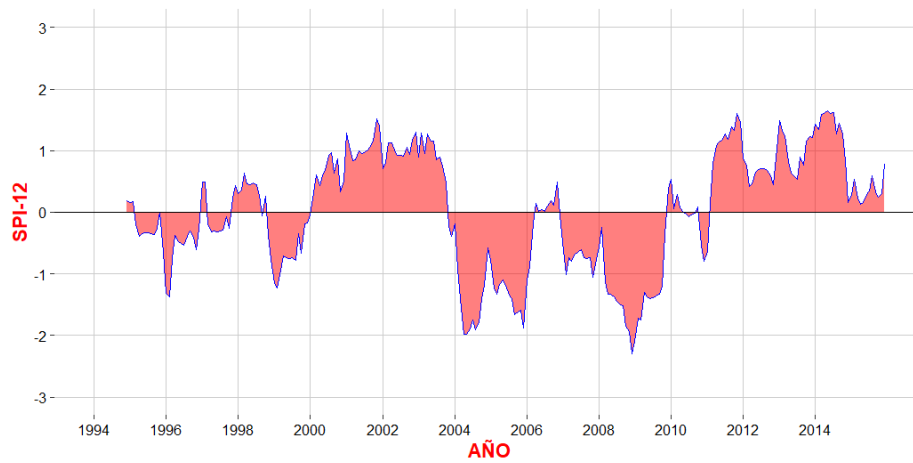
**c) SPI - 6 meses**



**d) SPI - 9 meses**



**e) SPI - 12 meses**

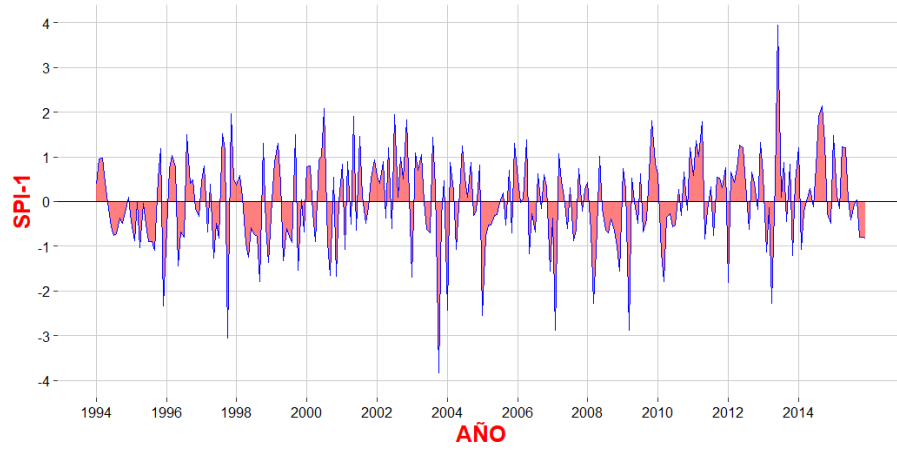


**Figura 25.** Estimación del SPI para la región homogénea 2 a escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses

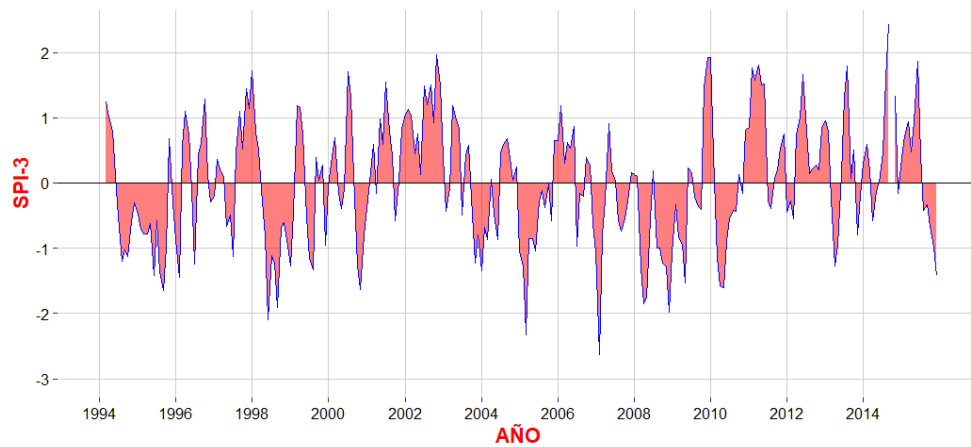
Fuente: Elaboración propia

**b. Análisis SPI en periodos de tiempo de 1, 3, 6, 9 y 12 meses en la región homogénea**  
**3.**

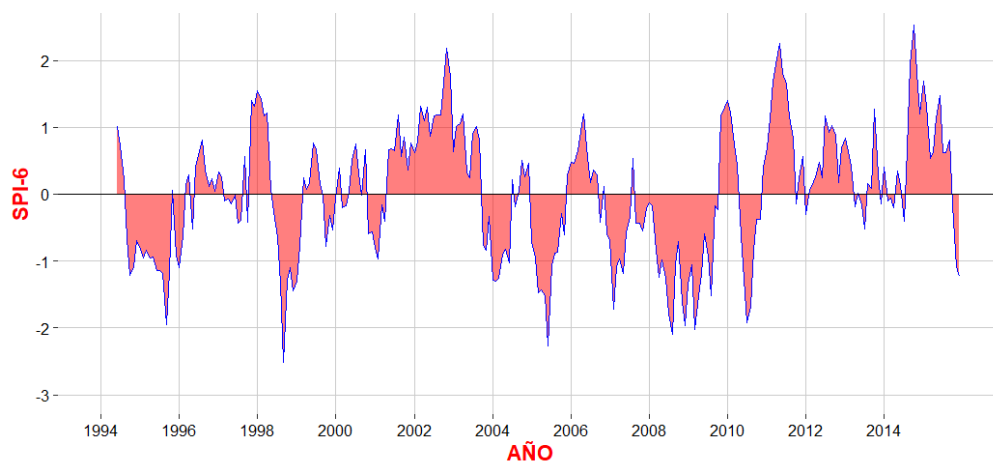
**a) SPI - 1 mes**

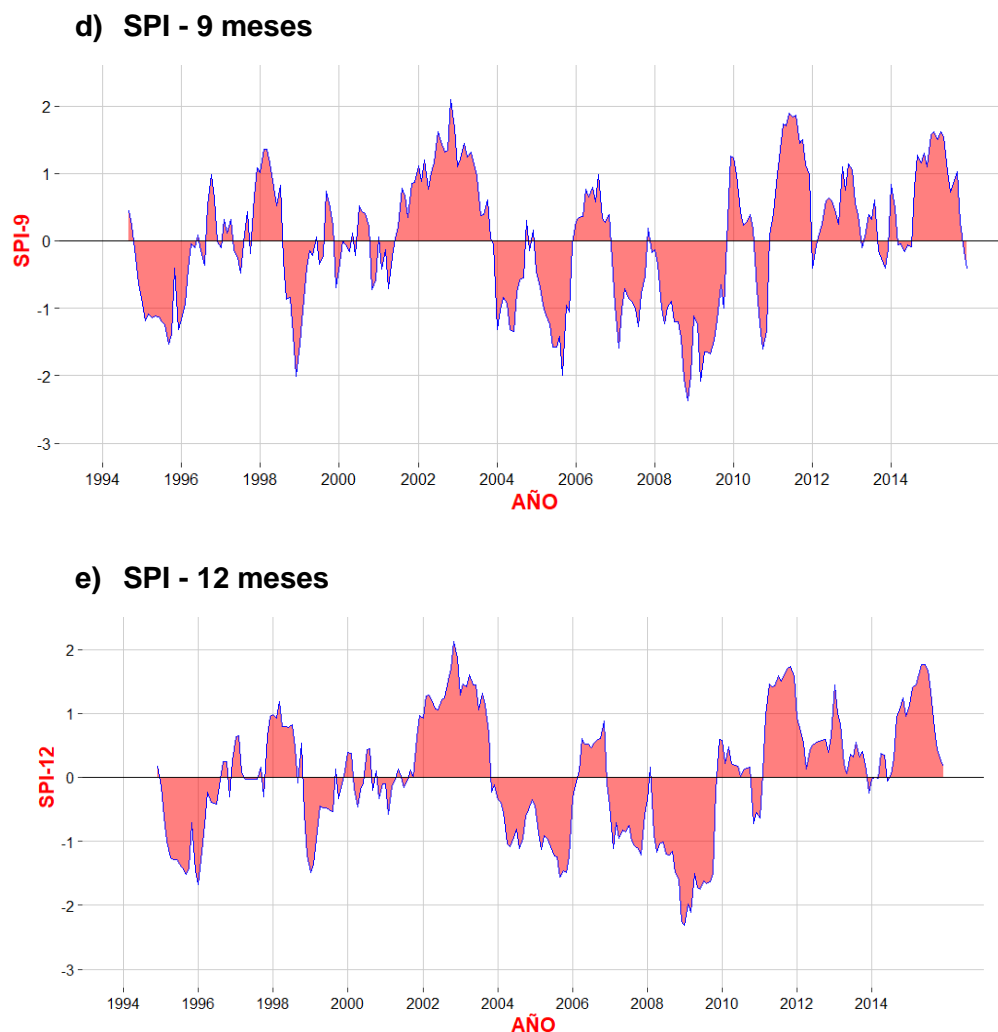


**b) SPI - 3 meses**



**c) SPI - 6 meses**





**Figura 26.** Estimación del SPI para la región homogénea 3 a escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses

Fuente: Elaboración propia

Los datos para las escalas de 1, 3, 6, 9 y 12 meses se muestran para las regiones 2 y 3, ilustrando la fluctuación del índice SPI a través de diferentes ventanas. En intervalos de tiempo breves (SPI-1 y SPI-3), el SPI a menudo fluctúa alrededor de cero en ambas áreas. El SPI-3 demuestra un considerable efecto mensual, permitiendo la detección de rápidas fluctuaciones en los valores, tanto al alza como a la baja.

A medida que la escala temporal se amplía, la influencia de cada mes disminuye y las oscilaciones del SPI se vuelven más suaves, mostrando una respuesta más lenta a las diferencias de precipitación. En periodos de tiempo intermedios (SPI-6 y SPI-9), el SPI-6 sirve como un predictor efectivo de la precipitación durante toda la temporada de lluvias, pero el SPI-9, con valores inferiores a -1,5, indica de manera fiable sequías agrícolas. Estas escalas también muestran una disminución en la duración de los valores positivos y negativos, pero con intervalos más amplios.

En cuanto al SPI-12, para la región 2, se identificaron cinco episodios de sequías severas en el período 1994-2015, en los años 1998, 2004, 2005, 2008 y 2009. Para la región 3, que es la más seca dentro de la cuenca del río Cachi, se identificaron sequías significativas en 1997, 1998, 2005, 2008 y 2009. El análisis con el SPI-12 permite capturar sequías multianuales, que están estrechamente relacionadas con las variaciones de los caudales, los niveles de los reservorios y las aguas subterráneas.

Se ha creado una tabla resumen que describe las características principales de las sequías en las cuatro áreas homogéneas, basándose en los datos de las figuras anteriores. Esta tabla presenta información sobre el número de incidentes, el inicio y el fin de las sequías, su duración máxima en meses, los picos de intensidad y severidad, así como los años en los que ocurrieron.

**Tabla 15.** Atributos de las sequías SPI más severas que ocurrieron en cada región homogénea desde el 1994 hasta 2015

Región	SPI-escala	Duración (meses)	Intensidad	Severidad	Inicio	Fin
Región 1	SPI-1	2	-1.88	-2.99	01/03/2008	01/04/2008
	SPI-3	5	-1.93	-8.66	01/11/2003	01/03/2004
	SPI-6	6	-2.23	-11.55	01/01/2004	01/06/2004
	SPI-9	9	-2.19	-15.89	01/01/2004	01/09/2004
	SPI-12	12	-1.99	-16.28	01/04/2008	01/03/2009
Región 2	SPI-1	3	-1.96	-5.05	01/01/2005	01/03/2005
	SPI-3	6	-2.14	-9.61	01/08/2008	01/01/2009
	SPI-6	11	-2.07	-18.04	01/03/2008	01/01/2009
	SPI-9	17	-2.54	-26.17	01/03/2008	01/07/2009
	SPI-12	20	-2.29	-30.61	01/03/2008	01/10/2009
Región 3	SPI-1	2	-2.28	-3.38	01/03/2008	01/04/2008
	SPI-3	4	-2.09	-6.33	01/06/1998	01/09/1998
	SPI-6	7	-2.03	-10.72	01/11/2008	01/05/2009
	SPI-9	14	-2.37	-22.28	01/07/2008	01/08/2009
	SPI-12	19	-2.31	-29.92	01/04/2008	01/10/2009
Región 4	SPI-1	3	-3.75	-6.78	01/02/2000	01/04/2000
	SPI-3	4	-2.78	-9.85	01/01/2003	01/04/2003
	SPI-6	6	-2.83	-13.83	01/02/2003	01/07/2003
	SPI-9	8	-2.33	-16.09	01/02/2003	01/09/2003
	SPI-12	12	-1.93	-18.57	01/01/2005	01/12/2005

Fuente: Elaboración propia

La tabla 15 examina los atributos de las sequías más severas por región homogénea, evaluadas a lo largo de los periodos de tiempo de 1, 3, 6, 9 y 12 meses. La región 4 tuvo la

sequía más intensa a corto plazo, con una intensidad de -3.75 y una severidad de -6.78 durante un episodio que duró 3 meses. Por otro lado, la región 1 presentó una sequía de 2 meses con intensidad de -1.88 y severidad de -2.99, que refleja una sequía moderada. Las regiones 2 y 3 experimentaron sequías de 3 meses, con intensidades de -1.96 y -2.28, respectivamente, y severidades de -5.05 y -3.38, indicando eventos moderados, pero de menor gravedad que en la región 4.

Respecto a las sequías a largo plazo, la región 2 registró los eventos más prolongados, con una sequía de 20 meses que presentó una intensidad de -2.29 y una severidad de -30.61, indicando una sequía extremadamente grave. La región 3 también mostró una sequía prolongada de 19 meses con intensidad de -2.31 y severidad de -29.92, lo que refleja un evento igualmente severo. En la región 1, la sequía más larga se presentó en la escala SPI-12, persistió durante 12 meses, con una intensidad de -1.99 y severidad de -16.28, siendo moderada en comparación con las otras regiones. La región 4 experimentó una sequía de 12 meses con una intensidad de -1.93 y severidad de -18.57, reflejando también un evento moderado.

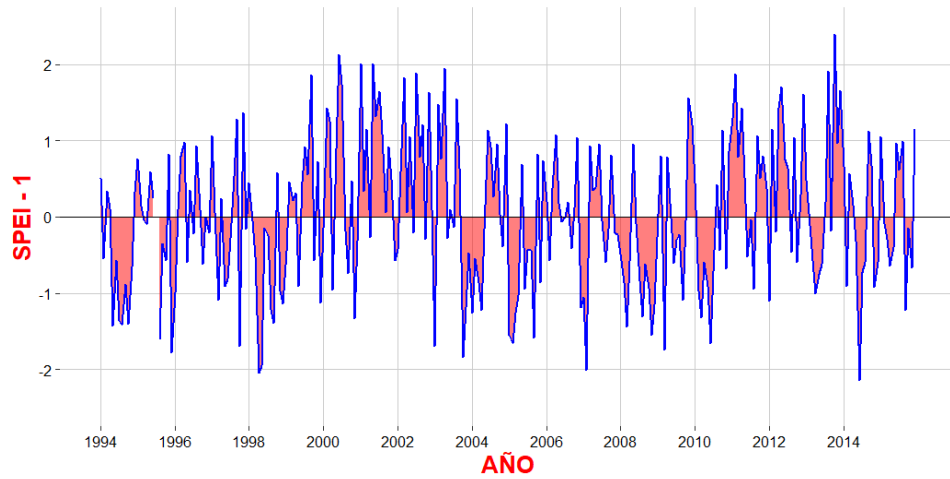
En resumen, a corto plazo, la región 4 presentó la sequía más intensa, aunque de corta duración, mientras que las regiones 2 y 3 tuvieron eventos de mayor duración, pero con menor intensidad y severidad. A largo plazo, las regiones 2 y 3 fueron las más afectadas por sequías prolongadas y severas, con la región 2 siendo la que experimentó los eventos más largos y graves, mientras que la región 1 y la región 4 tuvieron sequías más moderadas tanto en intensidad como en severidad.

#### **3.1.6.1.2 Evaluación del SPEI para las regiones homogéneas 2 y 3**

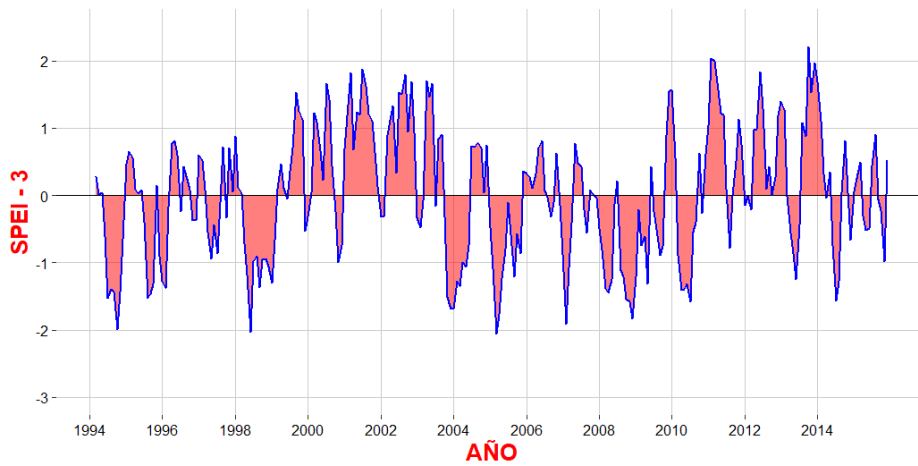
Otro índice significativo es el SPEI, que incorpora el enfoque del SPI junto con la temperatura y la evapotranspiración potencial en su evaluación. Los resultados se muestran en los gráficos siguientes, que representan la frecuencia y las características de las sequías en diferentes periodos de tiempo de 1, 3, 6, 9 y 12 meses, utilizando las áreas homogéneas 2 y 3 como estudios de caso. En una tabla resumen se presentan los resultados de las sequías más extremas que ocurrieron entre 1994 y 2015, incluyendo el número de casos, la duración máxima en meses, las intensidades y severidades máximas, así como los años en que ocurrieron.

a. Análisis SPEI en periodos de tiempo de 1, 3, 6, 9 y 12 meses en la región homogénea 2.

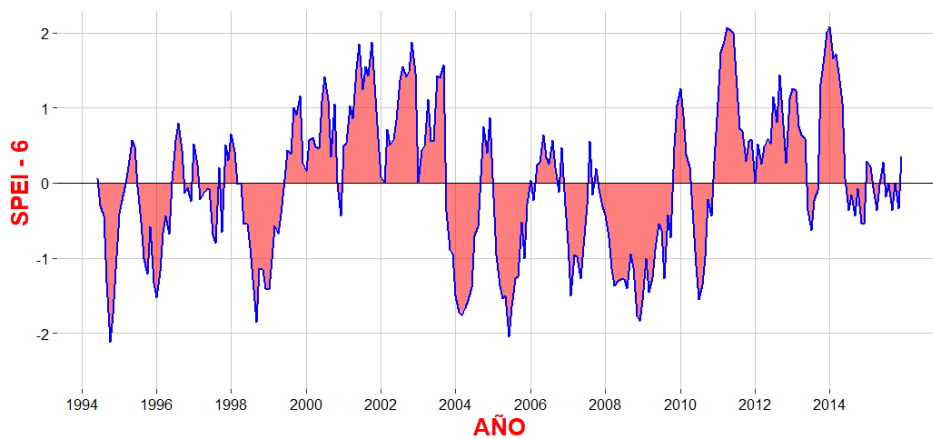
a) SPEI - 1 mes



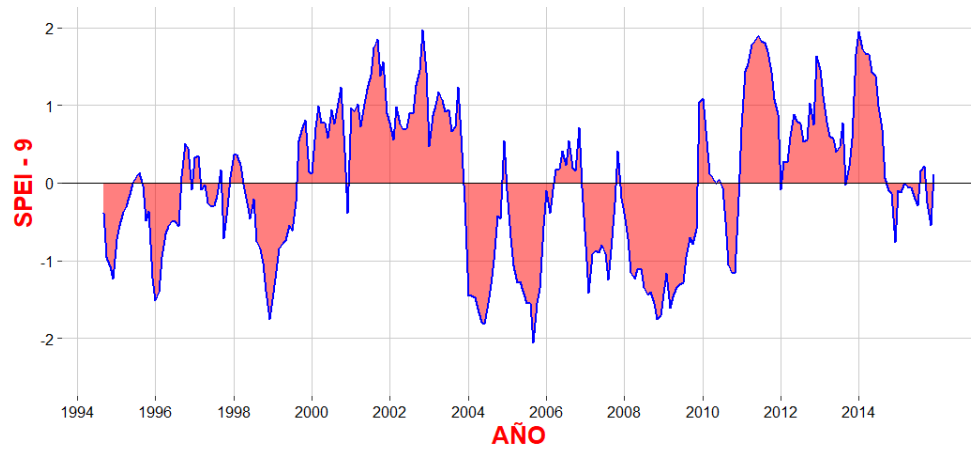
b) SPEI - 3 meses



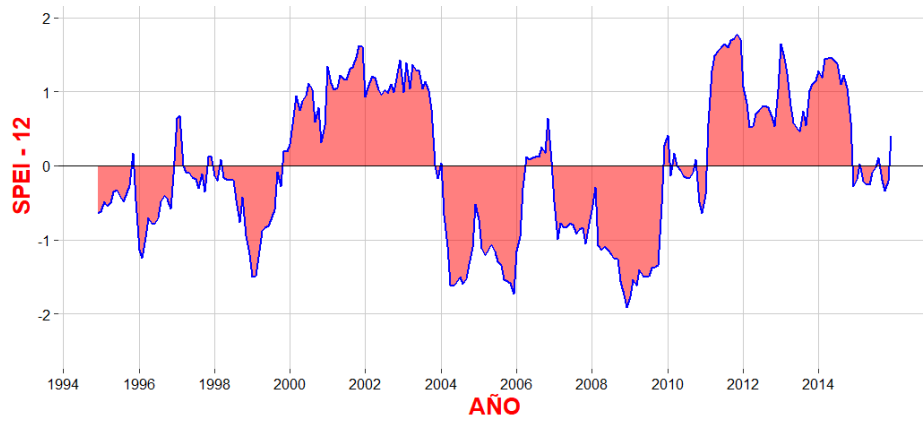
c) SPEI - 6 meses



**d) SPEI - 9 meses**



**e) 12 meses**

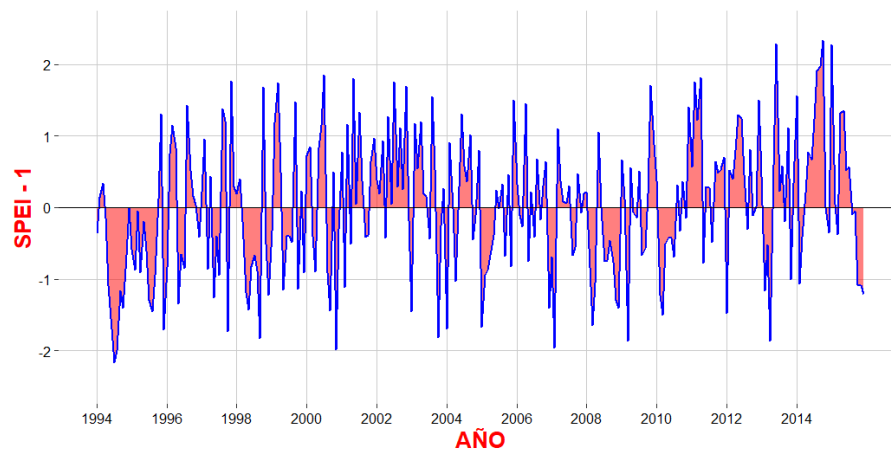


**Figura 27.** Estimación del SPEI para la región homogénea 2 a escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses

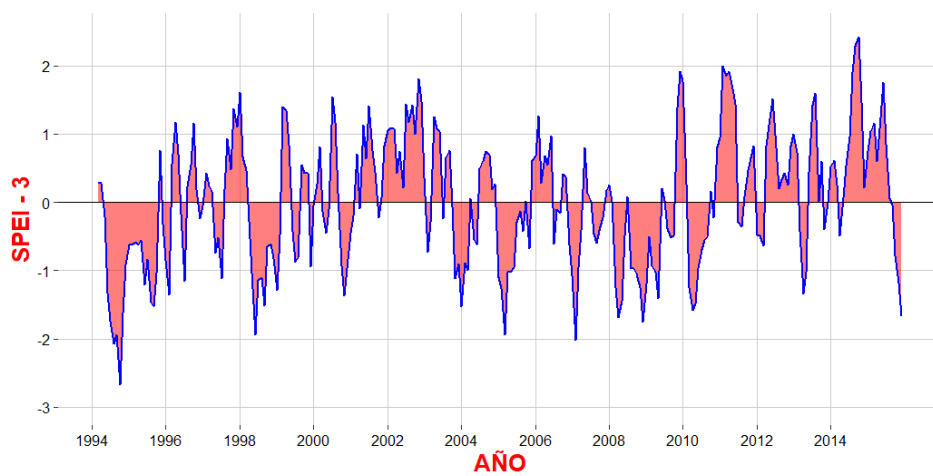
Fuente: Elaboración propia

**b. Análisis SPEI en periodos de tiempo de 1, 3, 6, 9 y 12 meses en la región homogénea 3.**

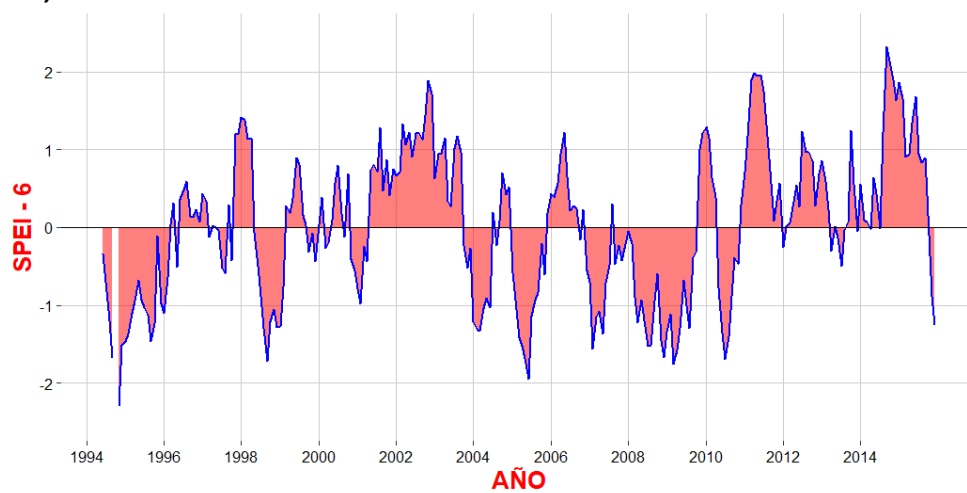
**a) SPEI - 1 mes**



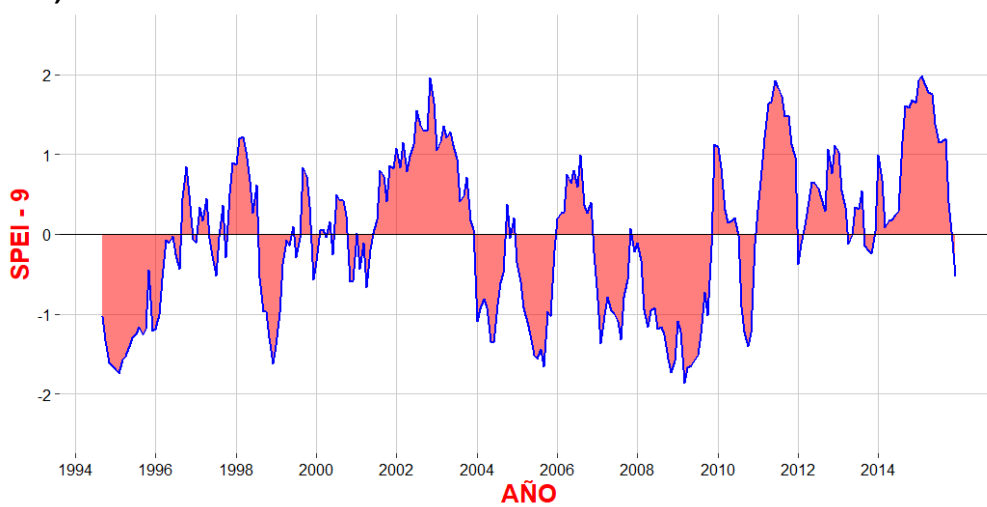
**b) SPEI - 3 meses**

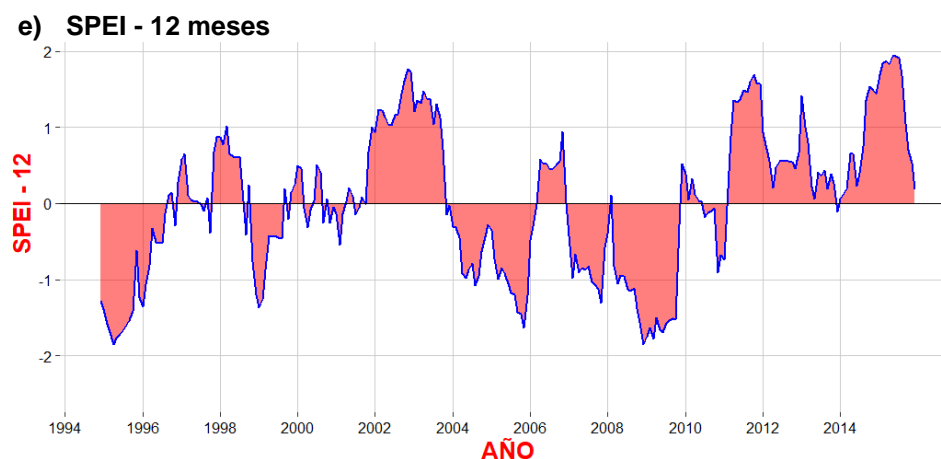


**c) SPEI - 6 meses**



**d) SPEI - 9 meses**





**Figura 28.** Estimación del SPEI para la región homogénea 3 a escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses

Fuente: Elaboración propia

En este estudio se analizó el índice SPEI en diferentes escalas de tiempo (1, 3, 6, 9 y 12 meses) para evaluar la variabilidad de la ocurrencia de sequías entre 1994 y 2015. Este análisis se centrará en las regiones 2 y 3, según la metodología utilizada en el análisis del índice SPI. Los resultados iniciales muestran que las características de la sequía, como la duración y severidad, varían en comparación con los datos obtenidos con el índice SPI. En particular, el análisis del SPEI indica un leve incremento tanto en la duración como en la severidad de las sequías en comparación con los resultados obtenidos con el SPI.

Al examinar el SPEI-12, que proporciona un análisis a largo plazo, se identificaron cinco episodios de sequías severas en la región 2 durante el periodo 1994-2015. Estos eventos ocurrieron en los años 1997, 1999, 2004, 2005 y 2009, y se asociaron con un déficit importante en las precipitaciones. De manera similar, en la región 3 se detectaron sequías significativas en los años 1995, 1998, 2004, 2006 y 2009, siendo notable que la región 2 presentó más eventos de sequía en comparación con la región 3.

Se creó una tabla resumen para describir las características principales de las sequías en las cuatro áreas homogéneas, basándose en estos resultados. Este gráfico presenta datos exhaustivos sobre los episodios más graves, incluyendo fechas de inicio y finalización, duración máxima en meses, e intensidades y severidades máximas de las sequías. La tabla 16 presenta los episodios más destacados en cada área, facilitando una mayor comprensión de los patrones y características de las sequías a lo largo del tiempo.

**Tabla 16.** Atributos de las sequías SPEI más severas que ocurrieron en cada región homogénea desde el 1994 hasta 2015

Región	SPEI-escala	Duración (meses)	Intensidad	Severidad	Inicio	Fin
Región 1	SPEI-1	3	-1.53	-3.80	01/05/1997	01/07/1997
	SPEI-3	5	-1.95	-8.43	01/11/2003	01/03/2004
	SPEI-6	6	-2.06	-10.90	01/01/2004	01/06/2004
	SPEI-9	9	-2.11	-14.89	01/01/2004	01/09/2004
	SPEI-12	16	-1.76	-20.02	01/07/2008	01/10/2009
Región 2	SPEI-1	4	-1.65	-5.48	01/01/2005	01/04/2005
	SPEI-3	6	-1.83	-8.46	01/08/2008	01/01/2009
	SPEI-6	7	-2.05	-10.61	01/03/2005	01/09/2005
	SPEI-9	17	-1.76	-23.40	01/03/2008	01/07/2009
	SPEI-12	20	-1.91	-28.27	01/03/2008	01/10/2009
Región 3	SPEI-1	5	-2.17	-9.80	01/05/1994	01/09/1994
	SPEI-3	6	-2.67	-11.38	01/06/1994	01/11/1994
	SPEI-6	8	-2.82	-13.44	01/08/1994	01/03/1995
	SPEI-9	14	-1.86	-20.30	01/07/2008	01/08/2009
	SPEI-12	16	-1.85	-24.40	01/07/2008	01/10/2009
Región 4	SPEI-1	3	-2.14	-5.02	01/02/2000	01/04/2000
	SPEI-3	6	-1.67	-7.91	01/05/2011	01/10/2011
	SPEI-6	6	-2.18	-10.73	01/02/2003	01/07/2003
	SPEI-9	9	-1.72	-14.05	01/01/2005	01/09/2005
	SPEI-12	12	-1.87	-17.52	01/01/2005	01/12/2005

Fuente: Elaboración propia

El análisis de las técnicas del índice SPEI para las regiones 2 y 3 revela una correlación significativa en la detección de episodios de sequía severa durante el período 2008-2009, lo que indica una señal regional clara de escasez de agua en la cuenca del río Cachi durante ese período.

En la región 2, las sequías más prolongadas y severas se identifican en las escalas SPEI-9 y SPEI-12, con una duración de 17 y 20 meses, respectivamente. La intensidad más baja registrada fue de -1.91 y la severidad alcanzó -28.27, iniciando en marzo de 2008 y culminando en octubre de 2009. Esto indica un evento de sequía de larga duración y alta magnitud, probablemente vinculado a condiciones climáticas persistentes.

De forma similar, en la región 3, se identifica el mismo periodo como el evento más severo a nivel de SPEI-12, con una severidad de -24.40 y una intensidad de -1.85. A esto se suma que en escalas cortas (SPEI-1 a SPEI-6), también se reconocen eventos severos previos en los

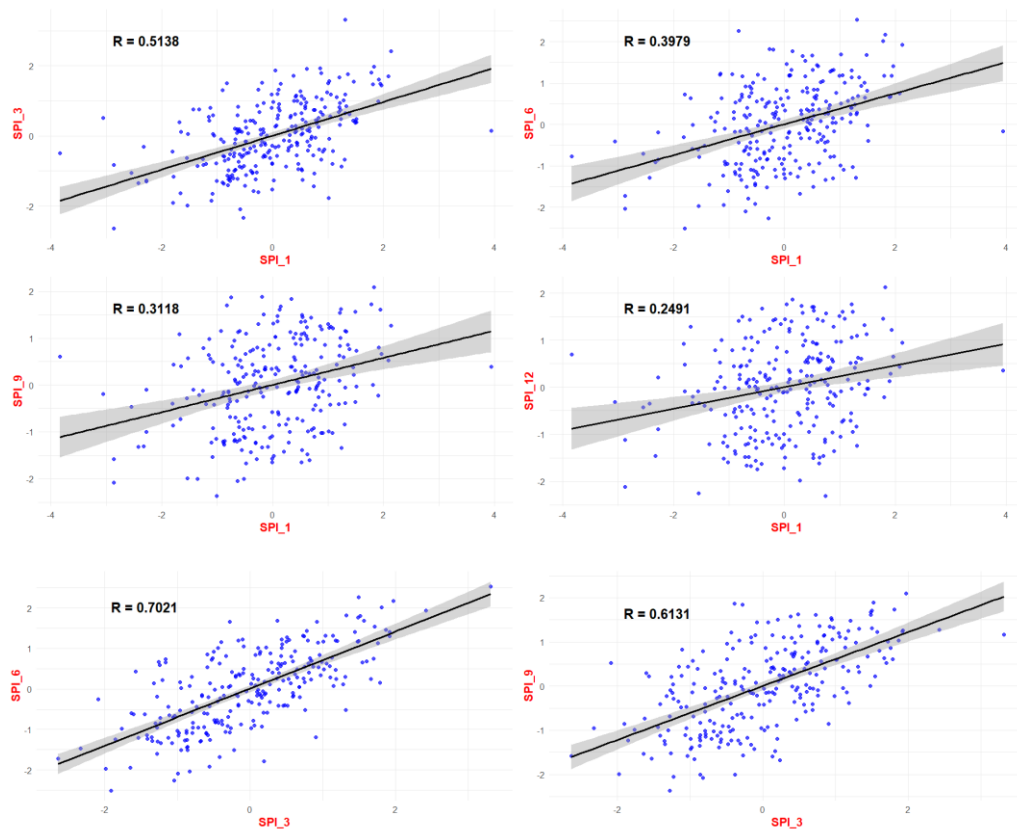
años 1994-1995, siendo la región más afectada históricamente por sequías extremas en ese periodo.

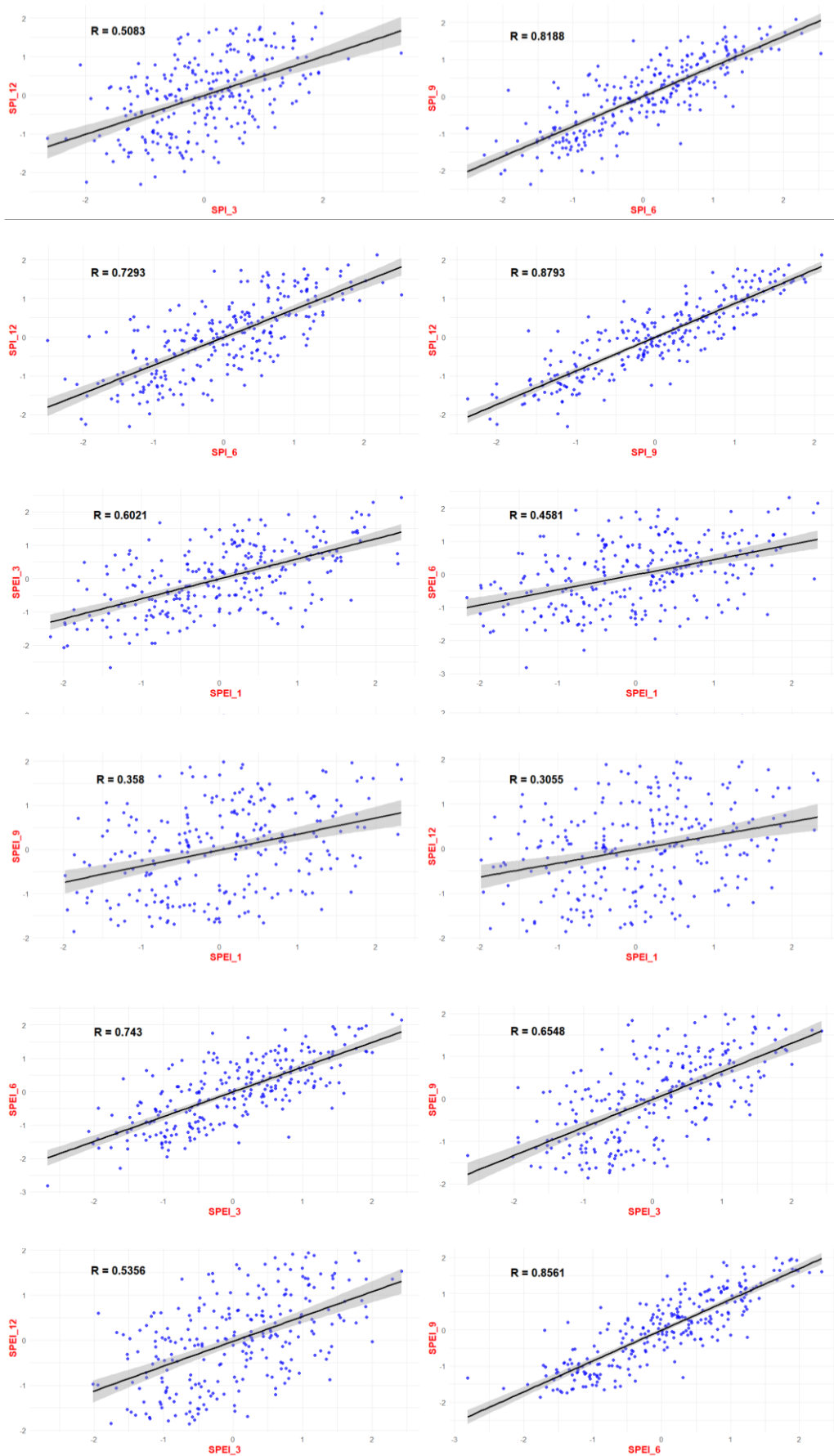
Esta coincidencia entre ambas regiones, especialmente en las escalas SPEI-9 y SPEI-12, refleja una afectación homogénea y de gran magnitud en la cuenca durante el periodo 2008-2009, lo que refuerza la validez del uso del índice SPEI como herramienta para la evaluación espacio-temporal de eventos de sequía.

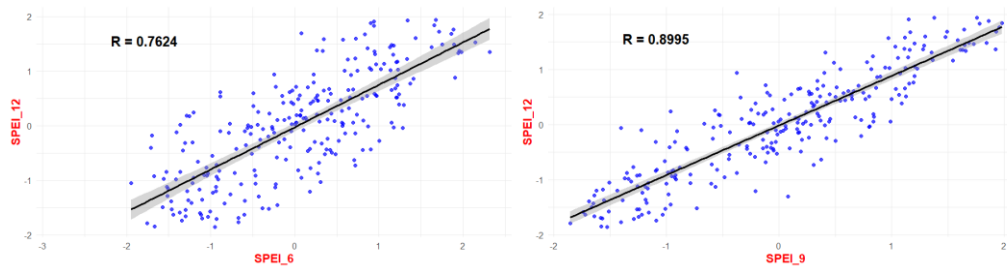
### **Correlación y estimación del indicador de sequía óptimo con su correspondiente escala temporal**

Se realizó un estudio estadístico de correlación de Pearson para verificar los indicadores de sequía, utilizando los procedimientos SPI y SPEI descritos anteriormente. Se agregaron datos sobre la fluctuación de los índices a lo largo de varios periodos de tiempo. Se calcularon los coeficientes de correlación entre los diversos intervalos de SPI y SPEI. En consecuencia, ambos índices (SPI y SPEI) se asociaron con sus respectivas escalas temporales (1, 3, 6, 9 y 12 meses), lo que resultó en un total de 10 índices, que se mostrarán en las tablas 17 y 18.

Este análisis de correlación de Pearson utilizó las series temporales de la región 3, incluyendo las estaciones de Apacheta y Choccoro, como caso de estudio.







**Figura 29.** Coeficiente de correlación entre SPI y SPEI sobre sus respectivas escalas temporales

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17.** Análisis de la correlación cruzada del SPI en 5 escalas temporales para la región 1 en el periodo 1994-2015

Coef. Correl.	SPI-1	SPI-3	SPI-6	SPI-9	SPI-12
SPI-1	1	0.5137850	0.3978533	0.3118105	0.2490565
SPI-3		1	0.7020666	0.6130600	0.5083351
SPI-6			1	0.8187670	0.7293163
SPI-9				1	0.8793187
SPI-12					1

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18.** Análisis de la correlación cruzada del SPEI en las 5 escalas temporales para la región 1 en el periodo 1994-2015

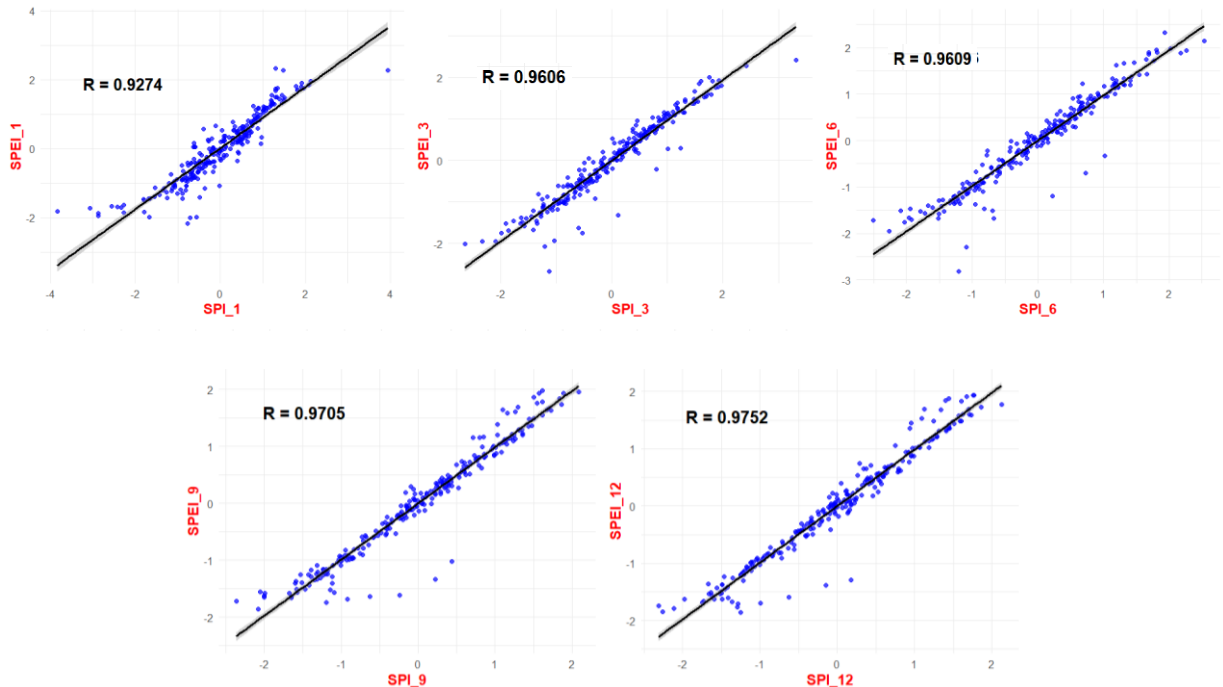
Coef. Correl.	SPEI-1	SPEI-3	SPEI-6	SPEI-9	SPEI-12
SPEI-1	1	0.6020604	0.4580589	0.4580589	0.3054926
SPEI-3		1	0.7429914	0.6548212	0.5356399
SPEI-6			1	0.8560540	0.7623930
SPEI-9				1	0.8994893
SPEI-12					1

Fuente: Elaboración propia

Las correlaciones indican que el grado de asociación entre las diferentes ventanas temporales se intensifica al considerar escalas mayores. La tabla 17 indica que el SPI-1 explica aproximadamente el 51% de la variabilidad en el SPI-3, el SPI-3 explica el 70% de la varianza en el SPI-6, el SPI-6 explica el 82% de la variabilidad en el SPI-9, y el SPI-9 explica el 88% del SPI-12. La tabla 18 ilustra de manera similar las relaciones del SPEI en diversas escalas temporales. El SPEI-1 explica el 60% de la variabilidad en el SPEI-3, el SPEI-3 explica el 74% del SPEI-6, el SPEI-6 explica el 86% del SPEI-9, y el SPEI-9 explica el 90% del SPEI-12.

Las interconexiones entre las diferentes escalas temporales se ilustran claramente en la Figura 30. De acuerdo con el propósito del estudio, se pueden tener en cuenta los datos correspondientes a cada serie temporal en cada escala. Por ejemplo, puede ser ventajoso eliminar ciertas escalas para disminuir el volumen de información a analizar, mejorando así la toma de decisiones. Según los análisis de correlación de las tablas 17 y 18, los índices de las

escalas 9 y 12 pueden eliminarse, ya que las escalas SPI-6 y SPEI-6 presentan las correlaciones más altas con los índices descartados, alcanzando valores de 0,82 y 0,73 para el SPI, y 0,86 y 0,76 para el SPEI.



**Figura 30.** Coeficiente de correlación entre los índices de sequía SPI y SPEI diversas escalas temporales

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19.** Análisis de la correlación entre SPI y SPEI para sus diferentes escalas temporales

Coef. Correl.	SPI-1	SPI-3	SPI-6	SPI-9	SPI-12
SPEI-1	0.9274115	0.5642412	0.4280186	0.3452166	0.2872126
SPEI-3		0.9606480	0.6946326	0.6173872	0.5242196
SPEI-6			0.9608660	0.8050787	0.7384324
SPEI-9				0.9704537	0.8705750
SPEI-12					0.9751935

Fuente: Elaboración propia – R Studio

Los coeficientes de correlación (R) entre el SPI y el SPEI en las escalas de 1, 3, 6, 9 y 12 meses en la región 3 superan el 0.92, lo que indica una sólida relación entre los dos índices. A medida que aumenta la escala temporal, la correlación se mantiene alta, lo que sugiere que ambos índices capturan de manera similar la variabilidad de la sequía. Este vínculo es particularmente significativo durante los periodos de sequía. En general, el SPI muestra valores reducidos en términos de intensidad y duración de los eventos de sequía en comparación con el SPEI. El parecido entre los dos índices surge del enfoque exclusivo del SPI en los datos de precipitación, mientras que el SPEI utiliza tanto precipitación como

temperatura máxima y mínima, lo que permite una visión más completa del comportamiento de las sequías.

Los resultados indican una fuerte relación entre los indicadores. En el análisis previo, se determinó la escala temporal más adecuada, considerando la correlación entre el SPI y el SPEI, confirmando que es la escala de 6 meses.

La elección de la escala de 6 meses se justifica por su alta correlación con otras escalas y por ser un período intermedio que permite evaluar la humedad del suelo y los efectos del déficit hídrico a nivel estacional. Esta escala captura adecuadamente las variaciones estacionales sin ser demasiado sensible a fluctuaciones a corto plazo, como las escalas de 1 o 3 meses. Además, ha sido recomendada en estudios previos y por organismos internacionales como la NOAA y la OMM, debido a su efectividad en el monitoreo de sequías.

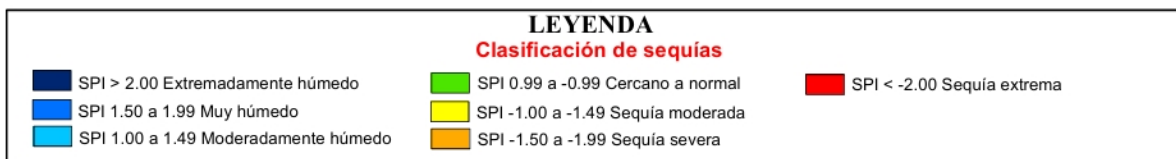
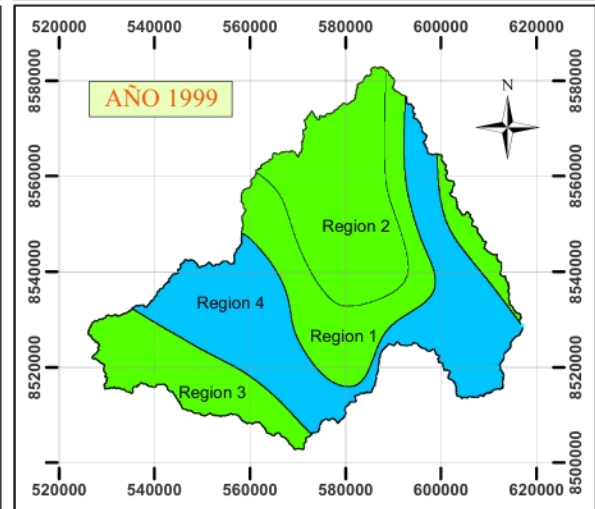
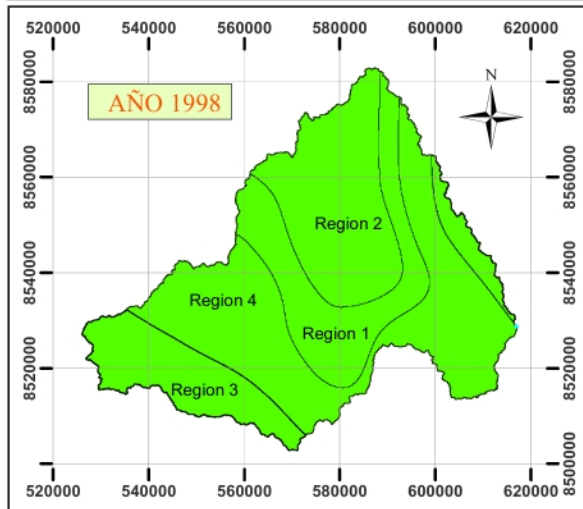
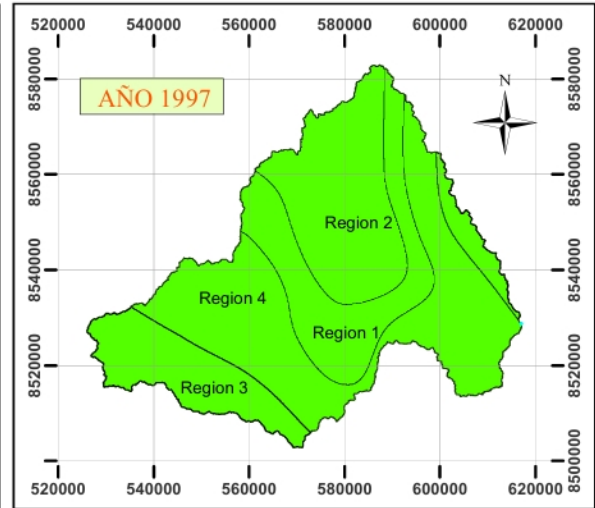
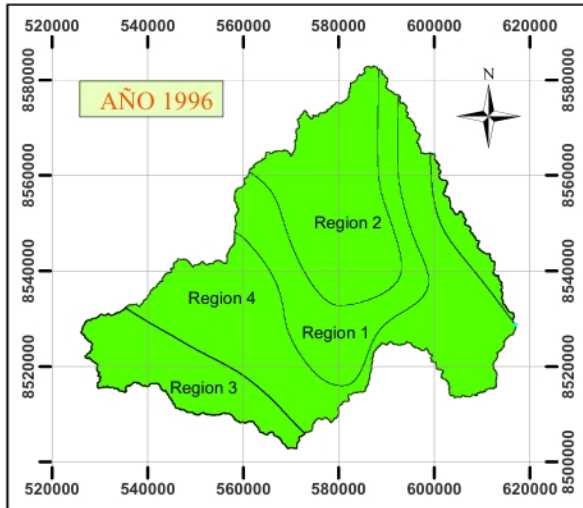
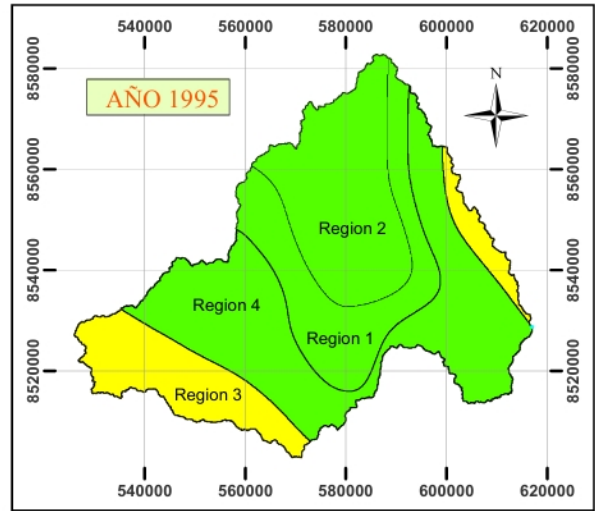
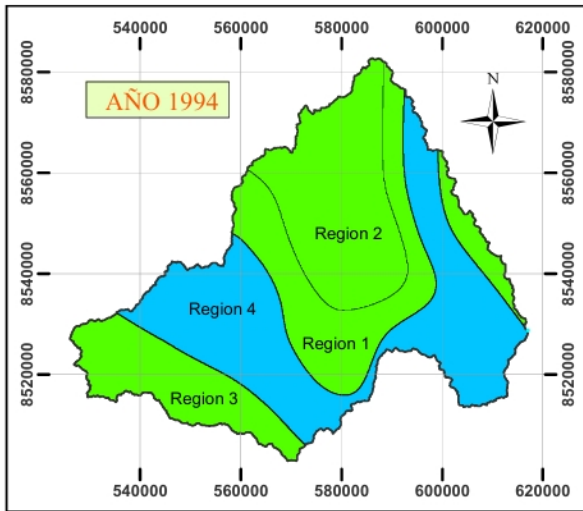
### **Análisis de la distribución espacial y la progresión temporal de las sequías con el índice SPI durante un periodo de 6 meses.**

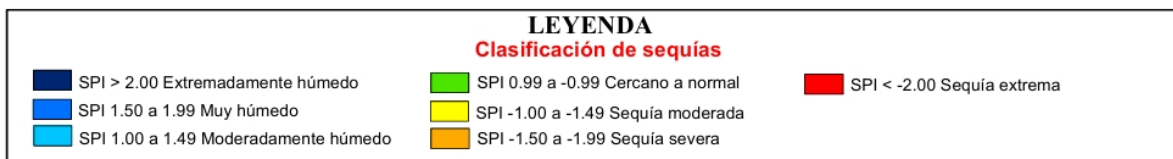
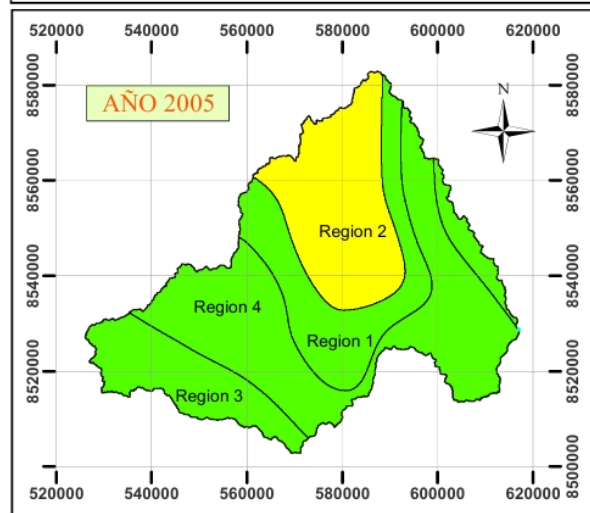
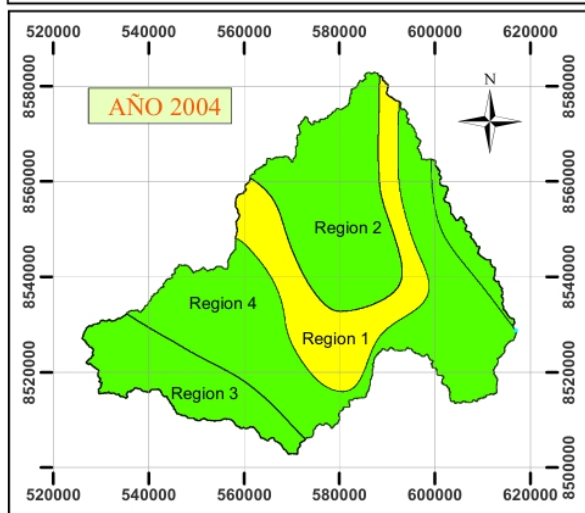
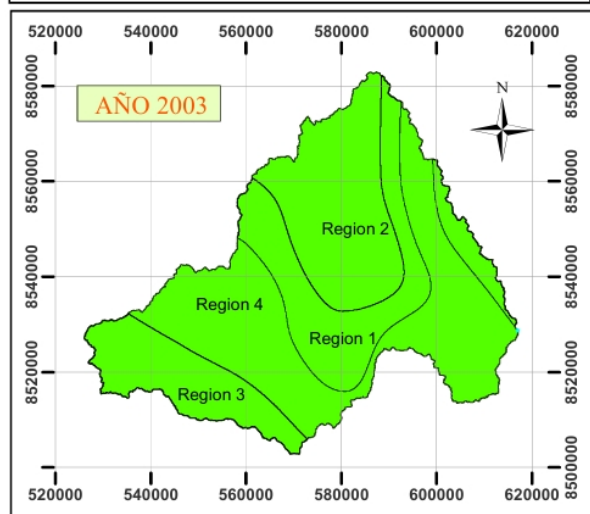
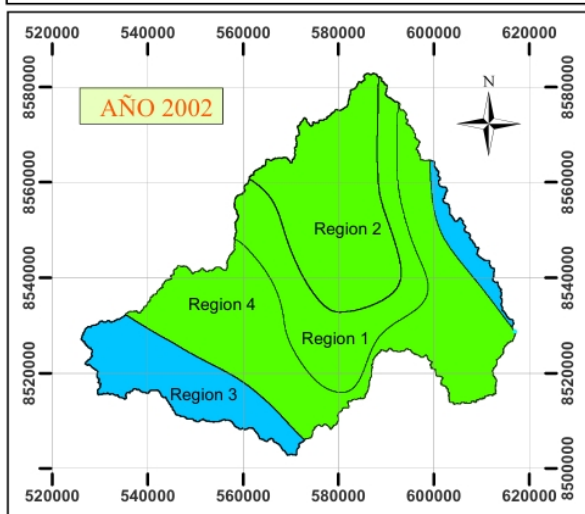
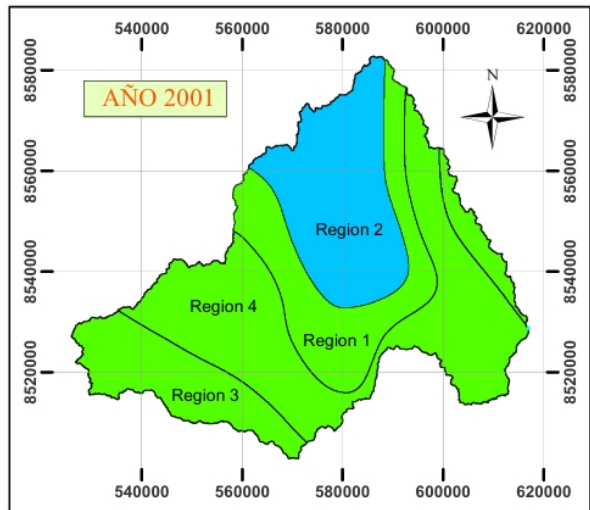
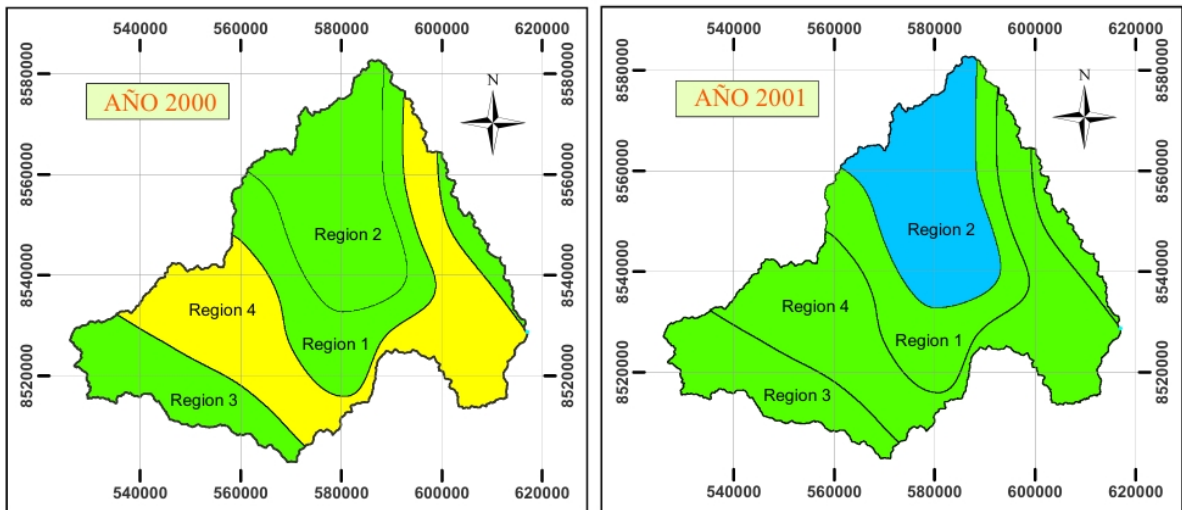
En la figura 31, se muestra los promedios medios anuales de la evolución temporal y la distribución espacial de las sequías en la cuenca del río Cachi, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) a una escala temporal de seis meses durante el periodo 1994–2015. Esta escala es útil para identificar sequías agrícolas y déficits hídricos a mediano plazo, los cuales tienen un impacto directo en las actividades agrícolas y ganaderas de la región.

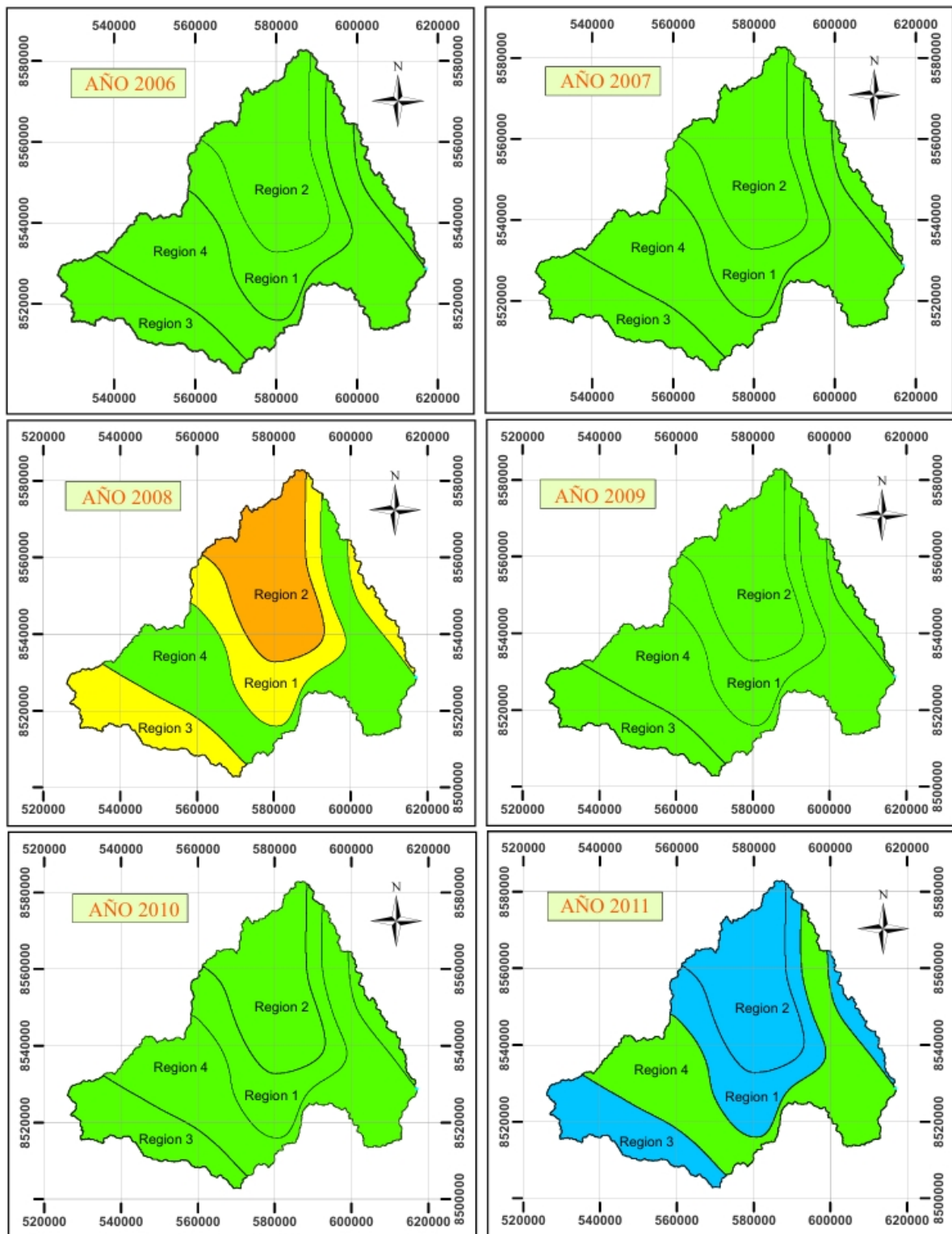
Los resultados destacan que el año 2008 fue uno de los más críticos en términos de sequía. De acuerdo con los datos obtenidos, tres de las cuatro regiones homogéneas de la cuenca presentaron valores negativos del SPI, siendo las regiones 2 y 3 las que experimentaron sequías severas. En particular, en la región 2 alcanzó un valor de -1.50, lo que refleja un déficit hídrico significativo, afectando tanto a los cultivos como a la disponibilidad de agua para actividades productivas. En la región 3, el SPI también mostró valores negativos moderados, lo que indica sequía moderada.

Asimismo, los años 2004 y 2005 también presentaron eventos de sequía importantes. En estos años, el déficit hídrico fue más notorio en el sector centro-sur de la cuenca, afectando el suministro de agua para las actividades agrícolas.








En resumen, los resultados confirman que la cuenca del río Cachi es susceptible a la ocurrencia recurrente de sequías, incluso de intensidad moderada. Estos eventos, como los registrados en 2008 y otros años, podrían agravarse bajo futuros escenarios de cambio climático, lo que tendría repercusiones directas sobre el sector agropecuario de la región.

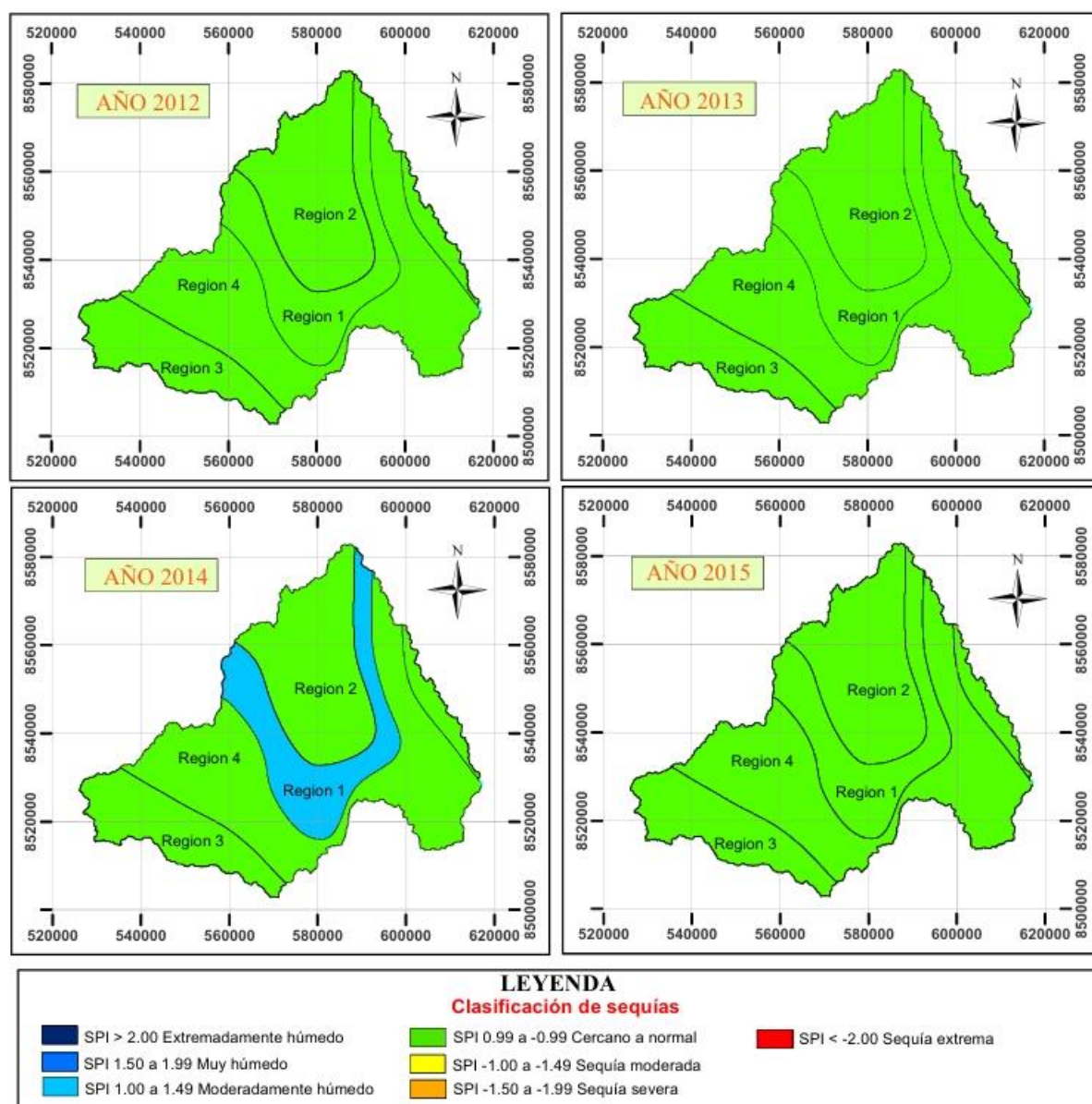






**LEYENDA**  
**Clasificación de sequías**

 SPI > 2.00 Extremadamente húmedo	 SPI 0.99 a -0.99 Cercano a normal	 SPI < -2.00 Sequía extrema
 SPI 1.50 a 1.99 Muy húmedo	 SPI -1.00 a -1.49 Sequía moderada	
 SPI 1.00 a 1.49 Moderadamente húmedo	 SPI -1.50 a -1.99 Sequía severa	



**Figura 31.** Características de las sequías a lo largo de un marco temporal de seis meses anuales

Fuente: Elaboración propia

Los valores negativos del índice SPI-6 reportados por el Monitor de Sequías del ONS-ANA el 2008 en gran parte del sur del país, incluida la cuenca del río Cachi, coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Asimismo, las imágenes mensuales del SPI a una escala de seis meses, disponibles en el portal del ONS-ANA, muestran condiciones de sequía moderada a severa en la región sur-central del Perú. En particular, la zona que abarca la cuenca del río Cachi presentó valores negativos del SPI que indica eventos de sequía. Esta información corrobora los hallazgos de este estudio, donde se identificó que el año 2008 presentó el valor promedio anual más bajo del SPI en tres de las cuatro regiones homogéneas de la cuenca. Del mismo modo, se

registraron eventos de sequía moderada durante el año 2005, lo que también coincide con los registros del ONS-ANA para dicho periodo.

La información consultada se encuentra disponible en el portal del ONS-ANA: <http://ons.ana.gob.pe:8080/maproom/Monitoring/Meteorological/SPI>

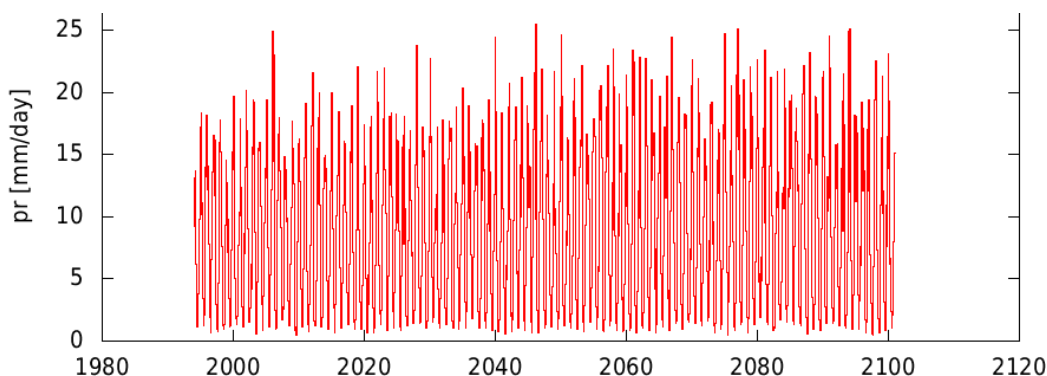
Esta distribución regional de la sequía coincide con lo reportado por Chaulagain et al. (2023), quienes identificaron mayor frecuencia de eventos secos en zonas intermedias del Pacífico colombiano usando el SPI, relacionando su comportamiento con factores altitudinales y cobertura vegetal.

## **Evaluación de la consistencia de la precipitación y la temperatura simuladas por los Modelos Climáticos Globales (GCM)**

### **Simulación de las condiciones climáticas futuras**

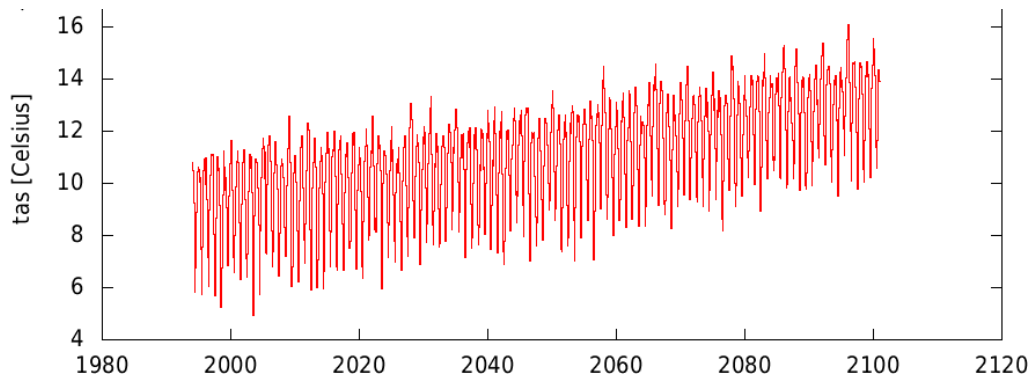
Examinar la influencia del cambio climático en las características de las sequías en la región de Ayacucho es esencial para prevenir o mitigar las repercusiones de las sequías inminentes. Se empleó una colección de Modelos Climáticos Globales (MCG), evaluados utilizando los datos de precipitación de un conjunto multimodelo de 18 miembros del *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5). Se empleó el modelo CESM1-BGC junto con el escenario RCP8.5. El IPCC (2013) identifica el escenario RCP8.5 como el más pesimista, planteando que, sin cambios en las políticas, las emisiones de gases de efecto invernadero persistirán en su aumento, lo que resultará en un incremento de la temperatura global.

Los datos producidos incluyen precipitaciones, temperaturas máximas y mínimas para el período comprendido entre 1994 y 2100, relevantes para el área de estudio. Los resultados preliminares sin refinar se presentan en las figuras 32 y 34, sirviendo de base para evaluar las tendencias y fluctuaciones en las futuras circunstancias climáticas.



**Figura 32.** Datos de precipitación simulados utilizando GCM para la cuenca del río Cachi.

Fuente: Precipitación GCM\_CMIP5\_modelo\_CESM1-BGC\_escenario\_RCP8.5



**Figura 33.** Datos de temperatura simulados utilizando GCM para la cuenca del río Cachi

Fuente: Temperatura media GCM\_CMIP5\_modelo\_CESM1-BGC\_escenario\_RCP8.5.

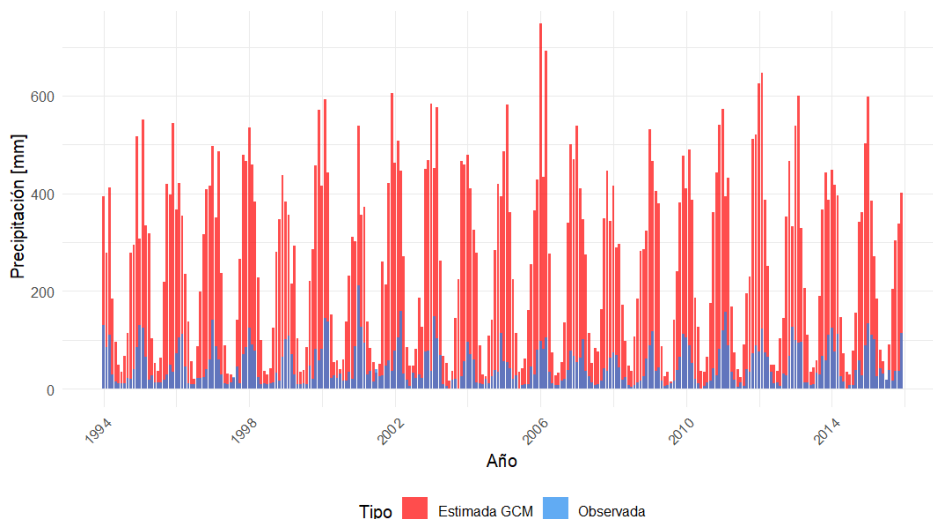
El análisis subsiguiente evaluó si los resultados del modelo sobreestiman o subestiman la precipitación registrada.

### **Reducción de la precipitación y la temperatura proyectada por el modelo CESM1BGC bajo el escenario RCP 8.5.**

Los modelos climáticos globales (GCM), como el CESM1-BGC bajo el escenario RCP8.5, a menudo presentan diferencias significativas en magnitud y tendencia cuando se comparan con los datos observados a nivel local. Esto se debe principalmente a su baja resolución espacial, que no captura con precisión las condiciones locales. Para corregir estos sesgos y ajustar las proyecciones climáticas a las características específicas de la cuenca del río Cachi, es necesario aplicar un método de reducción de escala estadística.

En este estudio, se utilizó el método *Quantile Mapping* para ajustar las proyecciones climáticas simuladas por el GCM a las condiciones observadas en la cuenca del río Cachi.

En este caso, se utilizaron los datos de la estación Wayllapampa como ejemplo. En la figura 34, se muestran las series temporales de precipitación observada (1994–2015) y simulada (1994–2100). Es evidente que los valores simulados sin corrección sobrestiman la magnitud de las precipitaciones en comparación con los datos observados, lo que pone de manifiesto la importancia de la corrección aplicada.



**Figura 34.** Serie temporal de la precipitación observada y simulados por GCM sin corrección

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados subrayan la necesidad de aplicar una reducción de escala para obtener proyecciones climáticas más precisas y realistas, que puedan ser utilizadas con confianza en la estimación de índices de sequía, como el SPI y el SPEI, en el contexto del cambio climático.

#### **Evaluación inicial de la consistencia de los datos simulados ajustados por el GCM**

Se realizó un análisis de consistencia preliminar utilizando los datos GCM corregidos. El objetivo de este análisis es verificar si los datos corregidos se ajustan a los datos observados, lo que nos permitirá avanzar con otros análisis más detallados. Para evaluar la consistencia, se utilizó la estadística PBIAS (Sesgo Porcentual).

$$BIAS(\%) \text{ o } PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i}$$

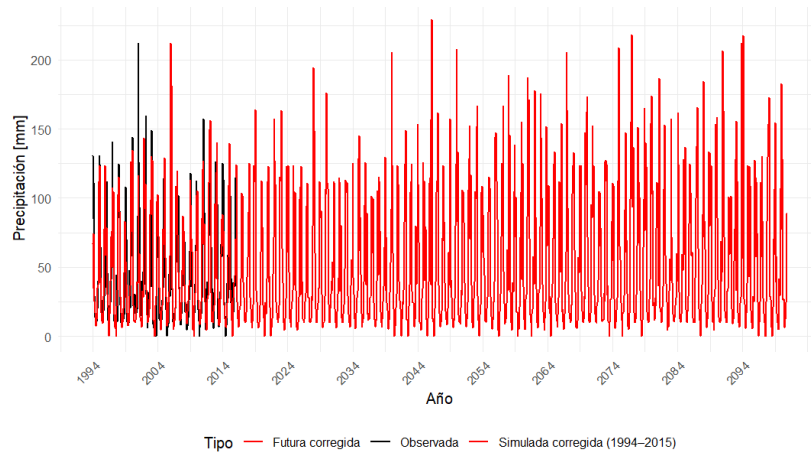
$$\sum_{i=1}^n (S_i - O_i) = -661.4289$$

$$\sum_{i=1}^n (O_i) = 12328.72$$

$$BIAS(\%) = -5.36$$

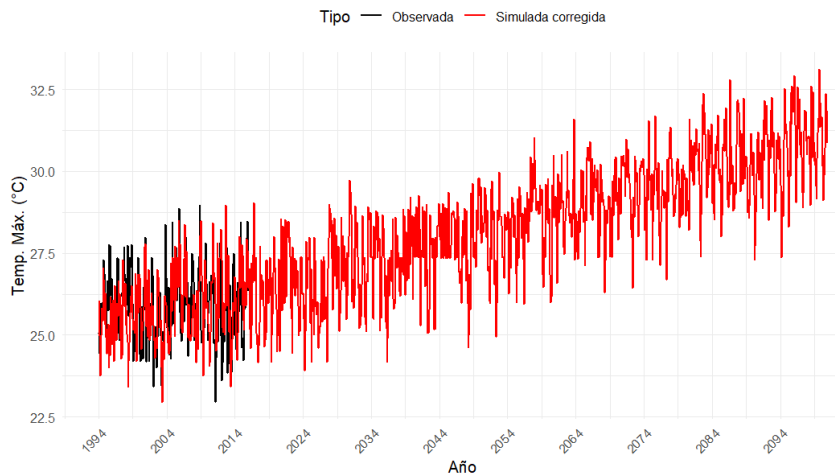
Con un PBIAS de -5.36%, los resultados indican que la corrección aplicada es adecuada, ya que este valor está dentro del rango muy bueno ( $PBIAS < \pm 10$ ), lo que sugiere una buena consistencia entre los datos simulados corregidos y los datos observados.

En las figuras 36 y 37, se presentan las series de tiempo de las temperaturas máximas y mínimas. La línea negra representa los datos observados en la estación Wayllapampa, y la línea roja muestra los datos simulados corregidos por *Quantile Mapping*. Al observar ambas líneas, se puede ver que las series se interponen correctamente, lo que indica que los datos corregidos siguen un patrón muy similar al de los datos observados. Esto sugiere que la corrección aplicada a los datos simulados es adecuada y aceptable para el análisis, permitiendo utilizar estos datos para estimar índices de sequía y otros parámetros climáticos en la cuenca del río Cachi.



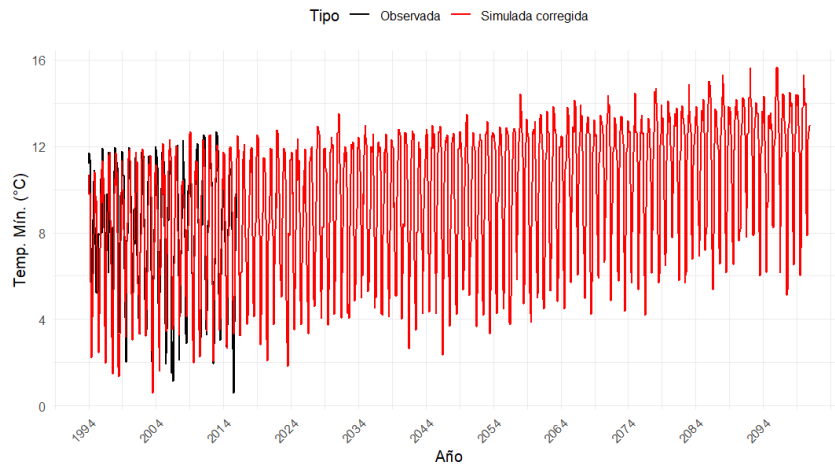
**Figura 35.** Datos de precipitación observada y simulada corregida GCM

Fuente: Elaboración propia



**Figura 36.** Datos de temperatura máxima observada y simulada corregida GCM

Fuente: Elaboración propia



**Figura 37.** Datos de temperatura mínima observada y simulada corregida GCM

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis de consistencia de la precipitación estimada y simulado por GCM.**

Para verificar y contrastar la calidad de los datos GCM, se realiza un análisis de consistencia de ambos datos, para ello se realizará un análisis estadístico. Para este caso se selecciona la estación Wayllapampa.

- **Análisis de consistencia de los datos mensuales**
  - A. Análisis de saltos en estaciones**
    - **Consistencia en la media**

Los datos observados y simulados se analizaron mediante la prueba t-Student, que identificó discrepancias en la media; este análisis preliminar no valida la hipótesis. Posteriormente, se calculan la media y la desviación estándar para los datos observados y estimados, empleando ecuaciones que utilizan la distribución t-Student.

Reemplazando los datos se obtiene a continuación:

$$n_1 = 264$$

$$n_2 = 264$$

$$\bar{x}_1 = 46.6997$$

$$\bar{x}_2 = 46.7656$$

$$S_1(x) = 39.6805$$

$$S_2(x) = 39.9320$$

### **Cálculo de la desviación estándar ponderada y desviación de las diferencias de los promedios ( $S_p$ y $S_d$ )**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}}$$

$$S_d = S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

$$S_p = 39.8064$$

$$S_d = 3.4647$$

### Cálculo de t calculado ( $t_c$ )

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d}$$

$$t_c = -0.0190$$

### Cálculo de t tabulado o tablas ( $t_t$ )

Utilizando la tabla de T-Student, se obtiene  $t_t = 1.960$

Se tiene:

$|t_c| = -0.0190 \leq |t_t| = 1.960$  con un 95% de confianza, lo que indica que las medias son estadísticamente equivalentes, demostrando así la coherencia de la media entre los datos observados y los simulados.

- **Consistencia de la desviación estándar**

El análisis de la consistencia en la desviación estándar se realiza utilizando la prueba "F" de Fisher, siguiendo este procedimiento:

Se calcula la varianza entre los datos observados y los datos estimados.

$$S_1^2(x) = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2$$

$$S_1^2(x) = 1574.539$$

$$S_2^2(x) = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2$$

$$S_2^2(x) = 1594.563$$

### Cálculo del F calculado ( $F_c$ )

El estadístico F se calcula como la razón entre las varianzas. Dependiendo de cuál varianza sea mayor, el cálculo se ajusta según la ecuación 2.8.

Como:  $S_1^2(x) > S_2^2(x)$ , entonces:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}$$

$$F_c = 1.0127$$

### Cálculo del valor tabulado de F ( $F_f$ ) según tablas:

Para:  $\alpha = 0.05$

Como:  $S_1^2(x) > S_2^2(x)$ , entonces:

$$GLN = n_1 - 1 = 263$$

$$GLD = n_2 - 1 = 263$$

Se obtiene de la tabla de f de Fisher:  $F_t = 1.225$

**Probabilidad de decisión:**

Dado:  $F_c = 1.0127 < F_t = 1.225$  (95%), se deduce que:  $S1(x) = S2(x)$ , lo que indica que las desviaciones estándar son estadísticamente equivalentes.

Por consiguiente, **los datos correspondientes a estos dos tipos deben permanecer sin corregir.**

En resumen, para los datos observados y simulados en la estación Wayllapampa, podemos inferir que tanto la media como la desviación estándar indican que los datos observados y estimados son comparables y no requieren corrección según los resultados de las pruebas "t" y "F"; por lo tanto, se afirma que los datos observados y simulados no presentan discontinuidades.

**B. Estadísticas de comparación por pares**

- **Coefficiente de eficiencia (CE)**

Se realizó la prueba del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), para validar la premisa. El rango de CE se extiende desde  $-\infty$  (indicando un mal ajuste) hasta 1 (que significa un ajuste perfecto). Este criterio se emplea con frecuencia en la evaluación de los modelos hidrológicos.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} = 0.4379$$

Dado el valor de **NSE** de **0.4379**, podemos afirmar, basándonos en la tabla 4, presentada por Nash- Sutcliffe, que los valores superiores a 0.4 se considera un ajuste Bueno.

- **Coefficiente de correlación de Pearson (R)**

Indica el grado de correlación o relación entre dos variables. El rango de r se extiende desde -1 hasta +1.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} = 0.7207$$

Dado un valor de **R=0.7207**, podemos afirmar, como se observa en la tabla 5, que existe una correlación positiva alta entre los datos observados y los datos simulados.

## **Alteraciones previstas en las características de la sequía vinculadas al cambio climático utilizando la metodología del Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI)**

El cambio climático, tal como lo describe el IPCC (2007), implica alteraciones en el clima a lo largo del tiempo, ya sea por causas naturales o por actividades humanas. Estas modificaciones pueden afectar las características estadísticas de las variables climáticas, como la precipitación, ocasionando fenómenos extremos como las sequías. Se espera que el cambio climático incremente la frecuencia y severidad de las sequías, lo que representa una amenaza importante para la región.

Aunque algunos estudios en el sur de Sudamérica se han centrado en los cambios del clima medio, pocos han explorado los cambios en su variabilidad temporal, como ocurre con las sequías. Por ejemplo, en la segunda mitad del siglo XX se observó un incremento en los totales de precipitación en varias zonas de Sudamérica, mientras que la cantidad de días secos ha disminuido en la región (Rivera, 2014). Esto plantea interrogantes sobre si esta tendencia continuará en el futuro.

Para abordar este tema, se utilizaron modelos climáticos globales para proyectar el comportamiento de la precipitación y la temperatura en el futuro (1994-2100) y determinar cómo podrían cambiar las características de las sequías. En particular, se evaluaron las proyecciones bajo el escenario RCP8.5, que implica un aumento acelerado de las concentraciones de CO<sub>2</sub>.

El objetivo principal es determinar si el cambio climático puede exacerbar los problemas relacionados con el agua, particularmente en lo que respecta a la frecuencia, duración e intensidad de las sequías, factores esenciales para la planificación de los recursos hídricos y la gestión agrícola. Se utilizó el índice SPEI (Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración) en intervalos de 3 meses (SPEI-3) y 12 meses (SPEI-12) para evaluar las condiciones de sequía tanto a corto como a largo plazo.

El SPEI es especialmente útil porque considera tanto la precipitación como la temperatura en su cálculo, permitiendo una mejor evaluación de las condiciones de sequía futura. Este índice es ampliamente utilizado en estudios climáticos debido a su sensibilidad a los cambios en la precipitación y su capacidad para representar las variaciones espaciales y temporales de las sequías.

Los tres parámetros clave para caracterizar las sequías son: (a) la frecuencia (el número de episodios de sequía dentro del periodo examinado), (b) la duración (tiempo de

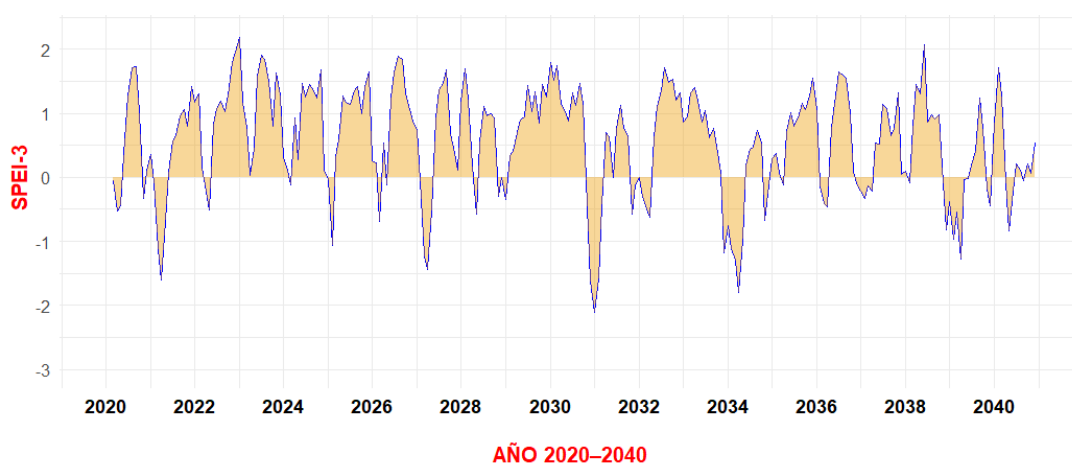
duración de cada evento), y (c) la severidad (la intensidad máxima de la sequía, indicada por el valor del SPEI).

Las proyecciones climáticas se analizaron en periodos de 10 años, desde el 2020 hasta el 2100, con el objetivo de comprender cómo podrían evolucionar las sequías a lo largo del siglo XXI. Los resultados de este análisis ayudan a determinar si los cambios en las características de las sequías podrían tener un impacto significativo en los recursos hídricos y la gestión agrícola de la región.

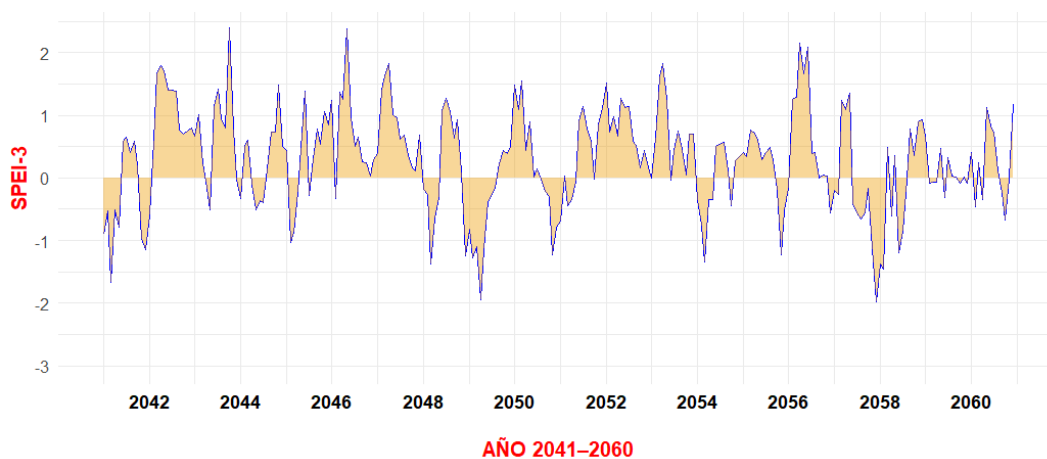
## Resultados del SPEI para un periodo de 3 y 12 meses en la región homogénea 2

### a. Resultados del SPEI para un periodo de 3 meses

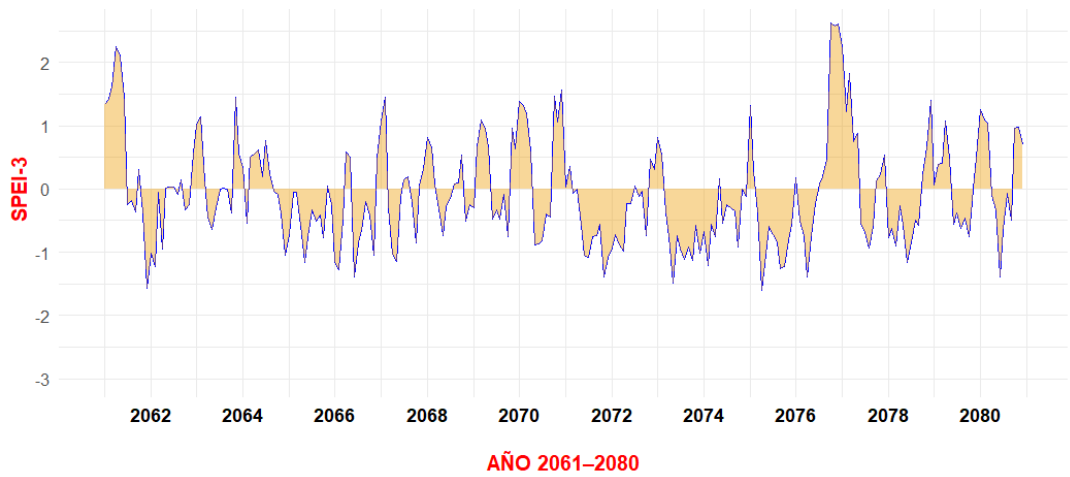
#### a) Año 2020-2040



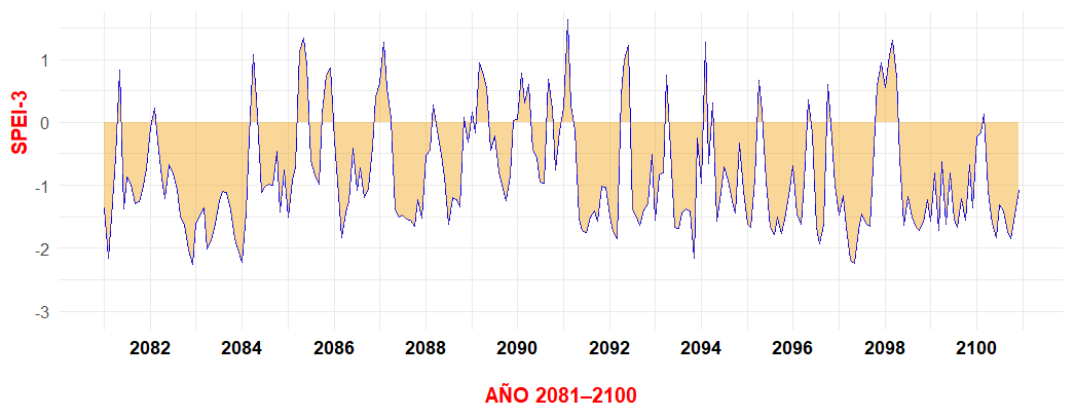
#### b) Año 2041-2060



**c) Año 2061-2080**



**d) Año 2081-2100**

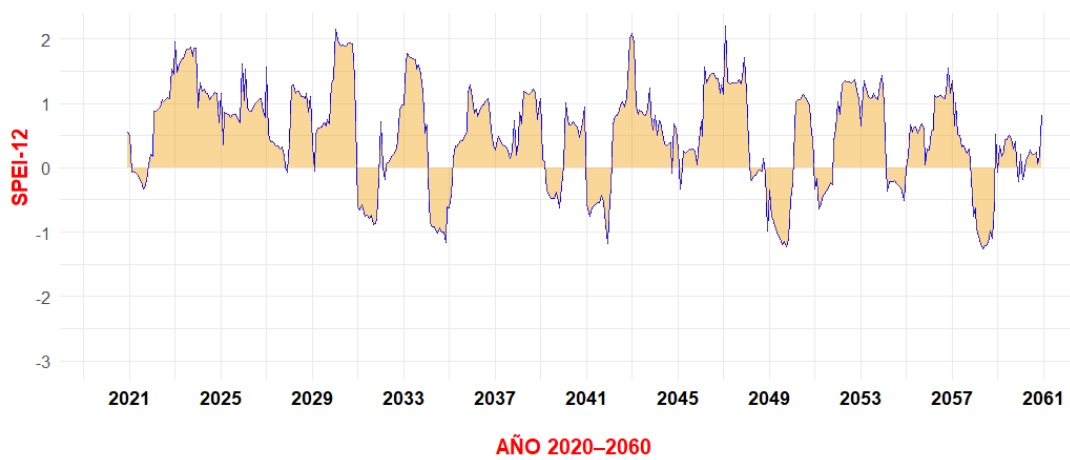


**Figura 38.** Estimación del SPEI-3 para la región homogénea 2 para los periodos de a) 2020-2040, b) 2041-2060, c) 2061-2080 y d) 2081-2100

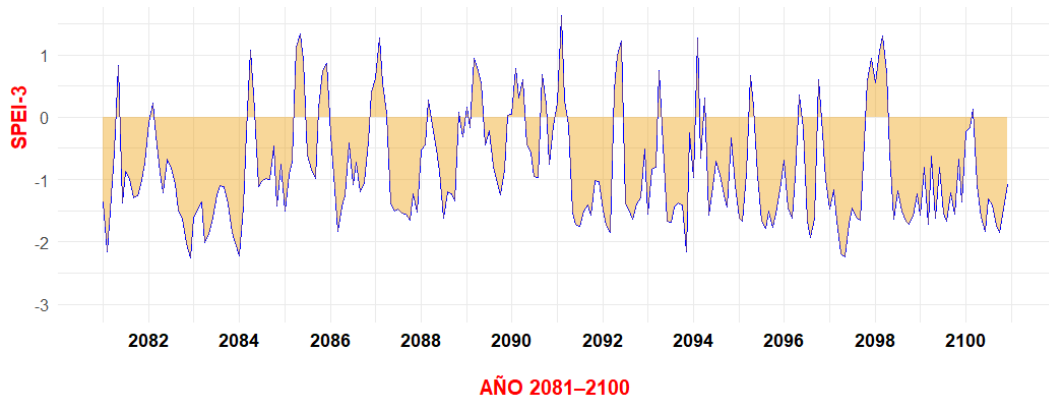
Fuente: Elaboración propia

**b. Resultados del SPEI para un periodo de 12 meses**

**a) Año 2020-2060**



**b) Año 2061-2100**

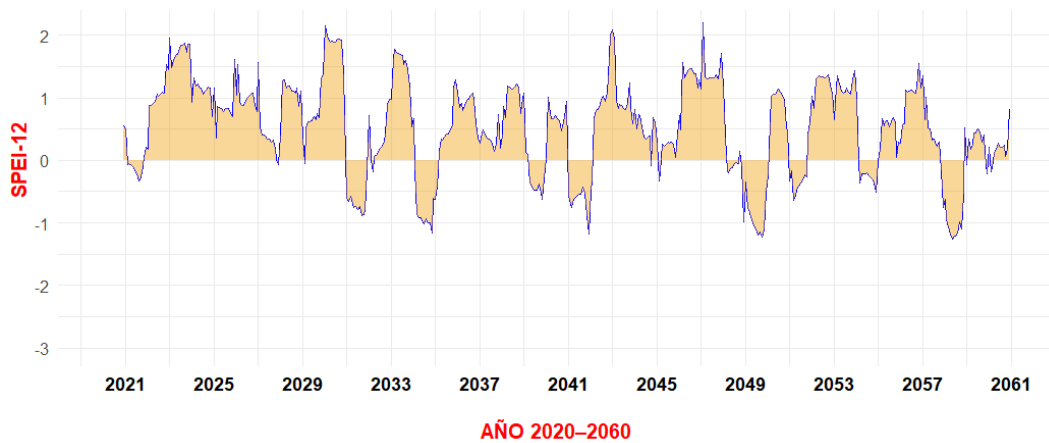


**Figura 39.** Estimación del SPEI-3 para la región homogénea 2 para los periodos de a) 2020-2040, b) 2041-2060, c) 2061-2080 y d) 2081-2100

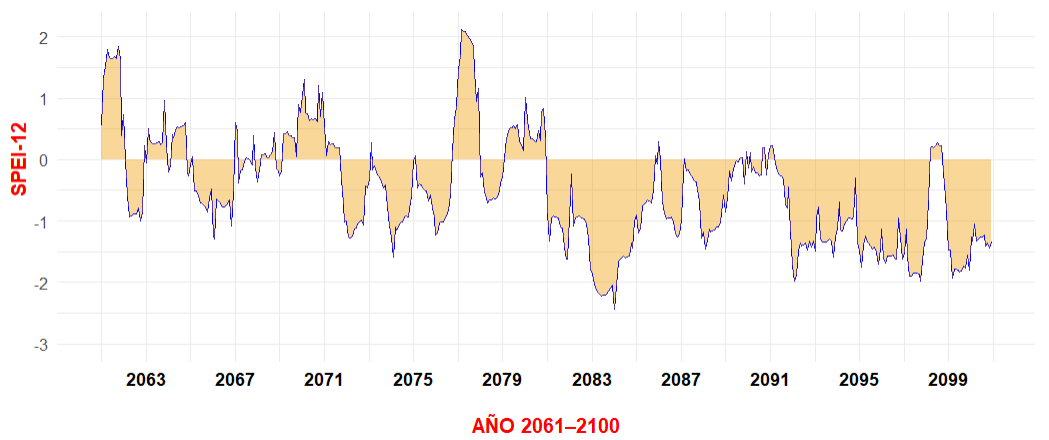
Fuente: Elaboración propia

**b. Resultados de SPEI a escala de tiempo 12 meses**

**a) Año 2020-2060**



**b) Año 2061-2100**



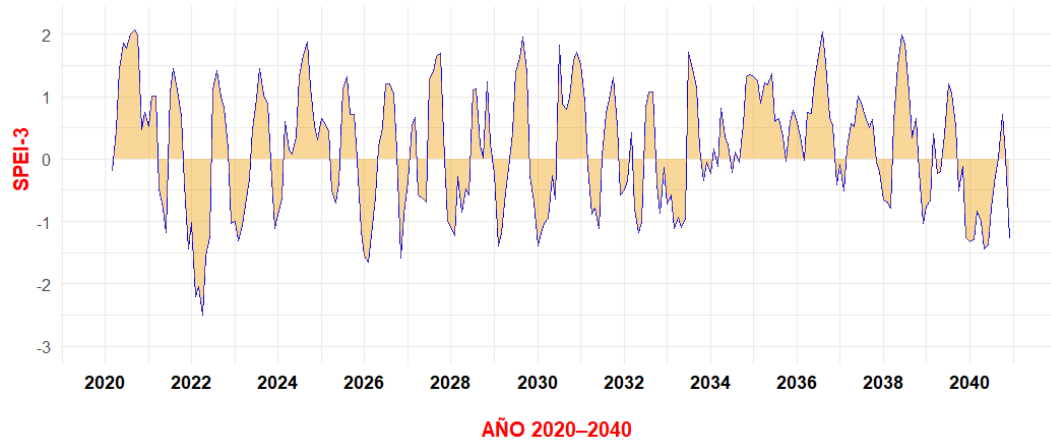
**Figura 40.** Estimación del SPEI-12 para la región homogénea 2 para los periodos de a) 2020-2060 y b) 2061-2100

Fuente: Elaboración propia

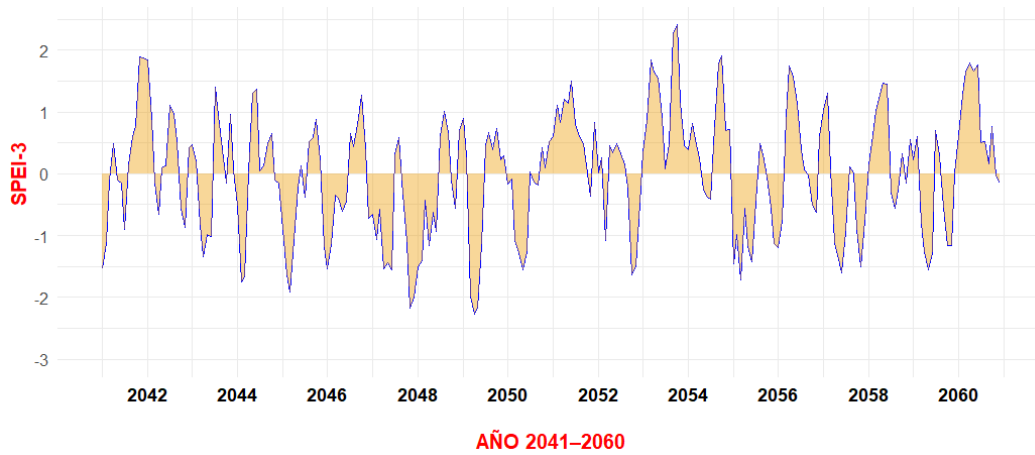
## Resultados SPEI a escala de tiempo 3 y 12 meses en la región homogénea 3.

### a. Resultados del SPEI para un periodo de 3 meses

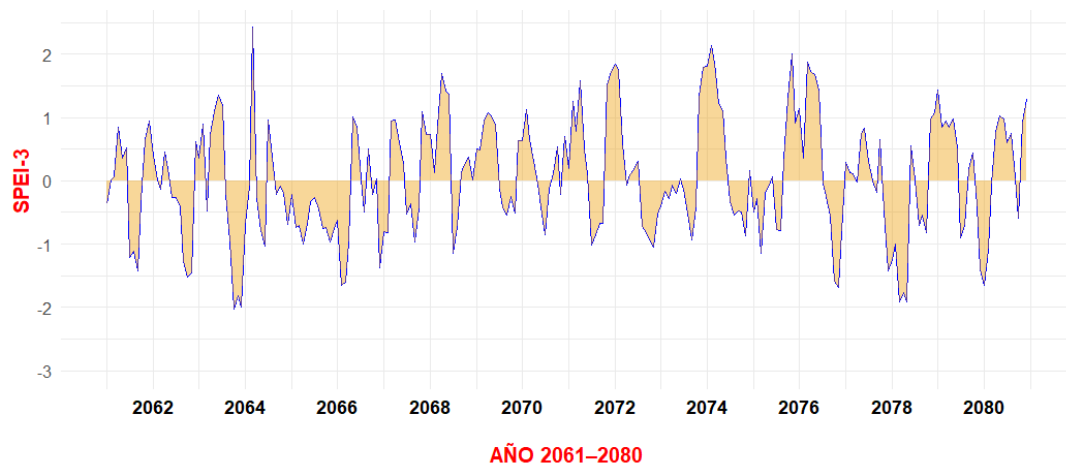
#### a) Año 2020-2040



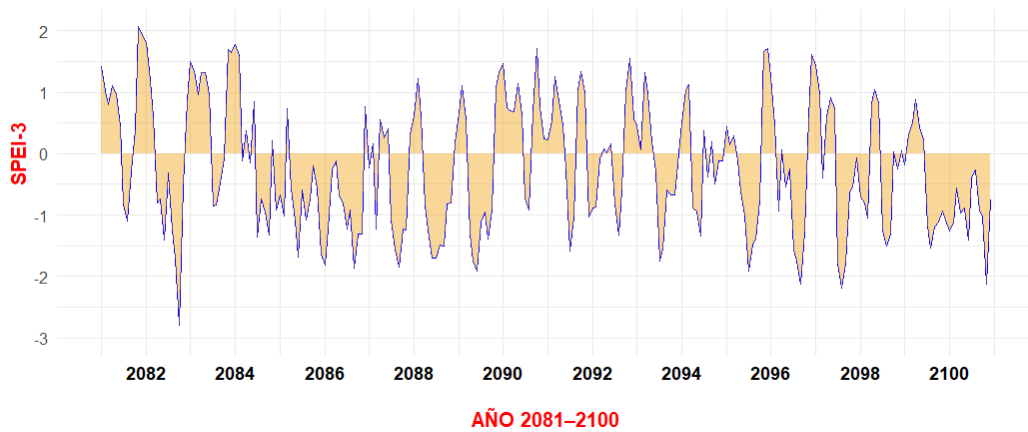
#### b) Año 2041-2060



#### c) Año 2061-2080



**d) Año 2081-2100**

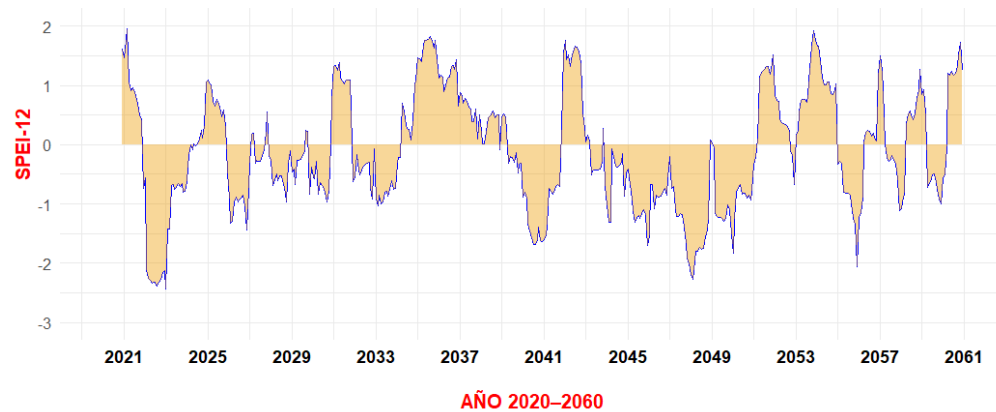


**Figura 41.** Estimación del SPEI-3 para la región homogénea 3 para los periodos de a) 2020-2040, b) 2041-2060, c) 2061-2080 y d) 2081-2100

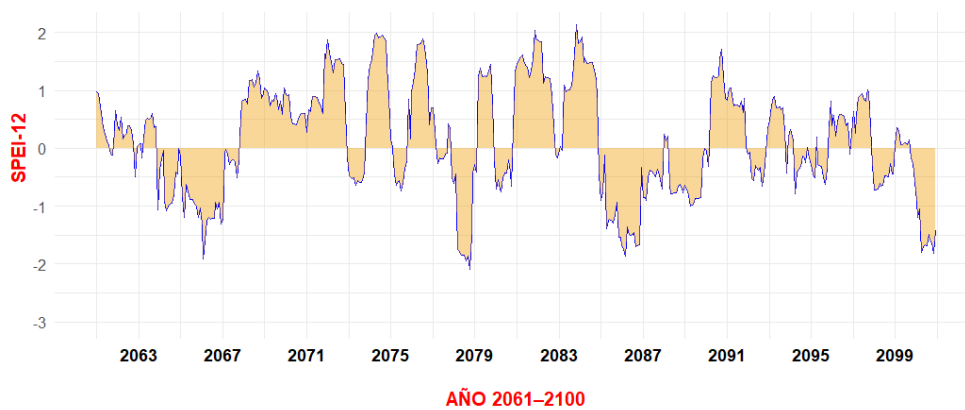
Fuente: Elaboración propia

**b. Resultados del SPEI para un periodo de 12 meses**

**a) Año 2020-2060**



**b) Año 2061-2100**



**Figura 42.** Estimación del SPEI-12 para la región homogénea 3 en el periodo de tiempo a) 2020-2060 y b) 2061-2100

Fuente: Elaboración propia

Este análisis identifica las sequías futuras más severas en la cuenca del río Cachi utilizando la metodología del Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizado (SPEI), considerando la sequía agrícola (SPEI -3) y la sequía que afecta el almacenamiento en embalses, el caudal de los ríos y las aguas subterráneas (SPEI-12).

## **Cambios proyectados en las características de las sequías del periodo 2020 – 2100**

### **a. Índice SPEI – 3 “sequía a corto plazo”**

Las previsiones del escenario RCP8.5 para el periodo 2020-2100 influirán significativamente en la dinámica futura de las sequías a corto plazo. Con el tiempo, la frecuencia de las sequías de corto plazo aumentará, caracterizadas por intensidades, duraciones y severidades crecientes en comparación con el período comprendido entre 1994 y 2015.

**Década 2020–2030.** Durante esta década, comienzan a observarse los primeros indicios de sequías relevantes en la cuenca del río Cachi. La región 3 destaca por registrar el valor más bajo, con una severidad clasificada como extremadamente seca, aunque con eventos de corta duración (menores a 12 meses). La región 4 también presenta condiciones extremas, al igual que la región 1. En contraste, la región 2 muestra una sequía severa, caracterizada por eventos intermitentes y breves.

**Década 2031–2040.** La región 1 alcanza una severidad de -1.97 (muy seca), manteniéndose con eventos de duración inferior a 12 meses. La región 3 muestra una ligera mejora respecto a la década anterior, mientras que la región 4 experimenta una sequía extrema. Por su parte, la región 2 comienza a mostrar condiciones más claras de sequía con un aumento progresivo de la severidad.

**Década 2041–2050.** La región 3 experimenta una sequía extremadamente seca, con una severidad de -2.17 y eventos breves. La región 1 incrementa su intensidad a sequía extrema (-2.11). La región 4 mantiene su intensidad y aumenta su severidad, mientras que la región 2 muestra una ligera disminución en la intensidad de la sequía.

**Década 2051–2060.** Las condiciones críticas persisten en la región 2. La región 1 y la región 4 se mantienen en el rango de extremadamente secas, aunque la región 1 modera levemente su severidad a -1.66. La región 3 reduce su intensidad a una sequía severa, con eventos de corta duración (menos de 12 meses), lo que indica una relativa estabilización temporal en comparación con las demás regiones.

**Década 2061–2070.** Durante esta década, la región 1 muestra una leve reducción en su severidad, mientras que la región 2 incrementa la duración de sus eventos de sequía

severa. La región 3 aumenta su severidad nuevamente, y la región 4 presenta una ligera disminución en la intensidad del evento.

**Década 2071–2080.** Aunque algunas regiones experimentan una leve reducción en la severidad, las condiciones de sequía persisten. La región 2 alcanza -1.60. La región 1 mantiene su condición, mientras que la región 4 mejora ligeramente, alcanzando una severidad de -1.06, aunque aún se evidencian efectos significativos.

**Década 2081–2090.** Se intensifican nuevamente las condiciones de sequía en todas las regiones. La región 2 se convierte en la más afectada, presentando un evento con duración superior a 30 meses y una severidad extremadamente alta, lo que la posiciona como la más severamente impactada de toda la cuenca en esta década.

**Década 2091–2100.** El análisis culmina con eventos de alta severidad. La mayoría de las regiones mantienen condiciones similares a las observadas en la década anterior. Sin embargo, la región 2 muestra una reducción en la severidad, aunque aún presenta un evento prolongado de 22 meses, evidenciando una alta persistencia de sequía hacia finales del siglo.

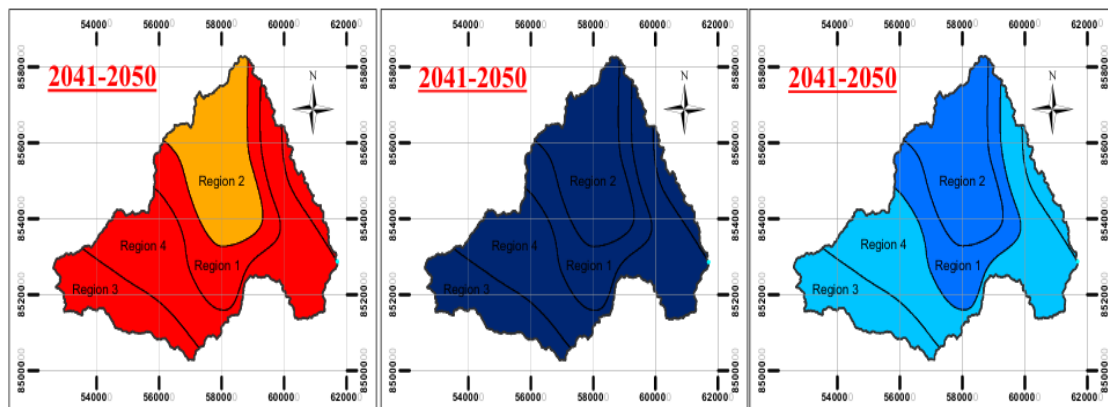
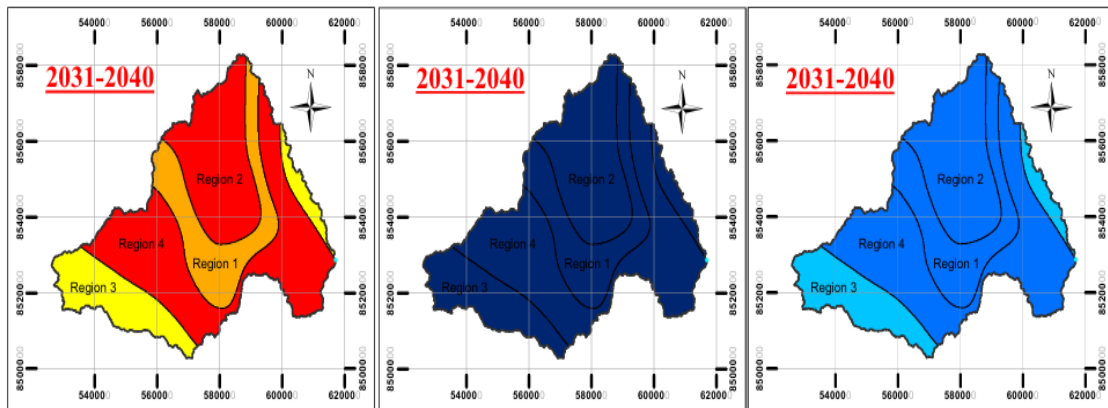
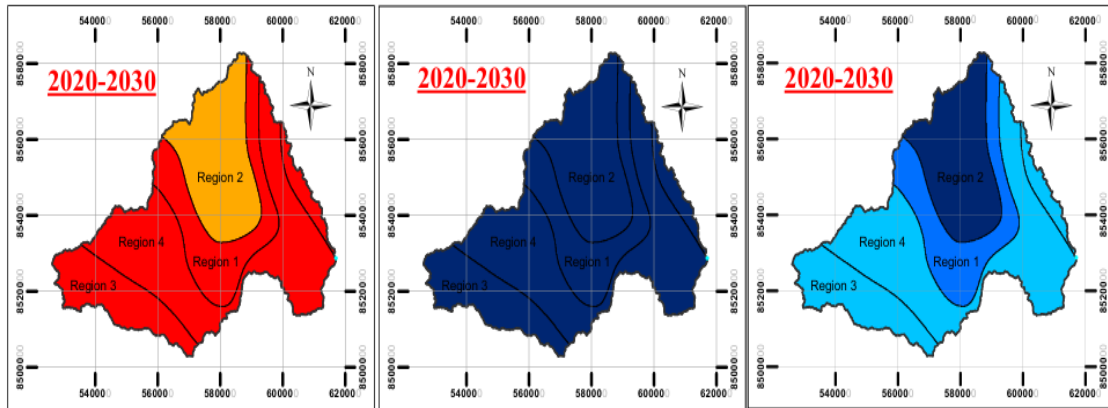
#### **a.1. Caracterización de la sequía utilizando el índice SPEI – 3 en las 5 regiones homogéneas durante el periodo comprendido entre 2020 y 2100.**

Climatología de la sequía derivada del conjunto multimodelo CMIP5 que utiliza el escenario climático RCP8.5 para el examen de las características de la sequía a corto plazo (SPEI-3) previstas para los años 2020-2100, tal y como se ilustra en las siguientes imágenes.

## INTENSIDAD

## DURACIÓN

## SEVERIDAD



### LEYENDA

#### Clasificación de sequías

- SPI > 2.00 Extremadamente húmedo
- SPI 1.50 a 1.99 Muy húmedo
- SPI 1.00 a 1.49 Moderadamente húmedo
- SPI 0.99 a -0.99 Cercano a normal
- SPI -1.00 a -1.49 Sequía moderada
- SPI -1.50 a -1.99 Sequía severa
- SPI < -2.00 Sequía extrema

### LEYENDA

#### Duración de las sequías

- D.S. <= 12 meses
- 12 < D.S. <= 24 meses
- 24 < D.S. <= 36 meses
- 36 < D.S. <= 48 meses
- 48 < D.S. <= 60 meses
- 60 < D.S. <= 72 meses
- D.S. > 72 meses

### LEYENDA

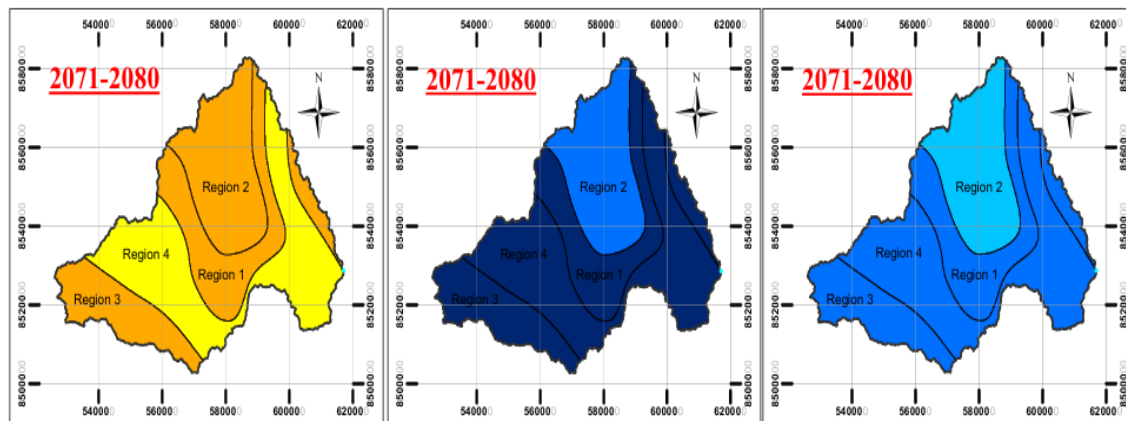
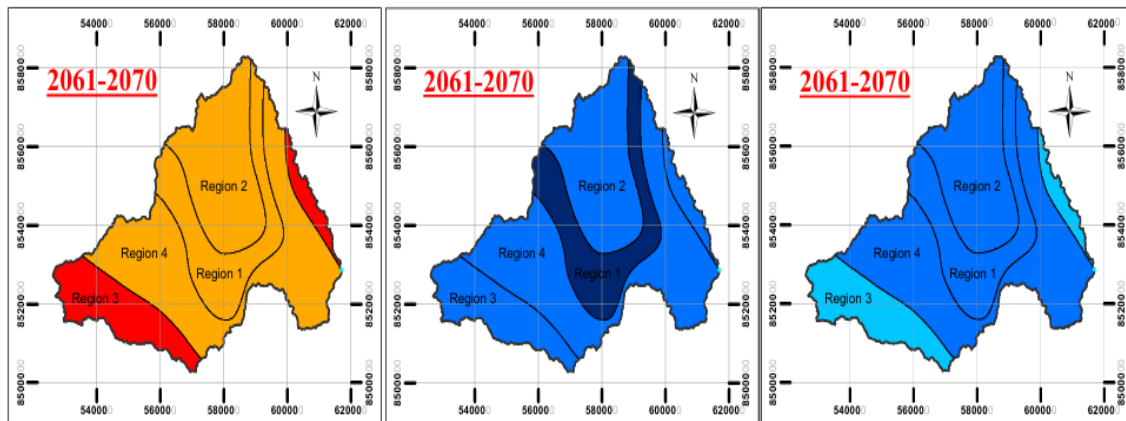
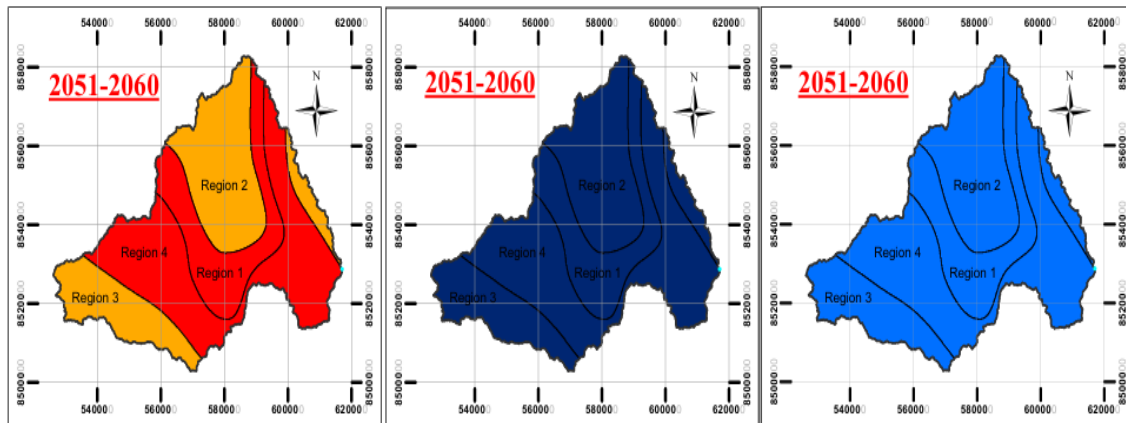
#### Clasificación de la severidad

- Severidad <= 5
- 5 < Severidad <= 10
- 10 < Severidad <= 15
- 15 < Severidad <= 20
- 20 < Severidad <= 25
- 25 < Severidad <= 30
- Severidad > 30

## INTENSIDAD

## DURACIÓN

## SEVERIDAD



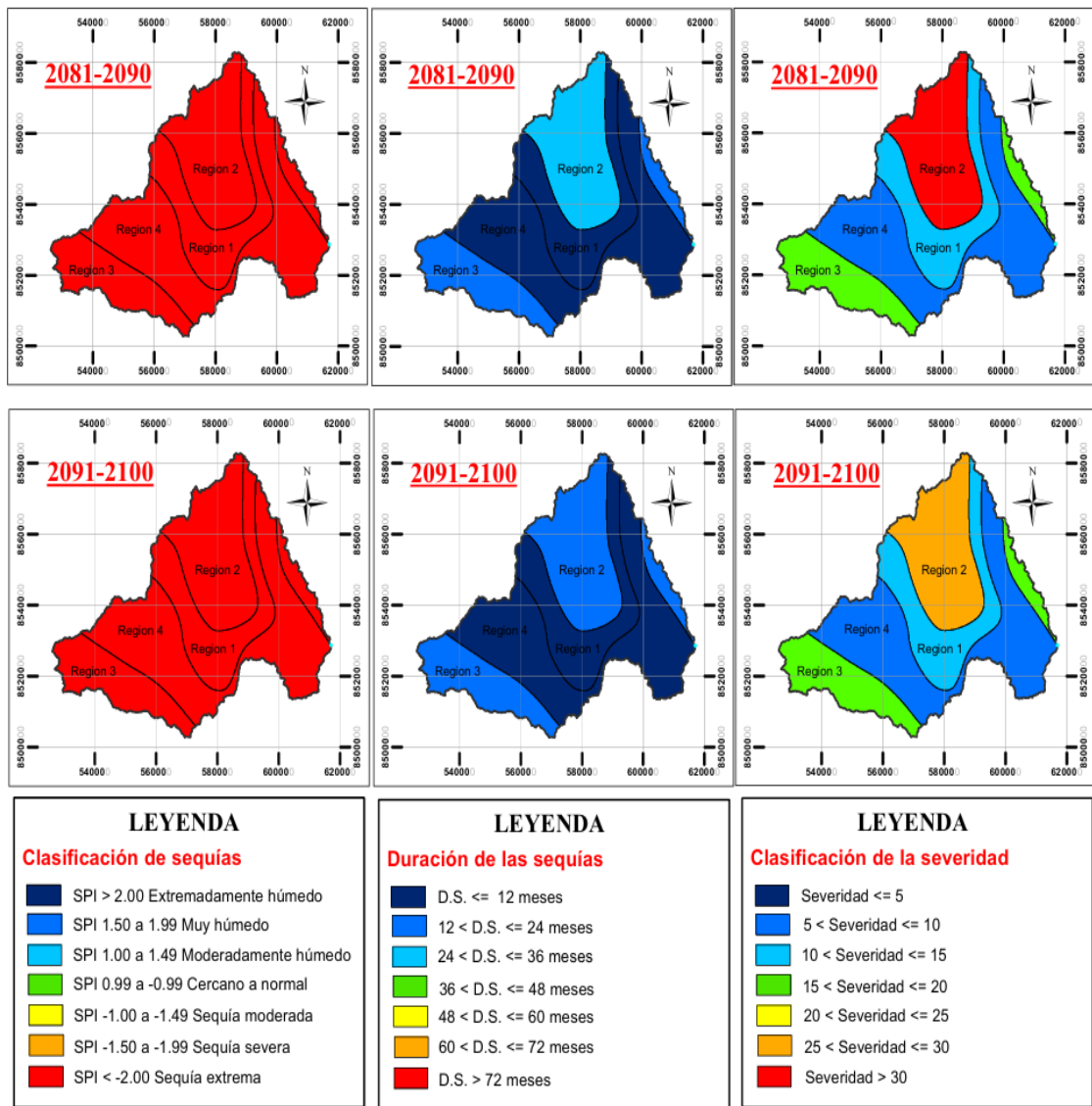


Figura 43. Características proyectadas de las sequías de corto plazo (SPEI-3)

Fuente: Elaboración propia

## b. Índice SPEI – 12 “sequía a largo plazo”

En cuanto a la metodología aplicada del índice SPEI-12 utilizando datos proyectados bajo el escenario RCP8.5, se evidencia que las sequías tenderán a intensificarse en duración y severidad conforme avanzan las décadas del siglo XXI. A través del análisis por regiones, se identificaron comportamientos diferenciados en cuanto a la magnitud y recurrencia de eventos secos extremos. A continuación, se detallan los resultados más representativos por década para cada región.

**Década 2020–2030.** Durante este periodo, las cuatro regiones ya presentan indicios de sequías intensas. Las más críticas se observan en la región 3 con una intensidad de -2.44 clasificada como extremadamente seca, seguida por la región 4 con -2.20 que además es la más severa. La región 1 también muestra una sequía extrema, mientras

que la región 2 apenas inicia con condiciones cercanas a lo normal y eventos de corta duración (menores a 12 meses).

**Década 2031–2040.** La región 1 presenta nuevamente una condición extremadamente seca con eventos de mediana duración (hasta 24 meses), mientras que la región 3 con condiciones muy secas, al igual que la región 4. La región 2 comienza a presentar condiciones más secas con un valor de -1.15, lo que representa una sequía moderadamente seca con duración media (12–24 meses).

**Década 2041–2050.** Esta década marca un punto crítico para la región 1 y la región 3, ambas con severidades por debajo de -2.2, clasificadas como extremadamente secas. En particular, la región 3 presenta una sequía de alta severidad (-2.27) con una duración prolongada de hasta 60 meses. Las regiones 2 y 4 también registran sequías moderadas a extremas, lo que evidencia un incremento generalizado en los impactos de sequía.

**Década 2051–2060.** En este periodo, la región 3 continúa presentando eventos extremadamente secos, mientras que la región 1 reduce su intensidad. La región 2 y 4 se observan en niveles moderadamente secos con eventos de corta duración (12–24 meses), reflejando cierta estabilidad temporal comparada con las otras regiones.

**Década 2061–2070.** Se observa una reactivación de condiciones críticas en las regiones 1 y 4, ambas con valores inferiores a -2.2, clasificados como extremadamente secos. La región 3, aunque reduce levemente su severidad, sigue en categoría muy seca. La región 2 se mantiene en estado moderadamente seco.

**Década 2071–2080.** Durante esta década, las regiones 3 mantiene eventos secos, pero con una severidad menor. La región 1 desciende a condiciones moderadamente secas, la región 4 reduce su intensidad y severidad, y la región 2 aumenta levemente su severidad. Sin embargo, destaca que la duración de las sequías se mantiene entre 12 y 24 meses, lo que podría afectar cultivos de ciclo anual o bianual.

**Década 2081–2090.** Se vuelve a observar una intensificación de las sequías en la región 2, que alcanza una severidad de -2.43 (extremadamente seca) con una duración de hasta 60 meses, la más extensa registrada. La región 1 también experimenta eventos moderadamente secos, y las regiones 3 y 4 se mantienen dentro de una categoría muy seca a cercana a lo normal, aunque no dejan de ser preocupantes por su duración.

**Década 2091–2100.** Finalmente, en este último tramo del análisis, la región 1 cierra con una de las sequías más severas del siglo (-2.46), clasificada como extremadamente seca, con una duración de hasta 24 meses. La región 2 continúa en condiciones críticas (-1.98), pero lo más relevante es la duración de sus eventos secos: más de 70 meses,

lo cual podría comprometer seriamente la disponibilidad hídrica a largo plazo. La región 3 y la región 4 presentan sequías muy secas y moderadas, pero igualmente persistentes.

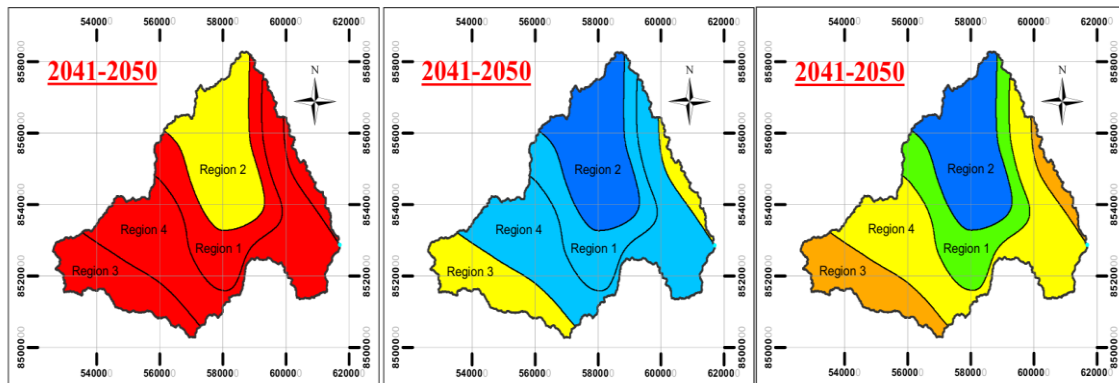
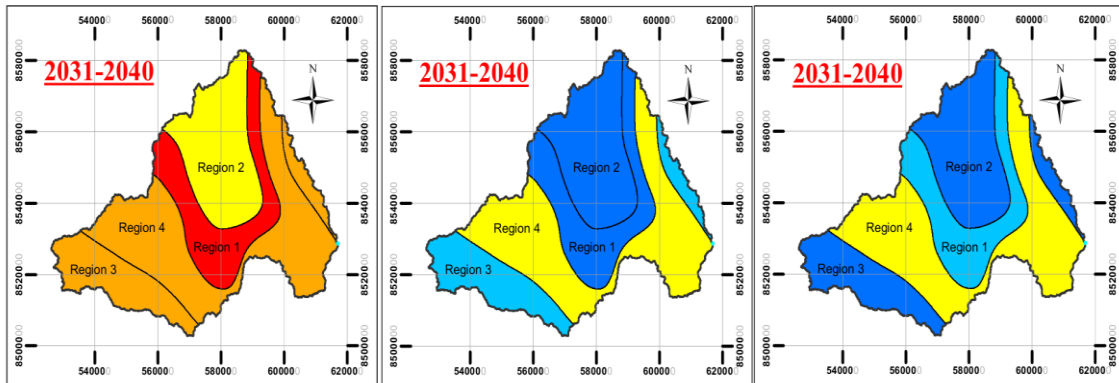
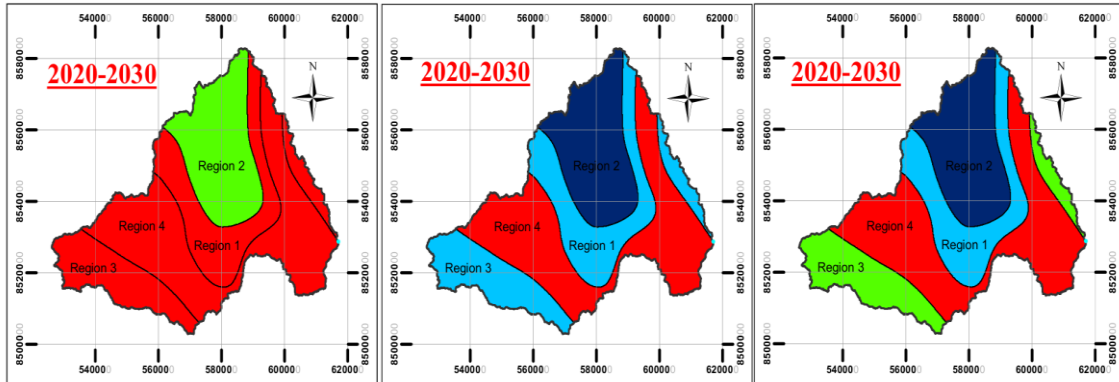
**b.1 Caracterización de la sequía utilizando el índice SPEI – 12 en las 5 regiones homogéneas durante el periodo comprendido entre 2020 y 2100.**

Del mismo modo, como se demostró en investigaciones previas, este estudio ilustrará las variaciones en la climatología de la sequía derivadas del conjunto multimodelo CMIP5 bajo el escenario climático RCP 8.5 durante los años del siglo XXI. Se realizará un análisis comparativo de las características de las sequías de larga duración (SPEI-12) previstas para los años 2020-2100, tal como se detalla a continuación.

### INTENSIDAD

### DURACIÓN

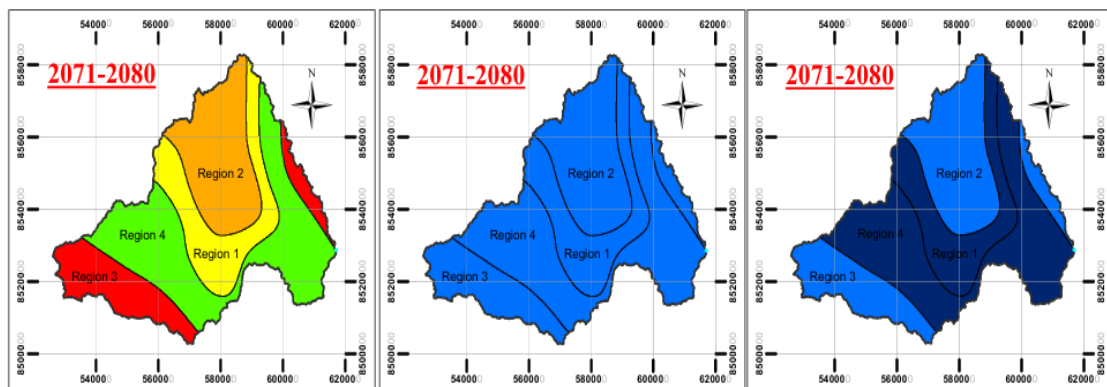
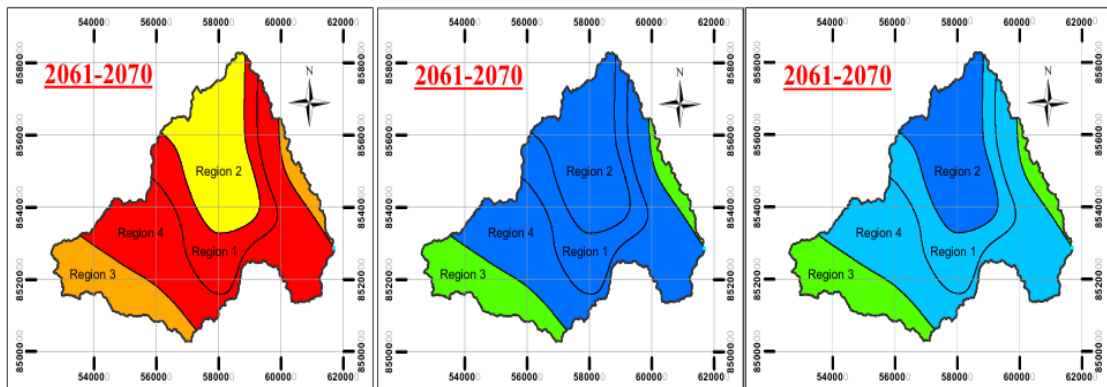
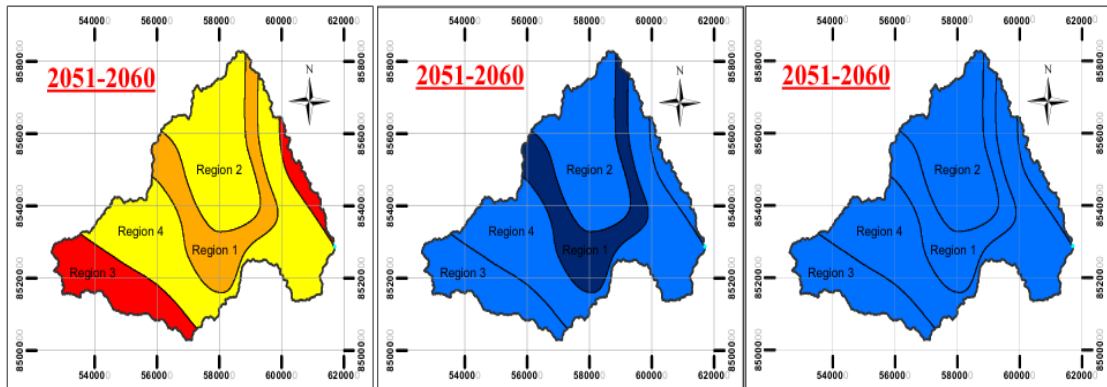
### SEVERIDAD

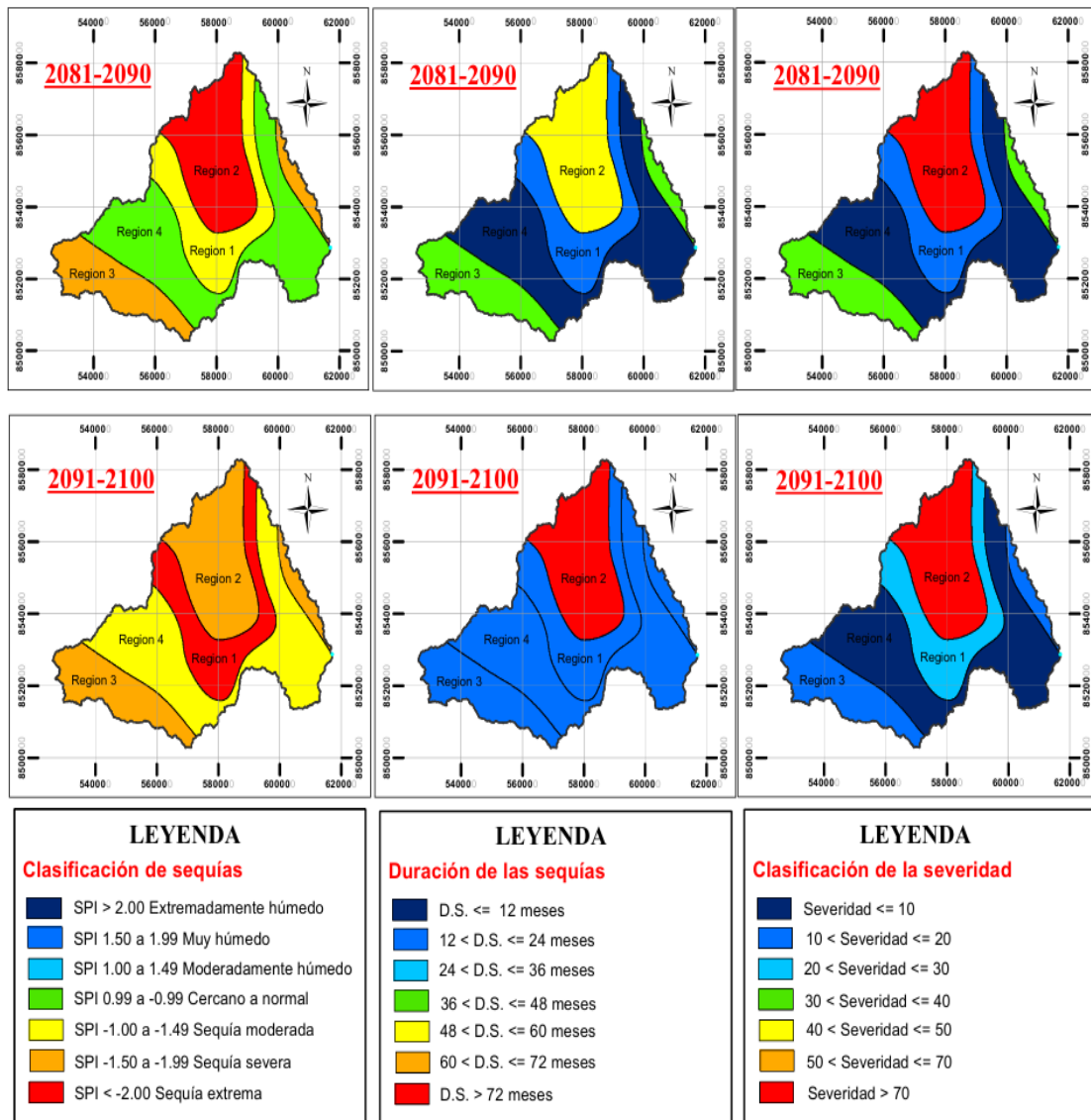


### INTENSIDAD

### DURACIÓN

### SEVERIDAD





**Figura 44.** Características proyectadas de las sequías de largo plazo (SPEI-12)

Fuente: Elaboración propia

Los hallazgos obtenidos en el presente estudio, evidencian un aumento proyectado en la frecuencia de eventos de sequía en la cuenca del río Cachi a lo largo del siglo XXI. A través del análisis del índice SPEI en escalas temporales de 3 y 12 meses, se identificó una tendencia hacia sequías más severas, algunas de las cuales alcanzan valores superiores a -2.0, clasificadas como extremadamente secas, especialmente en las décadas finales del siglo. Asimismo, se ha observado que, si bien ciertas sequías serán de corta duración, otras se extenderán por períodos prolongados, superando los 60 meses, lo que representa un riesgo considerable para la seguridad hídrica de la región.

Este patrón creciente de aridez, está estrechamente relacionado con el aumento previsto en la temperatura media, lo cual influye directamente en el incremento de la evapotranspiración potencial, agravando la severidad de las sequías tanto agrícolas

como hidrológicas. En ese sentido, las proyecciones futuras del SPEI reflejan un escenario en el que la disponibilidad de agua superficial y subterránea podría verse comprometida, impactando negativamente en actividades agrícolas, pecuarias y el abastecimiento de agua potable.

Estos resultados coinciden con lo encontrado por Ruedas et al. (2023) en el valle del Mantaro, Perú, donde también se proyectó un incremento de eventos de sequía hacia finales de siglo bajo escenarios RCP8.5, atribuido al aumento sostenido de temperatura y mayor evapotranspiración potencial.

Frente a este contexto, los resultados adquieren una relevancia estratégica para la planificación del manejo integral de los recursos hídricos en la cuenca. Es necesario que las instituciones encargadas de la gestión del agua consideren estos escenarios en sus procesos de toma de decisiones, incorporando medidas de adaptación que permitan mitigar los efectos adversos de los eventos de sequía proyectados.

Un aspecto no contemplado directamente en este análisis, pero de suma importancia, es el crecimiento poblacional proyectado para las próximas décadas. De acuerdo con Ahmad & Haie (2018), el aumento de la población podría ejercer una presión aún mayor sobre la demanda hídrica que los propios efectos del cambio climático, sobre todo en contextos donde la infraestructura hídrica es limitada o deficiente.

Por lo tanto, la sostenibilidad futura de la cuenca del río Cachi dependerá de una gestión anticipada y adecuada de los recursos hídricos, priorizando el desarrollo de infraestructuras como reservorios, sistemas de riego tecnificado y presas, que permitan almacenar y distribuir el recurso de manera eficiente durante periodos secos. Además, se recomienda complementar estos esfuerzos con estudios hidrogeológicos que permitan aprovechar de forma racional los recursos subterráneos, contribuyendo así a una planificación hídrica sostenible y resiliente frente a escenarios de cambio climático y crecimiento poblacional.

## CONCLUSIONES

1. Se identificó y analizó las diferencias entre los datos de precipitación observados y simulados del producto grillado RAIN4PE, durante el periodo de 1994-2015 en la cuenca del río Cachi; para ello se emplearon pruebas estadísticas como t-Student y F de Fisher, y coeficientes de ajuste como Nash-Sutcliffe (NSE) y la correlación de Pearson (R). Los valores del coeficiente de correlación R oscilaron entre 0.758 y 0.818, indicando una alta correlación temporal entre los datos. En cuanto a la eficiencia del modelo, el coeficiente NSE presentó valores entre 0.314 y 0.602, lo que representa una simulación moderada buena del comportamiento mensual de las precipitaciones. Las pruebas de t y F demostraron que, en la mayoría de las estaciones, no hay diferencias significativas en medias y varianzas, evidenciando la fiabilidad del producto RAIN4PE como fuente alterna de datos climáticos en ausencia de registros observados. Estos resultados permitieron validar el uso del producto RAIN4PE, para fines de análisis hidrológico y caracterización de sequías en esta región altoandina.
2. Se caracterizó la sequía en la cuenca del río Cachi, mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), utilizando una escala temporal de 6 meses. Los resultados evidenciaron una variabilidad espacio-temporal significativa en la ocurrencia de eventos secos durante el periodo de 1994-2015. Se identificaron sequías moderadas y severas especialmente en las zonas medias y bajas de la cuenca. Esta caracterización permitió comprender el comportamiento de la sequía en función del régimen de precipitaciones y altitud, aportando información clave para la gestión de riesgos hídricos en el ámbito local.
3. Se analizó el impacto del cambio climático considerando las características de las sequías futuras en la cuenca del río Cachi, utilizando el Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) a escalas temporales de 3 y 12 meses, empleando datos proyectados por Modelos Climáticos Globales (GCM). Los resultados revelaron una tendencia creciente en la ocurrencia y severidad de sequías hacia finales del siglo XXI, bajo los escenarios más pesimistas. A través de la escala SPEI-3, se evidenció un aumento en la frecuencia de sequías agrícolas de corta duración, mientras que a escala SPEI-12, se proyectaron eventos más prolongados y severos, propios de sequías hidrológicas. Estos hallazgos indican que el incremento en la temperatura media, provocará un aumento en la evapotranspiración potencial, intensificando la aridez incluso en escenarios con ligeras disminuciones en la precipitación. Por tanto, se concluye que el cambio climático representa un factor determinante en la evolución futura de las sequías en

la cuenca del río Cachi, lo cual debe ser considerada en la planificación de estrategias de adaptación y en el diseño de infraestructura hídrica resiliente al clima.

## RECOMENDACIONES

- Fortalecer el monitoreo meteorológico en la cuenca del río Cachi, mediante el mantenimiento y ampliación de estaciones, garantizando datos continuos y confiables para los estudios climáticos e hidrológicos.
- Integrar los índices SPI y SPEI en la planificación de recursos hídricos, especialmente para la gestión agrícola, abastecimiento de agua y prevención de riesgos climáticos, considerando su capacidad de estos indicadores, para identificar sequías a distintas escalas temporales.
- Desarrollar políticas locales de adaptación al cambio climático, priorizando la infraestructura verde como la reforestación, recuperación de bofedales, conservación de zonas de recarga hídrica, uso de andenes tradicionales y zanjas de infiltración, complementadas con infraestructura gris (embalses, canales, presas) y medidas no estructurales como la capacitación y planificación preventiva.
- Capacitar a las autoridades locales y comunidades en el uso e interpretación de los indicadores climáticos (SPI y SPEI), fomentando una cultura preventiva ante eventos extremos como las sequías.
- Considerar el análisis de sequías como requisito previo para el diseño de infraestructuras hidráulicas, con el fin de dimensionarlas adecuadamente para los escenarios futuros de escasez hídrica.
- Establecer sistemas de alerta temprana y criterios de diagnóstico climático e hidrológico, que permitan responder oportunamente a sequías severas mediante una gestión coordinada a nivel local, regional y nacional.
- Promover investigaciones que generen mapas de vulnerabilidad y alertas de riesgo, ante sequías futuras, apoyando la toma de decisiones para el manejo de operación y control de los recursos hídricos a nivel de cuenca y del país.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Abramowitz, M., & Stegun, I. A. (1965). *Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables*. United States Department of Commerce.
- Ahmad, M. T., & Haie, N. (2018). Assessing the impacts of population growth and climate change on performance of water use systems and water allocation in Kano river Basin, Nigeria. *Water Resources Research*, 10(12), 1766. <https://doi.org/10.3390/W10121766>.
- Aliaga, V. (1983). Hidrología estadística. En *McGrawill* (McGrawill).
- Aparicio, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie* (Primera). Noriega.
- Arroyo, N., & Ortiz, L. (2020). *Vulnerabilidad de la cuenca del río Negro frente a la sequía e inundación a partir del índice estandarizado de precipitación en el periodo 1901-2020*. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/3751>.
- Ayala, I. (2016). *Predicción de sequías con redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos utilizando precipitación por percepción remota* [Universidad Nacional de Ingeniería ]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/9394>.
- Aybar, C., Lavado, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., & Felipe, O. (2017). Uso del producto grillado PISCO de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. En *Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017*. <http://hdl.handle.net/20.500.12542/260>.
- Caicedo, F. (2008). *Asimilación de precipitación estimada por imágenes de satélite en modelos hidrológicos aglutinados y distribuidos, caso de estudio afluencias al Embalse de Betania (Huila, Colombia)* [Pontificia Universidad Javeriana]. <https://doi.org/https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.3807>.
- Campos, D. F. (2012). Estimación de la severidad de sequías ambientales mediante registros de lluvia mensual. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3, 123–130. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531976008>.
- Cannon, A. J., Sobie, S. R., & Murdock, T. Q. (2015). Bias correction of GCM precipitation by Quantile Mapping: how well do methods preserve changes in

- quantiles and extremes? *Journal of Climate*, 28(17), 6938–6959. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1>.
- Carbajal, G. (2017). *Estimación del índice de sequía a partir de datos imágenes NDVI y LST del sensor MODIS y TRMM para las regiones de Lambayeque, Piura y Cajamarca-Perú, durante el periodo 2000-2013*. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/7235>.
- CENAPRED. (2002). *Sequías* (V. Ramos, Ed.; Primera). [www.cenapred.gob.mx](http://www.cenapred.gob.mx)
- Changnon, S. A., & Easterling, W. E. (1989). Measuring drought impacts: the Illinois case. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 25(1), 27–42. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1989.tb05663.x>.
- Chaulagain, D., Aroca, O. F. M., Same, N. N., Yakub, A. O., Nsafon, B. E. K., Suh, D., Triolo, J. M., & Huh, J.-S. (2023). Extreme dry and wet events in the Pacific region of Colombia estimated in the 21st century based on the Standardized Precipitation Index and CORDEX climate projections. *Atmosphere*, 14(2), 260. <https://doi.org/10.3390/atmos14020260>.
- Dracup, J. A., Lee, K. S., & Paulson, E. G. (1980). On the Definition of Droughts. En *Water Resources Research* (Vol. 16, pp. 297–302). <https://doi.org/10.1029/WR016i002p00297>.
- Edwards, D. C., & Mckee, T. B. (1997). *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales*.
- Fernandez, C., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lobanova, A., Vega, F., Lavado, W., Santini, W., Aybar, C., & Bronstert, A. (2022). *A Novel High-Resolution Gridded Precipitation Dataset for Peruvian and Ecuadorian Watersheds: Development and Hydrological Evaluation*. 309–336. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0285.1>.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
- Giorgetta, M. A., Jungclaus, J., Reick, C. H., Legutke, S., Bader, J., Böttinger, M., Brovkin, V., Crueger, T., Esch, M., Fieg, K., Glushak, K., Gayler, V., Haak, H., Hollweg, H., Ilyina, T., Kinne, S., Kornblueh, L., Matei, D., Mauritsen, T., ... Stevens, B. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *Journal of*

- Advances in Modeling Earth Systems*, 5(3), 572–597.  
<https://doi.org/10.1002/JAME.20038>.
- Greenpeace. (2019). *Cambio climático*. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/>
- Haan, C. T. (1977). *Statistical Methods in Hydrology*. The Iowa State University Press.
- Iglewicz, B., & Hoaglin, D. (1993). *How to detect and handle outliers* (Vol. 16).
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis* (R. K. Pachauri & A. Reisinger, Eds.). Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC. (2013). *Climate change 2013: the physical science basis*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Kulik, M. S. (1962). *Agroclimatic indices of drought* (F. F. Davidaya & M. S. Kulik, Eds.). Hydrometeorological.
- Kundzewicz, Z. W., Rosbjerg, D., Simonovic, S. P., & Takeuchi, K. (1993). *Extreme hydrological events: precipitation, floods and droughts*. [https://books.google.com/books/about/Extreme\\_Hydrological\\_Events.html?hl=es&id=ioNNAQAIAAJ](https://books.google.com/books/about/Extreme_Hydrological_Events.html?hl=es&id=ioNNAQAIAAJ).
- Ley de Recursos Hídricos, Diario Oficial El Peruano (2009). <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf>
- Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Burges, S. J. (1994). A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, 99(D7). <https://doi.org/10.1029/94jd00483>.
- Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A. M., Chandler, R. E., Kendon, E. J., Widmann, M., Brienen, S., Rust, H. W., Sauter, T., Themel, M., Venema, V. K. C., Chun, K. P., Goodess, C. M., Jones, R. G., Onof, C., Vrac, M., & Thiele-Eich, I. (2010). Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of Geophysics*, 48(3). <https://doi.org/10.1029/2009RG000314>.
- Marcos, Ó. (2001a). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas*, 26, 59–80. <https://doi.org/https://doi.org/10.14198/INGEO2001.26.06>.

- Marcos, Ó. (2001b). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. En *Investigaciones Geográficas, no* (Vol. 26).
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. En *Eighth Conference on Applied Climatology*.
- Mishra, A. K., & Desai, V. R. (2005). Drought forecasting using stochastic models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(5), 326–339. <https://doi.org/10.1007/s00477-005-0238-4>.
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. En *Journal of Hydrology* (Vol. 391, Números 1–2, pp. 202–216). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>.
- Molnar, P. (2011). *Calibration, watershed modelling*. Zürich: Institute of Environmental Engineering. ETH Zürich.
- Moriasi, D., Arnold, J., Liew, M., Bingner, R., Harmel, R., & Veith, T. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. En *Transactions of the ASABE* (Vol. 50, Número 3).
- Muñoz, J. (2019). *Determinación de Índices de Sequía en la Cuenca Transfronteriza del río Zarumilla*. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/24019>.
- NDMC. (1999). *Drought Monitor: State of the Art Blend of Science and Subjectivity*. <http://enso.unl.edu/monitor/archive/99/classify.htm>.
- Neelin, J. D., Langenbrunner, B., Meyerson, J. E., Hall, A., & Berg, N. (2013). California winter precipitation change under global warming in the coupled model intercomparison project phase 5 ensemble. *Journal of Climate*, 26(17), 6238–6256. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00514.1>.
- OMM. (2012). *Índice normalizado de precipitación - Guía del usuario*. <https://library.wmo.int/idurl/4/31495>.
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica “Ciclo hidrológico”* (Z. Novoa, Ed.). <https://isbn.cloud/9789972602771/cartilla-tecnica-ciclo-hidrologico/>
- Orlando, M., & Ibujes, S. (2012). *Coeficiente de correlación de Karl Pearson*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/766>.
- Orozco, I., Ramírez, A. I., & Francés, F. (2018). Modelación de los impactos del Cambio Climático sobre los flujos y almacenamientos en una cuenca de alta montaña. *Ingeniería del agua*, 22(3), 125. <https://doi.org/10.4995/ia.2018.8931>.

- Palmer, W. C. (1965). Meteorological Drought. En *Research Paper N. 45*. Department of Commerce Weather Bureau.
- Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Melo, P., Dewitte, B., Frappart, F., Lavado, W., & Felipe, O. (2017). Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast. *International Journal of Climatology*, 37(1), 143–158. <https://doi.org/10.1002/JOC.4693>.
- Rivera, J. A. (2014). *Aspectos climatológicos de las sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica. Análisis regional y proyecciones futuras* [Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires]. [http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n5504\\_Rivera](http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n5504_Rivera).
- Ruedas, D. P. R. A., Popli, K., Guerra, L. S., & Madaki, S. G. (2023). Spatio-temporal drought assessment using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) over Mantaro Valley, Peru. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(3). <https://doi.org/10.18271/ria.2023.525>.
- Santiago, J. (2016). *Cálculo de sequía asociado al cambio climático*. [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. COLPOS Digital. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/3640>.
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. En *Bulletin of the American Meteorological Society* (Vol. 93, Número 4, pp. 485–498). <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.
- Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55. <https://doi.org/10.2307/210739>.
- Trouet, V., & Van Oldenborgh, G. J. (2013). KNMI Climate Explorer: A Web-Based Research Tool for High-Resolution Paleoclimatology. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-69.1.3>, 69(1), 3–13. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-69.1.3>.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., & Alcántara, J. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas* (Primera Edición).
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.

Villón, M. (2002). *Hidrología* (Segunda Edición).

Villón, M. (2005). *Hidrología estadística*.

White, D. H., & Walcott, J. (2009). *The role of seasonal indices in monitoring and assessing agricultural and other droughts: a review* (Crop & Pasture Scinc).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1071/CP08378>.

Wilhite, D., & Glantz, M. (1985). *Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions*.  
<http://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub><http://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/20>.

Yevjevich, V. (1969). An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Journal of Hydrology*, 7(3), 353.  
[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(69\)90110-3](https://doi.org/10.1016/0022-1694(69)90110-3).

## **ANEXOS**



**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E  
HIDROLOGIA DEL PERU**  
UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION



REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **SAN PEDRO DE CACHI** Latitud: : 13° 5' 14.72" S Dpto: AYACUCHO  
 CODIGO : 6205 Longitud: : 74° 23' 26.4" W Prov: HUAMANGA  
 Altitud: : 3247 msnm Dist: SAN TIAGO DE PIS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	161.2	145.1	131.5	37.8	19.5	8.8	0.0	1.7	12.0	37.1	57.9	79.1
1995	90.7	70.6	91.4	22.7	3.3	8.7	3.0	8.5	10.6	58.5	90.4	47.3
1996	93.0	127.8	160.9	66.1	1.1	2.5	3.5	43.3	28.9	45.0	45.3	95.0
1997	163.2	160.7	75.9	39.8	7.0	0.0	4.5	31.6	34.1	14.3	112.5	103.2
1998	146.6	146.8	96.3	14.5	0.4	6.6	0.0	10.0	0.8	61.7	54.4	70.4
1999	104.0	141.7	148.1	60.3	4.8	3.7	3.4	1.5	49.1	27.9	50.1	70.9
2000	128.7	167.8	96.1	21.7	19.1	10.9	44.2	6.1	7.3		18.7	79.9
2001	184.0	96.2	114.9	24.2	39.1	4.0	22.9	12.7	10.0	31.9	66.1	132.2
2002	118.8		143.8	26.0	33.0	2.2	38.6	11.4	34.5	57.3		82.3
2003	102.7	211.5	113.4					34.1	22.0	6.5	33.5	111.5
2004	45.9	137.8	110.7	23.6	10.7		9.3	9.6	30.0	25.7	47.1	181.6
2005	67.0	106.1	98.3	12.3	4.7	0.0	7.7	9.6	19.2	58.3	28.6	114.5
2006	136.2	114.3	96.7	95.5	2.5	5.7	0.0	24.4	19.4		60.8	110.0
2007	104.7	79.7	166.9	47.3	7.5	0.0	8.8	0.0	13.3	49.0	35.2	
2008	125.4	105.8	54.0	10.9	23.1	4.8	0.0	1.2	13.4	29.0	19.4	100.8
2009	199.8	166.5	60.7	53.1	11.5	0.0	20.6	3.5	11.9	40.4	111.0	132.0
2010	224.2	99.9	65.2	36.4	8.5	0.5	3.2	11.8	20.9	33.2	43.8	152.4
2011	187.4	222.3	157.8	109.0	4.3	0.0	11.3	0.9	21.3	53.2	56.3	113.1
2012	84.7	190.2		61.2	28.9	17.3	12.0	5.6	27.1	32.9	34.8	144.1
2013	145.8	102.3			47.3	8.2	12.8	44.3	13.2	43.1	56.5	206.2
2014	216.3	68.3	180.7	25.0	35.3	6.7	14.6	8.6	43.6	61.1	42.5	88.1
2015	188.5	155.6	122.6	34.1								
2016	60.7	130.5	78.1	36.6		0.5	11.4	9.7	1.5	28.8	28.2	83.2
2017	216.7	201.9	132.1	56.6	39.0	0.0	3.6	4.7	25.2	64.7	40.1	86.0
2018	123.1		131.7	46.9	4.6	9.6	24.2	29.0	7.3	89.0	60.2	30.2
2019	229.0	231.4	163.6	24.9	19.4	4.7	11.1	0.0	18.2	27.3	93.7	188.0
2020	75.2	113.1	123.5	12.0	29.7	0.8	2.9		20.9	19.6	4.8	131.6
2021	160.2	98.4	143.2	104.2		10.0	3.7	2.8	9.1	46.2	76.8	61.7
2022	129.5	152.8	150.7	59.2	4.6	1.8	0.0	5.9	24.5	2.3	4.9	100.5
2023	132.0	161.0	75.1	31.7			5.2	0.3	11.7	32.7	100.5	130.0
PROM	4145.2	3906.1	3283.9	1193.6	408.9	118.0	282.5	332.8	561.0	1076.7	1474.1	3025.8

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E  
HIDROLOGIA DEL PERU**



**UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION**

**REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)**

**ESTACION** : LA QUINUA      **Latitud:** : 13° 3' 19.7" S      **Dpto:** AYACUCHO  
**CODIGO** : 663      **Longitud:** : 74° 8' 29.7" W      **Prov:** HUAMANGA  
**Altitud:** : 3215 msnm      **Dist:** QUINUA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	119.3	138.0	100.3	82.2	4.0	7.3	0.0	17.0	32.4	32.5	54.3	146.8
1995	188.5	142.0	146.6	26.0	34.1	1.3	2.3	1.0	20.6	54.2	86.7	58.6
1996	91.3	110.6	128.3	47.8	2.3	0.0	0.5	17.0	30.3	35.7	49.4	82.6
1997	185.7	146.0	128.8	59.9	10.6	0.0	4.0	33.7	58.2	13.1	81.5	105.2
1998	105.5	173.2	141.4	20.2	6.2	4.7	0.0	6.4	5.8	79.5	57.0	71.2
1999	114.4	159.6	139.1	25.7	1.2	4.0	9.4	0.0	78.5	27.2	71.4	125.7
2000	146.1	205.2	126.5	19.6	41.5	11.2	43.7	5.8	16.8	64.1	14.5	111.6
2001	218.3	114.0	155.4	30.3	48.2	5.3	43.5	21.1	33.7	63.0	102.7	106.9
2002	91.5	173.2	111.3	33.8	31.4	1.4	46.9	15.7	73.2	51.6	105.8	170.4
2003	65.1	191.4	202.4	86.6	26.4	2.6	0.3	30.2	39.8	1.6	32.2	113.2
2004	73.8	106.5	92.5	8.6	16.1	15.6	21.6	14.4	34.8	47.6	64.8	173.5
2005	67.8	121.0	106.4	48.1	17.5	0.6	6.4	0.6	20.7	52.3	52.8	146.7
2006	115.2	125.3	152.6	55.5	1.2	2.4	0.0	14.3	6.9	48.8	93.5	82.6
2007	136.3	89.7	197.9	66.2	15.2	0.0	13.4	1.3	30.9	72.4	78.5	117.1
2008	106.7	157.8	95.6	29.9	24.5	10.0	7.1	1.4	27.1	59.4	41.6	75.2
2009	150.5	174.8	59.5	55.9	26.7	0.4	6.1	8.7	36.7	50.6	113.7	109.9
2010	138.7	120.2	124.8	23.0	8.6	0.0	6.6	15.0	17.3	91.2	33.9	132.9
2011	188.9	208.2	170.4	61.6	17.3	5.6	6.6	5.2	67.7	68.7	96.4	121.9
2012	95.4	245.8	112.3	57.8	14.5	12.2	19.2	11.2	37.9	39.5	71.1	208.3
2013	151.8	145.5	102.4	12.5	24.1	13.2	10.4	44.3	22.5	94.6	100.1	182.0
2014	186.0	142.2	167.9	42.3	14.8	0.0	35.1	2.1	62.5	80.0	45.4	141.4
2015	155.7	145.4	90.7	34.3	39.5	1.2						
2016	76.1	174.7	71.1	32.4	27.4	0.4	9.7	4.8	38.4	67.0	46.6	109.0
2017	147.5	215.6	110.3	63.2	41.0	0.3	5.5	16.0	55.8	34.9	51.9	120.5
2018	157.6	118.6	102.7	42.3	34.6	5.7	20.7	41.0	8.3	98.5	84.1	61.0
2019	159.7	188.1	183.1	48.1	27.4	0.4	4.6	0.0	9.2	40.9	91.1	225.5
2020	111.8	116.1	136.1	28.5	19.9		0.0	1.8	15.2	26.7	12.2	141.4
2021			161.2	76.0	12.6	6.9	0.2	22.8	9.7	60.3	81.6	105.5
2022	135.2	135.5	117.6	43.3	9.5	2.9	1.9	16.5	15.6	16.9	12.8	72.0
2023	95.4	161.0	48.4	49.2	40.1	0.6	0.0	13.2	47.4		59.4	135.1
PROM	3775.8	4445.2	3783.6	1310.8	638.4	116.2	325.7	382.5	953.9	1472.8	1887.0	3553.7





**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**SUB GERENCIA DE OBRAS**



RED HIDROMETEOROLOGICA-OPEMAN

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **ALLPACHACA** Latitud: : 13°23'19" S **Dpto:** AYACUCHO  
 CÓDIGO : 008 Longitud: : 74°16'00" W **Prov:** HUAMANGA  
 Altitud: : 3550 msnm **Dist:** CHIARA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2013	123.2	113.5	112.3	21.5	42.1	51.8	29.3	32.8	3.8	62.2	52.3	162.3
2014	165.1	102.2	135.6	62.0	26.8	18.0	13.0	10.5	57.1	37.3	32.5	94.9
2015	130.6	105.8	130.9	65.8	36.5	13.0	46.0	48.4	0.0	45.8	53.4	113.0
2016	28.0	156.5	69.2	39.5	8.8	25.0	15.0	3.2	8.2	37.9	14.0	100.0
2017	212.5	239.1	157.8	108.5	65.2	9.3	16.5	9.0	47.0	105.6	44.0	50.3
2018	61.3	120.2	157.9	68.4	15.5	27.5	20.0	48.3	9.0	51.0	42.6	53.1
2019	100.4			51.2	114.8	6.2	32.0	0.0	20.1	70.9	107.3	208.2
2020	89.4	131.8	143.4	17.4	25.5	0.0	0.0	3.2	31.8	21.8	7.0	130.3
2021	184.0	85.8	144.8	118.9	30.4	4.0	0.0	0.0	17.5	46.6	75.7	89.9
2022	145.5	144.4	156.7	47.0	32.3	16.1	0.0	5.6	15.7	10.8	17.7	103.4
2023	157.8	189.5	118.5	18.8	40.2	0.0	0.0	0.0	71.0	35.6	84.4	127.2
PROM	1397.8	1388.8	1327.1	619.0	438.1	170.9	171.8	161.0	281.2	525.5	530.9	1232.6



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**SUB GERENCIA DE OBRAS**



RED HIDROMETEOROLOGICA-OPEMAN

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **APACHETA** Latitud: : 13°20'51" S **Dpto:** AYACUCHO  
 CÓDIGO : 031 Longitud: : 74°38'44" W **Prov:** CANGALLO  
 Altitud: : 4150.0 msnm **Dist:** PARAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2013	234.9	186.9	149.2	31.0	59.5	45.3	20.5	43.4	21.6	78.2	48.5	186.6
2014	221.8	148.1	169.3	66.4	25.0	10.3	33.2	68.8	97.1	82.6	66.3	137.7
2015	253.1	167.2	142.2	106.8	47.0	18.8	15.3	28.4	66.4	61.5	49.0	181.4
2016	73.9	231.4	88.3	91.4	23.3	14.2	14.5	25.3	0.0	62.2	45.4	93.5
2017	330.8	258.5	195.3	96.2	38.2	7.4	11.6	7.4	42.7	77.7	65.4	101.5
2018	245.1	182.5	238.7	97.2	32.6	30.3	33.3	67.9	13.1	77.4	35.2	93.1
2019	206.0	256.6	193.3	82.9	30.9	15.6	37.5	0.0	39.1	54.9	172.9	214.1
2020	156.3	274.8	181.0	73.8	59.7	7.7	0.0	3.4	37.5	42.5	32.7	229.3
2021	204.2	121.1	175.8	88.1	49.7	25.7	22.6	23.2	45.4	80.1	87.0	112.2
2022	225.7	257.1	185.3	83.9	18.2	2.8	4.5	18.0	4.3	20.4	4.9	183.8
2023	202.8	215.4	198.7	70.5	61.3	0.0	11.6	13.6	54.6	83.6	145.0	132.5
PROM	2354.6	2299.6	1917.1	888.2	445.4	178.1	204.6	299.4	421.8	721.1	752.3	1665.7



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**SUB GERENCIA DE OBRAS**



RED HIDROMETEOROLOGICA-OPEMAN

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **CHIARA**      Latitud: : 13°17'25.45" S      Dpto: AYACUCHO  
 CÓDIGO : 009      Longitud: : 74° 12' 39.64" W      Prov: HUAMANGA  
 Altitud: : 3400 msnm      Dist: CHIARA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2013	142.5	169.8	119.6	4.5	38.0	14.0	12.5	46.5	6.7	70.8	55.5	111.5
2014	203.8	139.5	147.8	59.0	84.0	0.0	11.5	74.5	44.5	53.1	26.9	90.5
2015	196.2	0.0	91.5	30.5	19.0	1.8	19.5	44.8	10.0	35.8	47.4	127.5
2016	60.4	164.8	48.5	45.5	20.0	2.0	9.5	3.0	2.7	59.8	3.0	51.2
2017	228.2	198.6	194.2	69.7	25.5	0.0	11.0	3.4	21.5	78.6	44.1	88.7
2018	169.2	112.5	186.5	53.6	8.4	17.7	26.0	33.7	17.0	50.3	60.0	33.5
2019	146.0	185.5	111.5	19.0	25.7	8.5	13.5	0.0	18.5	24.3	88.0	150.7
2020	104.2	176.1	179.8	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	16.0	11.5	16.5	142.0
2021	175.0	125.1	179.2	72.5	18.0	0.0	9.0	4.0	21.5	38.6	52.5	41.5
2022	100.5	98.7	112.5	26.5	8.0	2.0	0.0	2.0	9.5	8.0	15.5	64.0
2023	101.1	137.4	67.0	42.5	39.5	0.0	0.0	13.9	21.0	35.5	84.0	92.6
PROM	1627.1	1508.0	1438.1	423.3	301.4	46.0	112.5	225.8	188.9	466.3	493.4	993.7



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**SUB GERENCIA DE OBRAS**



RED HIDROMETEOROLOGICA-OPEMAN

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **CHOCCORO**      Latitud: : 13° 24' 48" S      Dpto: AYACUCHO  
 CÓDIGO : 016      Longitud: : 74° 28' 23" W      Prov: CANGALLO  
 Altitud: : 4025 msnm      Dist: PARAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2013	168.1	114.2	159.2	2.8	17.3	83.4	31.5	40.2	45.9	82.2	38.8	151.2
2014	270.8	172.0	143.7	55.6	38.0	11.2	36.3	66.4	133.8	102.0	76.8	136.0
2015	265.1	227.9	182.1	103.7	55.9	3.5	8.7	6.5	8.5	31.6	55.5	53.9
2016	7.1	26.7	29.5	63.2	9.6	19.0	8.1	22.5	15.7	29.8	15.0	113.6
2017	280.3	254.4	205.4	84.9	43.6	4.9	8.2	3.6		95.4	54.4	66.1
2018	242.7	185.0	211.5	65.0	16.8	49.3	30.3	85.8	13.4	75.7	42.4	74.1
2019	220.7	168.7	190.1	45.2	20.3	16.9	51.7	0.0	9.9	66.9	127.3	197.6
2020	158.2	230.0	285.4	43.4	53.4	3.2	0.2	40.8	41.7	16.1	17.3	204.2
2021	243.0	124.6	189.5	62.1	61.9	41.2	5.8	12.2	26.9	72.3	97.8	96.5
2022	212.0	228.0	204.3	61.9	23.5	20.4	0.8	6.0	12.7	8.9	24.7	164.5
2023	180.6	278.9	185.0	41.4	56.5	0.0	16.1	4.7	40.9	75.6	74.0	126.9
PROM	2248.6	2010.4	1985.7	629.2	396.8	253.0	197.7	288.7	349.4	656.5	624.0	1384.6



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**SUB GERENCIA DE OBRAS**



RED HIDROMETEOROLOGICA-OPEMAN

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **TAMBILLO**      Latitud: :13° 13' 06,72" S      **Dpto:** : AYACUCHO  
CÓDIGO : 002      Longitud: :74° 06' 22,68" W      **Prov:** : HUAMANGA  
Altitud: : 3250 msnm      **Dist:** : TAMBILLO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2013	149.3	123.2	94.3	21.3	22.9	9.0	12.7	35.8	10.2	77.2	66.7	152.9
2014	194.4	107.9	186.6	40.9	15.8	0.0	17.2	1.7	61.5	92.1	55.2	143.3
2015	159.3	146.7	108.6	27.8	29.4	7.9	30.1	60.2	9.7	35.4	44.7	155.1
2016	49.3	158.8	8.3	28.1	17.6	44.7	8.5	6.3	20.3	50.4	60.1	67.7
2017	156.6	195.6	136.2	71.3	38.9	6.6	13.3	7.7	24.0	64.8	42.5	123.5
2018	156.6	124.6	121.7	32.7	11.2	10.6	30.6	39.3	13.9	52.9	39.6	64.5
2019	132.4	195.3	143.2	28.3	9.2	6.4	5.9	0.0	12.5	24.5	122.6	204.9
2020	60.7	169.3	97.8	10.1	24.0	4.4	0.5	3.2	68.9	14.5	12.4	115.5
2021	121.0	112.7	154.5	88.4	22.5	3.7	1.9	2.3	13.6	38.3	79.8	57.5
2022	129.3	122.8	239.3	37.9	10.0	2.3	0.0	10.7	23.7	10.4	18.3	97.7
2023	128.5	146.2	62.7	30.8	33.2	0.0	0.8	6.2	36.5	35.6	38.6	89.2
PROM	1437.4	1603.1	1353.2	417.6	234.7	95.6	121.5	173.4	294.8	496.1	580.5	1271.8

**Anexo 2.** Datos corregidos y completados de precipitaciones mensuales por estación meteorológica utilizados para el análisis.

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E  
HIDROLOGIA DEL PERU**



**UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION**

**REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)**

**ESTACION** : **WAYLLAPAMPA**      **Latitud:** : 13° 4' 35.4" S      **Dpto:** AYACUCHO  
**CODIGO** : 664      **Longitud:** : 74° 12' 59.4" W      **Prov:** HUAMANGA  
**Altitud:** : 2470 msnm      **Dist:** AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	130.8	85.2	111.1	29.2	14.0	10.3	11.2	10.3	21.1	20.0	39.8	84.6
1995	130.5	124.5	64.7	17.5	26.9	12.2	12.9	12.3	18.3	28.6	49.2	34.7
1996	72.2	105.3	112.1	45.8	11.7	10.0	10.0	22.3	22.4	24.4	40.8	59.2
1997	140.4	87.4	60.3	29.0	11.0	10.0	12.0	24.4	44.4	10.5	71.1	85.2
1998	124.5	90.9	77.4	22.8	10.0	11.0	10.0	11.0	12.2	33.3	15.6	64.4
1999	101.5	107.8	70.4	28.6	10.0	10.0	11.5	10.0	47.9	20.3	81.5	57.4
2000	80.8	144.2	137.9	21.5	27.4	22.6	30.5	16.7	16.5	33.7	19.4	86.7
2001	212.2	126.1	93.3	28.6	36.4	15.2	39.8	25.2	27.7	46.8	58.3	37.1
2002	77.1	105.4	159.3	30.2	18.4	6.2	32.2	22.1	28.6	21.9	76.6	77.6
2003	36.1	148.8	103.7	69.5	8.8	5.9	0.0	18.0	20.0	0.0	24.8	56.3
2004	96.0	71.4	60.3	12.2	11.8	9.4	20.9	11.5	25.8	37.7	34.9	113.8
2005	55.9	53.8	42.5	19.5	27.0	0.0	6.9	8.7	8.8	45.0	28.6	79.5
2006	98.0	82.0	104.3	33.6	10.3	7.9	6.8	16.4	20.1	37.6	77.9	66.1
2007	53.9	63.4	101.7	35.8	25.0	12.1	8.2	9.9	16.1	41.0	36.6	63.7
2008	74.3	68.5	42.6	17.4	23.8	6.6	4.6	7.3	13.2	15.9	25.8	61.7
2009	87.8	117.8	36.2	43.8	17.0	4.7	7.5	11.0	16.6	37.7	65.8	112.2
2010	105.3	89.1	52.8	19.7	11.2	0.0	6.2	13.3	16.2	41.2	27.7	82.3
2011	119.3	157.2	89.5	34.6	17.5	4.5	12.6	5.0	39.1	34.3	72.6	88.1
2012	75.5	122.7	73.7	65.1	35.0	10.5	12.5	5.4	31.6	27.1	67.5	126.4
2013	99.5	94.6	96.0	12.9	12.6	6.9	9.3	32.3	29.3	66.6	57.6	110.4
2014	124.8	75.8	112.9	25.0	14.7	0.0	7.3	7.6	38.4	58.7	27.3	88.3
2015	133.8	109.6	101.9	24.6	41.5	31.4	18.1	38.8	17.3	36.6	36.1	114.7
2016	55.2	129.9	55.2	31.8	9.8	4.5	9.0	13.1	13.7	29.6	30.9	69.5
2017	92.2	133.5	74.6	45.2	27.1	0.0	10.9	12.2	29.0	29.9	43.8	65.1
2018	89.5	108.3	63.5	21.0	10.3	7.9	21.3	36.9	19.5	62.7	76.3	39.0
2019	96.8	123.4	97.6	31.0	9.8	4.9	10.2	0.0	7.9	18.1	86.9	131.1
2020	61.0	62.1	74.1	20.1	24.6	0.0	5.6	6.4	18.2	18.3	9.2	57.1
2021	82.0	81.7	98.0	55.9	20.3	10.1	10.0	5.6	11.6	28.0	39.5	41.4
2022	96.3	79.8	99.6	29.4	0.0	0.0	13.8	16.4	17.1	10.2	16.2	49.7
2023	73.7	75.3	53.9	32.8	28.0	5.0	0.0	6.9	43.1	30.3	31.4	91.5
<b>PROM</b>	<b>2876.8</b>	<b>3025.3</b>	<b>2521.1</b>	<b>934.1</b>	<b>552.0</b>	<b>239.6</b>	<b>371.6</b>	<b>437.0</b>	<b>691.6</b>	<b>946.1</b>	<b>1369.4</b>	<b>2294.8</b>

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E  
HIDROLOGIA DEL PERU**  
UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION



REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **SAN PEDRO DE CACHI** Latitud: : 13° 5' 14.72" S Dpto: AYACUCHO  
 CODIGO : 6205 Longitud: : 74° 23' 26.4" W Prov: HUAMANGA  
 Altitud: : 3247 msnm Dist: SAN PEDRO DE PI

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	161.2	145.1	131.5	37.8	19.5	8.8	0.0	1.7	12.0	37.1	57.9	79.1
1995	90.7	70.6	91.4	22.7	3.3	8.7	3.0	8.5	10.6	58.5	90.4	47.3
1996	93.0	127.8	160.9	66.1	1.1	2.5	3.5	43.3	28.9	45.0	45.3	95.0
1997	163.2	160.7	75.9	39.8	7.0	0.0	4.5	31.6	34.1	14.3	112.5	103.2
1998	146.6	146.8	96.3	14.5	0.4	6.6	0.0	10.0	0.8	61.7	54.4	70.4
1999	104.0	141.7	148.1	60.3	4.8	3.7	3.4	1.5	49.1	27.9	50.1	70.9
2000	128.7	167.8	96.1	21.7	19.1	10.9	44.2	6.1	7.3	50.3	18.7	79.9
2001	184.0	96.2	114.9	24.2	39.1	4.0	22.9	12.7	10.0	31.9	66.1	132.2
2002	118.8	149.9	143.8	26.0	33.0	2.2	38.6	11.4	34.5	57.3	103.6	82.3
2003	95.3	188.1	104.4	63.2	20.5	5.4	4.4	36.7	26.4	13.2	36.2	102.8
2004	46.8	125.2	102.1	27.8	16.8	17.5	15.6	15.8	33.2	29.6	47.8	151.2
2005	64.8	98.2	91.5	18.1	11.6	0.0	14.2	15.8	24.0	57.4	32.0	138.0
2006	123.9	105.2	90.2	89.1	9.8	12.5	0.0	28.5	24.2	44.8	59.5	63.1
2007	97.0	75.7	150.1	48.0	14.0	0.0	15.1	0.0	19.0	49.4	37.7	99.1
2008	114.7	97.9	53.7	16.9	27.3	11.7	0.0	8.6	19.1	32.4	24.2	63.4
2009	178.2	149.7	59.4	52.9	17.4	0.0	25.2	10.6	17.8	42.1	102.4	151.9
2010	199.0	92.9	63.3	38.7	14.9	8.1	10.4	17.7	25.5	36.0	45.0	130.5
2011	167.6	197.4	142.3	100.7	11.3	0.0	17.3	8.4	25.8	53.0	55.7	106.2
2012	79.9	170.0	103.1	59.9	32.3	22.4	17.9	12.4	30.8	35.7	37.3	184.9
2013	132.1	94.9	96.3	14.1	48.0	14.6	18.5	45.4	18.9	44.4	55.8	156.8
2014	192.2	65.9	161.9	29.0	37.8	13.3	20.1	15.0	44.8	59.8	43.9	84.2
2015	168.5	140.4	112.3	36.7	25.9	15.7	22.9	40.2	21.3	34.4	49.7	116.0
2016	59.4	119.0	74.3	38.9	12.1	8.1	17.4	15.9	8.9	32.2	31.7	65.1
2017	192.6	180.0	120.4	55.9	40.9	0.0	10.7	11.6	29.1	62.8	41.9	77.9
2018	112.7	118.5	120.0	47.7	11.6	15.8	28.3	32.4	13.9	83.6	59.0	51.1
2019	203.1	205.1	147.3	28.9	24.2	11.6	17.1	0.0	23.2	30.9	87.6	177.3
2020	71.8	104.2	113.0	17.9	33.0	8.3	10.1	10.1	25.5	24.4	11.7	115.2
2021	144.4	91.6	129.9	96.6	26.7	16.2	10.8	10.0	15.4	47.1	73.2	67.6
2022	118.2	138.0	136.3	58.2	11.6	9.2	0.0	12.7	28.5	9.6	11.8	90.2
2023	120.3	145.0	71.7	34.7	42.4	3.7	12.1	7.9	17.6	35.5	93.4	98.9
PROM	3872.4	3909.5	3302.2	1286.7	617.1	241.5	407.8	482.4	680.0	1242.2	1636.5	3051.4







**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**SUB GERENCIA DE OBRAS**



RED HIDROMETEOROLOGICA-OPEMAN

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **INIA CAANAN** Latitud: : 13°10'09" S Dpto: AYACUCHO  
 CÓDIGO : 031 Longitud: : 74°12'82" W Prov: HUAMANGA  
 Altitud: : 2735 msnm Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	115.8	103.6	101.7	30.7	12.9	8.7	6.6	8.7	14.9	19.7	31.3	71.6
1995	95.9	72.0	77.6	14.7	12.8	6.7	7.6	6.9	13.0	30.4	58.9	31.2
1996	66.7	103.0	111.1	36.7	6.9	6.4	6.3	21.8	19.2	24.8	30.4	76.3
1997	126.6	111.0	58.7	28.3	10.7	6.3	7.9	22.8	29.6	11.1	77.4	73.0
1998	112.0	120.0	74.4	13.4	8.3	8.5	6.3	8.6	8.5	40.0	28.0	52.6
1999	76.6	104.9	100.0	27.0	6.2	7.3	8.9	6.4	40.3	14.6	45.3	55.5
2000	99.0	140.0	102.5	13.5	18.4	14.6	29.5	12.1	12.9	32.3	14.3	64.4
2001	136.3	98.8	97.4	15.5	28.6	12.4	24.7	13.2	12.9	29.4	50.6	88.7
2002	94.6	124.6	129.1	18.9	20.3	1.7	28.1	14.6	29.5	29.3	74.0	77.9
2003	65.2	136.2	101.2	47.7	7.7	1.9	1.9	20.2	16.1	2.5	24.5	76.2
2004	47.9	96.6	74.8	12.3	11.0	8.8	13.7	9.6	25.2	29.0	32.3	125.4
2005	49.6	73.0	63.3	17.5	14.4	2.2	5.1	5.4	8.0	32.9	28.6	100.3
2006	101.1	82.2	85.9	52.5	3.4	3.4	1.7	15.7	14.0	30.8	49.9	47.3
2007	73.1	53.2	122.1	32.2	14.0	5.4	7.0	3.9	13.4	35.5	31.1	74.8
2008	82.0	83.5	46.1	13.7	15.4	4.3	3.6	1.6	11.6	24.0	18.5	45.4
2009	110.2	127.5	32.3	32.0	13.7	1.9	7.9	6.8	12.9	29.6	72.6	111.5
2010	110.4	72.2	50.9	19.4	7.6	1.3	2.9	12.3	14.5	35.7	26.3	100.3
2011	131.0	138.4	111.5	66.6	13.1	4.4	11.8	3.6	26.5	33.7	49.9	80.2
2012	60.5	132.3	73.6	44.1	24.9	9.8	11.7	4.6	27.3	26.5	38.6	128.9
2013	99.4	108.8	70.6	13.9	19.3	2.8	8.4	34.5	14.9	51.7	60.1	127.7
2014	117.2	71.0	118.9	31.4	15.2	0.0	4.2	3.1	53.5	22.6	36.7	54.9
2015	178.2	116.6	62.8	11.7	5.6	0.0	6.6	18.6	8.6	32.6	31.8	105.4
2016	33.1	152.9	33.3	30.7	9.8	0.0	7.9	5.3	8.4	34.7	26.6	51.4
2017	109.4	125.5	103.7	44.2	15.8	0.0	11.8	9.8	12.6	34.3	19.8	77.4
2018	88.8	87.0	74.9	26.7	7.5	6.0	19.1	33.7	14.4	49.3	22.4	49.3
2019	79.2	138.9	121.0	34.9	4.8	0.5	14.6	0.0	4.7	26.0	42.5	138.3
2020	56.7	61.4	63.6	15.7	13.5	0.0	0.0	3.0	18.6	16.9	12.2	74.7
2021	88.8	82.9	98.9	137.7	11.8	1.4	3.4	3.4	1.6	24.3	36.8	32.2
2022	107.6	97.3	120.5	37.2	1.7	3.8	1.1	7.4	13.3	0.9	29.7	73.0
2023	121.8	159.2	67.3	24.6	25.8	0.0	0.0	1.2	17.4	26.0	42.8	93.0
PROM	2834.5	3174.1	2549.8	945.2	381.0	130.3	270.1	318.7	518.3	831.0	1143.9	2358.7



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**SUB GERENCIA DE OBRAS**



RED HIDROMETEOROLOGICA-OPEMAN

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **ALLPACHACA** Latitud: : 13°23'19" S Dpto: AYACUCHO  
 CÓDIGO : 008 Longitud: : 74°16'00" W Prov: HUAMANGA  
 Altitud: : 3550 msnm Dist: CHIARA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	128.7	127.4	123.4	48.2	23.0	16.5	16.5	16.0	24.0	48.4	50.8	99.0
1995	107.0	101.7	96.7	28.5	23.2	15.7	15.6	16.1	19.6	50.0	91.8	48.7
1996	97.5	123.5	131.1	68.0	15.7	16.4	15.8	43.6	51.4	47.7	47.8	99.7
1997	151.8	132.0	90.3	44.9	17.1	16.7	16.1	48.3	47.3	22.4	108.2	108.1
1998	130.9	142.2	106.1	26.5	17.3	16.4	16.7	17.4	16.7	73.3	49.6	84.9
1999	106.2	119.3	125.2	47.4	15.3	16.2	16.4	16.5	60.9	39.3	61.2	89.4
2000	120.1	158.6	110.7	28.3	51.8	22.7	44.8	17.6	16.4	50.0	25.1	97.5
2001	163.6	111.7	107.9	50.4	45.7	17.5	49.3	22.8	25.3	45.7	86.0	117.4
2002	118.4	144.0	134.2	46.6	49.2	14.8	42.9	22.8	45.6	52.7	108.1	96.7
2003	96.3	159.4	118.1	86.7	21.9	15.8	18.7	50.3	53.2	16.0	44.5	104.4
2004	70.7	123.9	107.4	29.0	21.4	21.7	24.9	22.1	46.3	47.4	50.6	146.1
2005	83.2	105.0	93.2	53.9	23.2	19.0	18.3	20.2	30.3	49.5	44.2	119.9
2006	120.9	106.6	93.3	87.6	15.3	14.5	15.4	35.1	30.8	46.9	74.2	85.6
2007	104.3	87.4	148.3	50.6	26.5	16.5	21.2	15.3	22.1	51.0	48.6	104.5
2008	115.3	95.9	67.7	25.2	48.7	18.6	19.3	14.5	23.6	51.0	57.9	82.2
2009	135.2	147.9	51.4	48.6	23.1	16.5	28.3	18.3	22.5	47.4	106.8	129.2
2010	128.7	94.3	88.5	47.3	22.9	16.0	16.6	24.4	29.9	49.2	43.6	119.9
2011	153.7	161.4	133.6	95.7	17.2	19.9	22.1	19.3	46.8	50.2	73.6	105.6
2012	90.6	160.1	107.9	56.3	39.8	25.5	21.8	18.3	42.4	44.2	49.3	164.6
2013	123.2	113.5	112.3	21.5	42.1	51.8	29.3	32.8	3.8	62.2	52.3	162.3
2014	165.1	102.2	135.6	62.0	26.8	18.0	13.0	10.5	57.1	37.3	32.5	94.9
2015	130.6	105.8	130.9	65.8	36.5	13.0	46.0	48.4	0.0	45.8	53.4	113.0
2016	28.0	156.5	69.2	39.5	8.8	25.0	15.0	3.2	8.2	37.9	14.0	100.0
2017	173.0	193.5	130.7	92.6	59.1	15.9	21.5	15.7	45.1	90.3	42.7	47.6
2018	56.1	101.6	130.8	61.6	20.7	30.0	24.2	46.1	15.7	48.2	41.7	49.8
2019	86.3	162.4	140.6	48.3	97.5	13.5	33.5	0.0	24.3	63.5	91.7	169.6
2020	77.8	110.6	119.6	22.2	28.4	0.0	0.0	11.2	33.3	25.6	14.2	109.4
2021	150.9	75.0	120.6	100.6	32.2	11.8	0.0	0.0	22.3	44.8	67.2	78.2
2022	121.2	120.3	129.8	45.1	33.7	21.2	0.0	13.1	20.9	17.1	22.4	88.6
2023	130.7	155.2	100.3	23.3	39.8	0.0	0.0	0.0	63.6	36.3	73.9	107.0
PROM	3465.9	3798.9	3355.3	1551.9	944.0	537.2	623.0	639.8	949.1	1391.0	1727.8	3124.0



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**SUB GERENCIA DE OBRAS**



RED HIDROMETEOROLOGICA-OPEMAN

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **APACHETA** Latitud: : 13°20'51" S Dpto: AYACUCHO  
 CÓDIGO : 031 Longitud: : 74°38'44" W Prov: CANGALLO  
 Altitud: : 4150.0 msnm Dist: PARAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	195.0	206.7	197.7	78.3	30.6	15.8	17.3	19.2	35.2	58.1	81.9	159.3
1995	176.3	156.7	164.7	37.2	34.2	15.8	14.2	15.4	27.7	80.3	143.2	78.2
1996	152.0	203.0	197.5	88.0	14.6	15.5	16.0	59.6	54.9	79.0	81.1	142.7
1997	202.7	201.9	139.8	79.0	17.5	17.7	15.5	58.9	78.9	30.0	179.6	171.5
1998	192.6	198.2	166.0	39.1	17.6	16.4	17.7	17.3	16.8	88.4	65.2	101.9
1999	180.2	204.3	212.3	78.0	16.6	16.6	16.9	15.5	87.5	42.8	87.5	123.6
2000	208.7	217.3	179.5	41.8	49.9	29.0	79.7	14.7	18.4	79.2	34.8	150.8
2001	226.2	178.2	201.0	48.0	78.4	14.3	61.7	32.5	34.0	64.7	99.8	190.8
2002	198.8	195.6	201.9	54.8	54.2	15.2	76.9	28.8	77.1	79.5	177.3	164.2
2003	121.8	229.8	194.7	92.3	32.0	14.7	15.6	56.1	50.1	19.8	75.9	172.9
2004	93.2	204.2	167.5	34.6	31.9	31.9	39.0	30.9	71.4	64.7	79.9	194.6
2005	92.4	164.3	146.1	50.1	28.9	16.4	25.9	29.5	33.9	84.0	64.0	208.4
2006	197.3	180.5	168.2	118.0	18.7	19.1	15.8	35.4	40.5	79.6	91.8	92.7
2007	164.9	108.4	202.8	80.9	36.5	15.9	32.3	16.0	33.9	81.5	80.2	167.1
2008	194.6	171.1	89.9	35.5	49.4	19.0	16.3	15.6	34.4	56.8	50.6	92.7
2009	208.8	198.7	81.4	83.8	33.5	15.0	33.4	18.6	34.9	81.5	171.0	193.0
2010	204.2	155.5	97.7	55.4	29.2	15.5	18.1	33.7	35.0	81.7	80.6	203.9
2011	211.1	234.9	198.2	136.4	23.9	18.5	32.0	16.3	61.8	80.9	91.1	180.9
2012	113.4	212.4	175.8	87.2	58.7	33.5	35.0	18.4	64.1	77.3	79.5	220.0
2013	234.9	186.9	149.2	31.0	59.5	45.3	20.5	43.4	21.6	78.2	48.5	186.6
2014	221.8	148.1	169.3	66.4	25.0	10.3	33.2	68.8	97.1	82.6	66.3	137.7
2015	253.1	167.2	142.2	106.8	47.0	18.8	15.3	28.4	66.4	61.5	49.0	181.4
2016	73.9	231.4	88.3	91.4	23.3	14.2	14.5	25.3	0.0	62.2	45.4	93.5
2017	278.3	220.4	169.7	90.3	43.8	19.1	22.4	19.1	47.4	75.4	65.6	94.5
2018	209.6	159.4	204.5	91.1	39.3	37.4	39.8	67.6	23.6	75.2	41.3	87.8
2019	178.3	218.8	168.1	79.6	37.9	25.6	43.2	0.0	44.5	57.1	151.7	184.8
2020	138.4	233.4	158.2	72.3	61.0	19.3	0.0	15.9	43.2	47.2	39.3	197.0
2021	176.8	110.2	154.1	83.8	53.0	33.7	31.2	31.7	49.5	77.3	82.9	103.1
2022	194.1	219.2	161.7	80.4	27.7	15.4	16.7	27.6	16.6	29.5	17.1	160.5
2023	175.7	185.8	172.4	69.6	62.3	0.0	22.4	24.0	56.9	80.2	129.4	119.4
PROM	5469.1	5702.7	4920.3	2180.9	1135.9	594.8	838.5	884.0	1356.9	2036.3	2551.4	4555.2





**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**SUB GERENCIA DE OBRAS**



RED HIDROMETEOROLOGICA-OPEMAN

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **CHOCCORO** Latitud: : 13° 24' 48" S Dpto: AYACUCHO  
 CÓDIGO : 016 Longitud: : 74° 28' 23" W Prov: CANGALLO  
 Altitud: : 4025 msnm Dist: PARAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	190.2	212.0	197.0	70.4	29.7	12.3	11.1	11.8	35.3	54.0	68.7	150.5
1995	142.2	157.7	152.7	35.5	25.4	13.0	11.5	11.9	18.1	67.8	130.4	71.2
1996	154.6	202.0	202.4	84.6	11.7	11.3	11.6	54.2	50.7	67.9	70.3	132.0
1997	186.6	206.2	131.2	67.3	12.0	11.5	11.7	55.9	70.2	17.9	185.5	173.9
1998	190.7	197.6	158.6	37.1	12.1	11.5	11.5	12.2	11.4	92.0	59.1	102.3
1999	173.3	210.6	210.7	69.5	11.7	11.2	11.5	11.3	85.6	38.5	79.8	126.0
2000	209.0	191.7	121.0	36.4	45.4	23.9	68.0	12.1	13.0	69.5	31.7	150.1
2001	197.0	126.3	187.3	48.1	63.5	12.9	48.9	21.4	31.7	58.9	107.0	193.7
2002	201.0	189.9	185.3	48.0	53.6	12.6	61.6	24.5	62.2	67.8	170.4	149.2
2003	112.4	197.0	176.5	99.6	29.3	12.7	14.3	55.3	51.7	15.6	64.7	167.5
2004	99.0	209.2	168.3	36.0	26.3	25.3	28.7	22.5	60.1	52.8	68.0	179.2
2005	93.5	155.2	135.0	44.5	22.8	15.3	22.6	27.5	30.8	71.1	51.0	212.5
2006	198.0	179.8	154.8	101.1	12.8	12.8	14.7	37.6	39.0	71.5	99.4	99.4
2007	159.3	114.0	199.9	68.3	28.1	11.7	26.7	11.4	27.3	74.8	67.4	157.4
2008	192.7	155.3	89.7	34.1	49.2	14.5	14.7	15.9	35.1	50.3	46.8	99.8
2009	207.0	179.2	70.6	70.5	27.3	14.1	37.9	13.2	34.1	71.0	174.2	183.9
2010	199.7	144.7	107.0	48.1	23.9	12.7	15.9	26.1	37.9	72.0	68.6	206.6
2011	190.1	208.9	200.0	117.5	14.7	14.5	28.1	13.8	50.8	67.5	98.0	186.1
2012	113.2	187.9	174.6	82.0	51.7	22.9	26.9	14.8	55.3	66.4	70.9	203.1
2013	168.1	114.2	159.2	2.8	17.3	83.4	31.5	40.2	45.9	82.2	38.8	151.2
2014	236.8	155.8	132.6	60.3	45.9	23.9	44.5	69.2	124.4	98.4	77.7	126.2
2015	232.1	201.6	164.0	99.8	60.6	17.6	21.9	20.1	21.7	40.7	60.2	58.9
2016	20.5	36.6	38.9	66.5	22.6	30.3	21.4	33.2	27.6	39.2	27.0	107.9
2017	244.6	223.3	183.1	84.3	50.5	18.7	21.5	17.7	50.3	92.9	59.3	68.9
2018	213.7	166.4	188.1	68.0	28.5	55.1	39.6	85.1	25.7	76.8	49.5	75.5
2019	195.7	153.1	170.6	51.8	31.4	28.6	57.1	0.0	22.8	69.6	119.1	176.7
2020	144.4	203.3	248.7	50.3	58.5	17.4	14.9	48.2	48.9	27.9	28.9	182.2
2021	214.0	116.9	170.1	65.6	65.5	48.5	19.5	24.7	36.8	74.0	94.9	93.9
2022	188.6	201.7	182.2	65.5	34.0	31.5	15.4	19.6	25.1	22.0	35.0	149.6
2023	162.8	243.4	166.4	48.7	61.1	0.0	27.9	18.6	48.3	76.7	75.4	118.8
PROM	5230.9	5241.2	4826.7	1862.1	1026.6	631.4	792.7	829.7	1277.8	1847.4	2377.4	4254.1



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**SUB GERENCIA DE OBRAS**



RED HIDROMETEOROLOGICA-OPEMAN

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION : **TAMBILLO** Latitud: :13° 13' 06,72" S Dpto: : AYACUCHO  
 CÓDIGO : 002 Longitud: :74° 06' 22,68" W Prov: : HUAMANGA  
 Altitud: : 3250 msnm Dist: : TAMBILLO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	159.6	132.8	134.0	46.9	15.1	12.3	13.3	13.1	19.2	29.3	42.5	115.7
1995	140.6	106.2	116.9	20.8	20.8	11.9	12.2	12.3	14.6	37.9	82.6	42.9
1996	97.3	134.8	140.6	54.1	12.5	12.7	13.2	32.4	29.9	33.0	39.7	87.1
1997	183.2	149.1	83.1	35.9	16.3	12.7	12.8	31.7	44.7	14.4	103.5	110.4
1998	149.5	154.9	116.8	20.9	13.2	12.5	12.7	12.2	13.1	68.9	33.6	71.7
1999	118.9	146.4	130.8	34.8	12.0	12.1	13.2	12.8	70.9	24.8	70.8	77.0
2000	142.6	183.9	131.3	22.2	32.0	17.0	35.2	14.1	17.9	45.2	18.1	100.8
2001	189.6	127.9	140.2	24.4	34.8	16.6	37.4	16.7	20.4	43.2	74.3	112.0
2002	124.7	167.0	168.7	34.1	29.5	7.0	34.1	17.6	35.8	37.9	114.9	121.4
2003	76.6	187.4	151.6	74.6	14.2	7.1	11.2	27.7	28.0	6.7	32.1	107.9
2004	75.6	127.3	105.4	23.0	14.0	12.9	19.4	13.9	32.4	37.4	43.9	171.6
2005	70.1	103.3	85.1	30.3	17.5	12.2	9.8	12.8	15.0	46.7	35.6	146.3
2006	135.2	122.1	133.1	69.0	8.9	6.5	7.5	25.7	19.9	39.7	72.2	75.0
2007	104.4	79.3	175.9	43.6	19.1	12.5	12.3	10.2	17.7	57.7	45.9	113.7
2008	118.7	126.1	69.6	18.3	25.7	10.0	11.0	6.5	16.5	31.7	32.0	73.6
2009	150.5	170.4	44.4	47.5	16.1	9.8	21.4	11.2	19.0	41.7	110.9	153.7
2010	154.9	110.9	75.0	28.9	12.3	7.5	7.0	15.7	25.8	51.9	34.5	134.1
2011	183.2	184.5	149.3	74.2	15.1	11.8	14.7	11.2	39.4	48.4	71.8	119.9
2012	85.8	186.3	113.7	67.9	34.1	16.5	15.2	9.7	33.4	32.9	55.2	190.3
2013	149.3	123.2	94.3	21.3	22.9	9.0	12.7	35.8	10.2	77.2	66.7	152.9
2014	194.4	107.9	186.6	40.9	15.8	0.0	17.2	1.7	61.5	92.1	55.2	143.3
2015	159.3	146.7	108.6	27.8	29.4	7.9	30.1	60.2	9.7	35.4	44.7	155.1
2016	49.3	158.8	8.3	28.1	17.6	44.7	8.5	6.3	20.3	50.4	60.1	67.7
2017	156.6	195.6	136.2	71.3	38.9	6.6	13.3	7.7	24.0	64.8	42.5	123.5
2018	156.6	124.6	121.7	32.7	11.2	10.6	30.6	39.3	13.9	52.9	39.6	64.5
2019	132.4	195.3	143.2	28.3	9.2	6.4	5.9	0.0	12.5	24.5	122.6	204.9
2020	60.7	169.3	97.8	10.1	24.0	4.4	0.5	3.2	68.9	14.5	12.4	115.5
2021	121.0	112.7	154.5	88.4	22.5	3.7	1.9	2.3	13.6	38.3	79.8	57.5
2022	129.3	122.8	239.3	37.9	10.0	2.3	0.0	10.7	23.7	10.4	18.3	97.7
2023	128.5	146.2	62.7	30.8	33.2	0.0	0.8	6.2	36.5	35.6	38.6	89.2
PROM	3898.2	4303.6	3618.6	1189.0	598.0	317.2	435.3	480.6	808.3	1225.5	1694.4	3396.8

### Anexo 3. Datos de precipitaciones mensuales del producto RAIN4PE.

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION WAYLLAPAMPA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	137.4	162.6	101.8	25.9	13.6	6.8	0.8	28.4	52.4	95.2	89.2	112.7
1995	120.5	182.8	91.4	41.3	7.1	6.4	3.3	24.1	20.7	46.4	100.0	48.0
1996	99.5	86.7	82.9	38.0	7.9	9.4	2.8	6.9	33.5	26.8	31.3	54.7
1997	134.3	143.0	93.2	43.6	7.5	36.1	4.0	11.2	13.6	29.5	107.6	85.0
1998	68.5	102.2	99.4	51.2	20.7	27.1	3.8	11.5	29.0	19.8	33.6	75.4
1999	152.8	164.4	167.7	50.0	18.3	5.4	2.9	17.5	78.1	22.7	34.5	46.5
2000	145.7	86.0	40.1	17.9	18.6	14.3	8.0	3.3	15.1	37.5	43.4	68.7
2001	160.0	144.9	92.5	35.4	16.9	7.9	0.5	1.8	22.5	20.4	29.5	96.2
2002	130.8	86.0	108.0	41.7	20.2	10.1	1.0	10.8	30.0	34.7	42.7	50.9
2003	119.1	35.1	73.4	31.1	13.4	53.9	2.4	25.3	26.7	61.2	150.1	93.2
2004	79.2	94.7	69.4	19.2	12.0	23.7	6.4	3.9	24.6	44.9	35.5	39.8
2005	76.6	106.2	63.5	27.2	2.2	15.9	8.5	25.3	9.1	52.3	32.5	45.3
2006	129.1	94.6	98.2	56.0	14.1	9.2	12.8	13.5	59.1	51.4	80.9	133.8
2007	125.3	113.1	113.1	39.1	9.3	3.4	1.1	4.8	15.6	16.5	44.3	83.8
2008	139.9	120.9	99.9	17.3	17.4	5.0	3.5	4.5	16.6	31.1	59.8	46.6
2009	86.3	118.2	122.7	47.7	3.5	1.5	0.7	15.5	20.7	29.0	36.5	74.2
2010	155.6	107.1	69.5	33.9	5.0	0.6	2.5	24.2	36.2	15.9	72.3	97.5
2011	130.7	109.4	93.9	18.8	1.8	10.0	0.5	4.8	8.4	39.9	26.7	73.2
2012	112.5	145.7	87.6	36.6	5.1	2.7	6.0	0.5	44.5	21.0	77.4	75.6
2013	106.8	187.2	136.3	18.4	24.2	16.6	32.4	8.7	10.6	45.7	17.5	98.3
2014	211.4	120.8	119.6	32.7	39.7	10.3	39.4	18.1	29.1	46.8	80.8	64.9
2015	83.0	145.5	133.4	37.8	18.9	3.7	32.8	20.6	41.2	33.3	54.3	99.4
PROM	123.0	120.8	98.1	34.6	13.5	12.7	8.0	13.0	29.0	37.4	58.2	75.6

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION SAN PEDRO DE CACHI												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	139.8	177.5	98.9	23.9	16.3	6.7	0.4	26.3	52.4	100.3	94.7	113.2
1995	111.0	177.0	91.1	40.1	8.1	6.7	8.3	28.8	24.3	36.9	112.1	39.4
1996	100.1	92.7	78.4	41.8	5.8	11.0	2.4	9.9	29.5	30.0	29.0	50.5
1997	134.5	166.6	107.0	37.2	9.8	28.6	5.1	11.0	11.3	33.0	112.8	75.4
1998	81.7	118.3	100.2	51.8	23.8	27.8	3.4	11.3	40.2	20.1	31.6	68.0
1999	161.7	182.1	164.8	47.1	15.9	6.1	3.7	19.1	86.1	20.7	33.4	49.8
2000	156.7	83.1	39.1	16.9	20.0	15.5	9.5	2.9	12.1	35.4	37.5	63.4
2001	163.0	134.4	88.4	38.8	21.3	11.0	0.5	2.0	25.2	23.0	30.4	91.9
2002	133.8	89.5	111.6	40.0	16.5	9.0	0.9	11.4	26.9	41.1	40.1	49.0
2003	108.8	35.5	68.8	28.7	14.6	56.2	3.0	25.4	28.3	59.3	155.4	91.2
2004	80.0	88.5	90.5	18.4	13.3	25.3	9.9	4.1	22.7	42.8	35.1	41.3
2005	65.3	95.4	53.4	22.1	2.4	14.8	10.2	29.2	9.2	52.4	30.9	46.9
2006	130.6	97.3	98.8	52.8	14.8	11.7	19.7	13.9	53.6	62.2	93.2	147.4
2007	135.1	140.8	105.9	38.0	11.2	4.0	0.9	6.2	13.4	14.5	47.7	85.7
2008	151.1	106.3	109.9	17.1	17.1	6.3	3.7	6.9	20.7	36.1	54.1	41.6
2009	92.8	133.9	126.1	46.9	2.6	2.0	0.6	16.0	25.7	32.0	38.3	83.2

<b>2010</b>	169.4	112.0	66.3	36.3	4.8	0.5	2.2	28.4	30.9	20.7	67.0	94.3
<b>2011</b>	138.8	119.4	95.8	18.6	1.6	10.0	0.3	7.2	11.6	38.4	33.5	83.2
<b>2012</b>	113.7	159.7	91.7	41.8	7.7	4.3	8.8	0.7	39.2	22.9	75.9	83.0
<b>2013</b>	112.6	182.2	118.4	17.6	19.7	15.6	31.7	9.4	13.2	43.7	19.3	90.7
<b>2014</b>	183.3	100.4	120.8	29.1	37.8	7.3	37.6	13.2	31.0	43.2	84.9	67.0
<b>2015</b>	90.3	166.2	106.2	39.7	15.5	5.9	32.5	21.5	45.0	37.3	52.0	97.4
<b>PROM</b>	<b>125.2</b>	<b>125.4</b>	<b>96.9</b>	<b>33.9</b>	<b>13.7</b>	<b>13.0</b>	<b>8.9</b>	<b>13.9</b>	<b>29.7</b>	<b>38.5</b>	<b>59.5</b>	<b>75.2</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION LA QUINUA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	142.8	195.0	126.3	31.3	15.3	7.5	1.1	30.1	56.2	113.5	119.3	137.5
<b>1995</b>	130.0	204.5	110.5	45.3	9.4	7.7	2.3	22.7	19.6	57.1	134.1	67.8
<b>1996</b>	113.4	109.0	83.4	42.0	10.9	9.6	3.8	6.4	38.9	25.4	41.6	63.2
<b>1997</b>	144.7	175.6	113.2	53.0	10.9	44.7	4.1	13.3	19.3	37.8	127.2	96.0
<b>1998</b>	73.2	116.8	113.0	57.3	24.2	31.2	6.2	16.1	37.4	25.0	47.5	91.0
<b>1999</b>	170.5	192.1	169.1	47.0	25.0	4.6	4.0	20.7	85.5	29.9	38.8	66.3
<b>2000</b>	171.9	105.4	50.6	23.5	22.3	17.7	7.4	7.0	19.5	46.9	60.9	77.6
<b>2001</b>	169.4	158.1	106.1	41.2	21.5	6.2	1.4	2.1	21.5	20.4	39.0	116.5
<b>2002</b>	145.6	101.0	118.6	40.7	23.5	12.1	2.2	14.7	37.3	37.9	43.2	63.3
<b>2003</b>	127.3	37.8	70.1	35.8	14.7	60.0	2.6	32.4	29.9	73.5	143.8	114.4
<b>2004</b>	98.3	103.9	83.0	24.3	12.9	27.3	6.2	3.7	38.5	50.7	41.1	48.4
<b>2005</b>	93.2	113.7	75.2	34.3	2.1	20.2	9.2	30.1	9.7	57.4	44.3	53.1
<b>2006</b>	141.9	128.3	102.0	69.0	17.0	10.7	17.4	20.4	67.4	56.2	86.8	154.1
<b>2007</b>	141.2	132.3	121.7	59.0	9.7	5.0	1.3	8.1	22.7	26.1	53.2	113.9
<b>2008</b>	163.4	136.7	133.9	19.6	21.4	4.2	3.5	3.3	17.4	40.3	78.5	64.5
<b>2009</b>	102.8	122.7	133.0	53.8	4.5	3.7	0.8	17.2	23.6	35.8	44.9	86.8
<b>2010</b>	180.5	138.5	102.0	47.0	7.7	0.5	3.1	28.5	47.7	19.1	84.9	113.6
<b>2011</b>	131.9	135.9	112.4	23.9	4.0	11.7	0.7	5.1	7.0	58.9	42.2	77.8
<b>2012</b>	121.1	160.9	112.4	37.4	5.6	3.3	7.0	0.6	57.5	26.1	78.4	105.1
<b>2013</b>	131.5	200.5	146.6	23.0	32.4	17.2	41.9	8.0	14.9	58.3	21.4	110.2
<b>2014</b>	237.2	128.2	143.8	39.7	48.6	13.7	46.6	22.8	32.1	55.4	91.3	84.6
<b>2015</b>	99.5	166.3	149.7	49.0	24.6	2.6	41.2	18.7	52.7	43.4	80.0	132.9
<b>PROM</b>	<b>137.8</b>	<b>139.2</b>	<b>112.6</b>	<b>40.8</b>	<b>16.7</b>	<b>14.6</b>	<b>9.7</b>	<b>15.1</b>	<b>34.4</b>	<b>45.2</b>	<b>70.1</b>	<b>92.7</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION HUANTA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	124.0	149.9	100.9	37.5	12.4	6.3	0.6	27.0	56.6	109.6	103.4	120.6
<b>1995</b>	128.4	169.3	92.9	41.2	16.5	8.6	1.9	29.8	30.3	53.4	100.4	42.7
<b>1996</b>	101.8	86.0	77.1	46.3	6.3	18.8	6.3	8.0	28.4	27.6	31.0	61.6
<b>1997</b>	138.2	151.0	92.4	47.1	8.7	31.4	4.4	15.6	15.0	28.3	101.5	87.6
<b>1998</b>	75.3	103.6	113.0	49.9	28.3	28.3	5.5	13.5	34.1	22.6	32.6	68.6
<b>1999</b>	151.4	149.4	146.0	58.8	18.1	7.7	4.3	32.3	75.9	26.3	32.6	51.1
<b>2000</b>	138.3	89.3	46.6	25.0	27.0	17.8	10.4	2.7	22.5	46.3	54.4	70.1
<b>2001</b>	155.9	143.9	90.4	41.1	18.5	8.6	1.5	2.4	19.8	24.4	33.4	84.2
<b>2002</b>	126.6	89.5	106.3	38.3	28.9	9.4	0.9	15.7	27.7	35.4	41.1	48.4

<b>2003</b>	103.5	33.4	73.4	33.3	14.6	55.1	3.0	26.4	32.7	63.2	116.0	98.0
<b>2004</b>	77.6	98.8	84.8	26.2	14.4	25.0	6.7	4.0	32.4	43.2	38.2	44.8
<b>2005</b>	67.5	98.3	67.4	27.0	2.2	21.2	10.1	25.4	10.4	53.7	36.1	51.5
<b>2006</b>	130.3	101.1	107.8	58.8	18.4	10.5	15.6	16.9	46.8	53.2	86.1	139.8
<b>2007</b>	119.8	113.2	109.9	48.3	11.7	4.4	1.1	4.7	16.7	18.9	44.8	84.2
<b>2008</b>	123.8	112.0	120.3	18.7	14.2	7.7	3.7	4.0	17.8	32.1	67.1	63.0
<b>2009</b>	93.3	121.0	121.4	53.9	5.0	3.6	1.6	13.8	18.0	33.3	39.3	85.6
<b>2010</b>	141.5	116.7	76.5	41.2	7.4	1.0	2.5	24.3	33.4	22.2	73.0	102.5
<b>2011</b>	114.4	107.5	92.0	23.9	3.6	12.6	0.6	5.6	7.6	46.1	37.6	78.1
<b>2012</b>	102.7	146.4	95.4	47.4	8.9	3.9	7.3	0.9	39.3	29.3	65.7	86.4
<b>2013</b>	106.1	168.1	122.1	25.2	24.8	19.1	36.4	9.2	15.1	49.6	23.3	88.5
<b>2014</b>	170.8	102.5	125.8	45.7	47.0	17.4	42.9	20.1	32.3	48.9	78.1	79.9
<b>2015</b>	63.8	146.2	114.9	44.7	21.8	3.3	35.3	18.0	44.3	41.7	61.3	109.1
<b>PROM</b>	<b>116.1</b>	<b>118.1</b>	<b>99.0</b>	<b>40.0</b>	<b>16.3</b>	<b>14.6</b>	<b>9.2</b>	<b>14.6</b>	<b>29.9</b>	<b>41.3</b>	<b>59.0</b>	<b>79.4</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION INIA CAANAN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	146.7	177.8	109.0	22.8	11.6	4.5	0.7	30.2	57.9	99.0	98.3	113.9
<b>1995</b>	116.5	173.9	105.4	44.2	5.6	6.2	3.2	26.8	16.7	43.1	113.4	69.5
<b>1996</b>	107.9	94.4	100.6	33.5	6.9	6.5	2.3	12.9	38.4	38.6	44.0	45.9
<b>1997</b>	137.4	166.1	97.5	41.5	10.1	44.6	4.7	7.2	17.9	31.7	129.6	88.6
<b>1998</b>	79.7	122.8	90.8	67.0	17.3	37.1	3.1	14.0	40.1	18.9	39.3	87.3
<b>1999</b>	153.6	183.7	170.1	45.9	16.3	4.1	2.7	17.1	86.9	26.9	36.7	36.8
<b>2000</b>	167.2	104.5	46.8	13.6	17.2	16.2	5.0	4.3	13.0	38.9	36.7	69.2
<b>2001</b>	164.6	139.0	114.2	37.3	15.1	5.8	0.6	3.1	23.4	19.2	27.7	107.3
<b>2002</b>	127.3	92.1	118.5	42.9	16.7	11.4	1.3	16.6	33.8	46.5	51.5	56.0
<b>2003</b>	122.4	35.6	86.8	20.5	10.9	58.5	2.6	37.0	33.5	79.6	153.1	111.2
<b>2004</b>	111.2	134.8	76.1	21.1	27.5	14.4	8.3	6.4	25.6	53.4	50.8	45.0
<b>2005</b>	96.8	129.4	89.0	25.7	2.7	12.9	17.4	27.1	7.4	52.6	27.6	42.2
<b>2006</b>	122.2	89.6	102.2	64.7	13.6	8.1	18.7	16.7	57.0	47.3	79.7	154.3
<b>2007</b>	115.6	145.6	113.4	54.4	20.3	3.5	1.1	6.2	16.1	19.9	51.8	88.1
<b>2008</b>	154.0	126.4	125.1	16.7	16.3	3.3	2.9	5.0	16.7	37.8	74.2	48.3
<b>2009</b>	95.8	133.2	128.0	46.6	2.9	1.0	0.4	16.3	25.1	30.4	31.2	74.5
<b>2010</b>	163.2	123.0	75.6	33.0	4.8	0.3	2.3	27.0	40.4	23.3	77.5	103.9
<b>2011</b>	138.4	115.5	99.6	16.5	1.9	8.8	0.4	5.8	14.4	50.6	33.5	68.3
<b>2012</b>	117.7	152.3	101.6	35.9	5.8	2.7	5.8	0.7	53.2	18.1	83.1	76.9
<b>2013</b>	116.7	186.2	117.9	15.7	23.2	15.2	41.0	11.3	9.7	60.8	20.6	87.8
<b>2014</b>	190.0	107.5	114.7	26.7	31.4	9.0	30.7	14.6	30.8	33.9	94.9	68.7
<b>2015</b>	112.5	148.6	122.3	35.5	17.0	6.0	32.2	19.7	50.5	31.6	59.5	102.9
<b>PROM</b>	<b>129.9</b>	<b>131.0</b>	<b>104.8</b>	<b>34.6</b>	<b>13.4</b>	<b>12.7</b>	<b>8.5</b>	<b>14.8</b>	<b>32.2</b>	<b>41.0</b>	<b>64.3</b>	<b>79.4</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION ALLPACHACA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	128.4	173.6	84.7	24.8	8.6	4.2	2.1	49.9	63.8	128.0	81.5	118.8
<b>1995</b>	160.3	157.9	98.4	76.3	5.5	6.2	4.2	26.4	26.4	53.3	158.2	56.7

1996	116.6	108.7	150.1	26.7	10.0	7.1	2.3	36.7	55.3	27.1	53.5	43.6
1997	200.6	212.6	119.2	43.7	13.9	26.7	4.2	12.8	22.5	48.3	155.9	99.6
1998	70.4	120.9	95.2	60.2	15.5	44.3	8.8	28.3	46.2	17.8	31.2	128.8
1999	135.7	189.8	159.2	48.4	31.2	6.6	8.6	35.5	76.0	35.2	51.7	75.2
2000	210.4	110.7	41.4	20.4	22.4	49.0	4.8	5.8	18.7	52.2	69.5	125.0
2001	144.9	130.8	154.1	30.0	16.5	5.0	2.3	5.5	16.6	22.5	54.1	168.9
2002	149.0	180.7	158.3	56.7	20.4	14.1	2.9	29.6	48.7	69.8	44.0	87.5
2003	106.8	54.9	100.9	22.7	23.9	37.7	6.7	23.3	47.3	68.3	137.8	140.4
2004	132.4	164.8	140.4	44.0	25.3	11.9	12.3	8.5	20.6	61.7	56.9	55.7
2005	143.2	149.9	112.4	36.1	1.7	19.5	22.6	18.7	6.4	111.0	26.5	116.2
2006	194.4	114.3	179.9	64.5	23.6	5.9	19.2	22.1	33.4	85.6	93.1	167.2
2007	114.3	131.7	144.2	69.4	29.2	2.8	0.4	3.9	28.1	22.6	61.9	71.3
2008	133.2	154.6	165.7	47.7	10.4	5.7	4.8	4.2	24.2	45.1	101.7	72.1
2009	195.6	176.5	182.4	53.5	6.8	1.7	3.1	17.6	22.4	55.1	46.2	100.2
2010	162.6	128.5	91.5	41.1	13.0	0.6	3.0	50.3	43.4	28.2	76.6	130.0
2011	155.5	116.9	130.0	31.0	2.1	10.3	0.8	10.9	9.8	44.4	45.1	101.0
2012	153.3	162.9	137.9	70.4	13.4	4.3	6.2	3.2	47.7	46.9	59.4	81.4
2013	145.2	236.3	136.8	49.0	34.4	24.8	26.4	22.4	11.9	74.6	32.7	84.4
2014	188.3	104.9	172.8	28.0	45.4	7.1	19.8	17.9	22.5	26.3	86.7	73.4
2015	96.9	133.3	169.1	38.1	15.4	4.5	49.9	19.4	56.8	54.3	89.6	148.1
PROM	147.2	146.1	132.9	44.7	17.7	13.6	9.8	20.6	34.0	53.6	73.4	102.1

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION APACHETA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	171.8	257.7	143.7	47.4	4.9	3.0	2.4	82.4	58.3	128.8	75.3	190.0
1995	190.8	161.5	76.8	52.7	4.5	4.6	2.4	36.3	55.7	39.1	182.7	51.1
1996	141.2	98.8	133.1	66.4	8.4	7.0	2.2	19.2	38.8	34.1	62.5	66.2
1997	192.0	222.5	166.0	59.7	24.2	22.4	3.0	23.4	24.8	53.9	118.3	103.9
1998	78.5	108.3	159.2	53.4	42.9	35.8	8.5	19.9	44.8	33.7	33.6	128.8
1999	214.1	196.2	236.0	81.1	31.0	4.6	12.1	24.7	35.6	40.3	62.0	107.3
2000	163.6	114.6	60.5	21.4	11.5	23.5	7.2	10.0	16.4	51.4	74.3	54.5
2001	174.1	155.2	149.3	40.8	50.0	3.7	2.6	7.6	21.7	47.7	37.8	132.9
2002	187.7	122.9	167.1	47.0	23.5	20.4	2.7	40.7	37.6	60.8	65.8	66.8
2003	162.3	39.2	120.7	56.5	22.9	70.8	8.6	53.5	53.2	41.6	176.4	107.0
2004	170.7	194.0	175.3	57.5	41.5	11.9	10.4	5.1	23.4	65.9	60.3	54.4
2005	83.1	147.9	93.8	32.5	3.1	22.3	30.5	70.1	14.1	125.0	48.0	97.2
2006	205.3	111.4	165.9	91.6	23.2	9.9	17.8	30.1	62.8	87.3	94.1	190.5
2007	167.2	137.7	144.4	67.8	19.0	4.6	3.8	4.9	44.8	30.3	47.7	91.8
2008	142.6	113.3	157.6	41.8	8.4	3.1	2.9	5.5	40.2	40.6	72.1	88.3
2009	180.0	139.8	153.1	72.7	13.0	1.6	2.5	23.4	35.2	43.0	32.8	123.4
2010	181.9	132.2	84.3	53.4	14.2	0.4	1.5	45.5	72.3	42.6	69.6	162.0
2011	204.1	120.4	132.2	43.9	2.5	14.8	0.9	8.3	19.7	65.4	48.7	109.0
2012	140.0	177.5	144.1	82.7	15.3	2.4	6.8	3.1	85.2	63.1	44.5	138.3
2013	164.6	181.8	159.2	41.3	27.6	13.4	14.7	24.5	24.9	100.3	31.1	134.6
2014	216.2	99.2	175.8	50.5	43.0	7.8	14.4	17.1	40.9	41.5	68.3	84.2
2015	110.5	141.9	138.2	60.5	17.8	6.7	27.4	22.9	81.6	54.4	65.5	160.0

<b>PROM</b>	<b>165.6</b>	<b>144.3</b>	<b>142.6</b>	<b>55.6</b>	<b>20.6</b>	<b>13.4</b>	<b>8.4</b>	<b>26.3</b>	<b>42.4</b>	<b>58.7</b>	<b>71.4</b>	<b>111.0</b>
-------------	--------------	--------------	--------------	-------------	-------------	-------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION CHIARA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	142.8	178.8	102.7	26.2	12.3	5.1	3.4	39.0	57.6	109.3	92.5	108.9
1995	138.6	170.8	92.1	62.7	5.7	6.9	3.2	31.1	25.0	44.6	120.3	59.4
1996	104.5	97.3	105.5	30.4	7.9	8.3	2.2	28.0	44.5	27.7	50.5	42.5
1997	161.3	174.2	102.3	42.0	16.7	33.2	5.0	7.4	21.1	46.7	137.7	80.8
1998	81.6	122.1	101.7	61.5	18.1	38.6	4.4	16.0	43.3	18.2	40.7	112.3
1999	143.7	187.4	177.5	49.3	19.5	3.8	3.8	22.6	84.7	35.1	41.8	57.2
2000	199.1	115.4	49.9	17.4	18.3	26.0	5.4	5.0	20.1	38.0	54.3	80.8
2001	155.7	132.8	124.9	33.2	13.1	7.0	2.3	7.5	21.9	21.1	30.7	123.7
2002	128.5	129.9	139.9	48.5	15.2	13.4	2.6	18.7	34.2	66.5	46.7	68.4
2003	106.1	51.3	100.4	22.2	14.6	46.1	3.4	28.9	34.5	79.8	136.3	136.0
2004	128.7	152.8	106.5	29.5	20.6	9.3	9.8	9.6	21.7	59.6	56.5	51.7
2005	95.3	148.9	102.5	38.6	3.0	14.9	21.1	29.0	10.6	76.0	30.5	57.7
2006	147.6	106.9	133.6	69.1	16.0	7.6	19.3	20.3	44.9	62.6	92.5	150.9
2007	131.7	146.8	124.8	53.0	18.4	3.4	0.7	4.1	23.0	26.7	54.2	78.6
2008	139.0	123.7	142.8	25.6	11.3	4.7	4.3	5.5	21.8	41.3	86.9	50.3
2009	130.5	155.8	157.8	50.3	3.7	1.3	2.4	16.3	25.2	37.5	31.5	89.4
2010	162.8	134.7	78.7	36.6	7.7	0.7	3.5	36.4	42.8	31.7	91.9	119.8
2011	147.9	113.2	104.4	22.4	2.9	10.1	1.3	9.6	11.9	46.0	38.7	81.3
2012	135.1	160.8	121.2	60.1	10.5	5.1	6.9	1.0	49.8	24.7	62.7	80.1
2013	121.3	197.7	129.0	23.1	22.4	19.9	36.3	14.5	11.7	66.3	22.7	75.0
2014	177.0	96.4	133.6	26.7	36.5	8.4	24.7	15.3	24.0	29.6	94.8	71.5
2015	108.6	146.8	120.5	33.6	18.1	5.6	39.1	18.9	53.5	49.4	76.8	103.6
<b>PROM</b>	<b>135.8</b>	<b>138.4</b>	<b>116.0</b>	<b>39.2</b>	<b>14.2</b>	<b>12.7</b>	<b>9.3</b>	<b>17.5</b>	<b>33.1</b>	<b>47.2</b>	<b>67.8</b>	<b>85.5</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION CHOCCORO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	179.2	243.4	143.0	45.3	5.7	5.8	2.7	71.4	83.0	164.2	64.6	198.4
1995	171.1	129.4	95.9	60.5	8.1	6.6	4.3	29.6	43.8	76.1	175.7	68.2
1996	97.7	69.2	149.9	71.0	23.0	13.4	3.0	21.0	47.0	39.7	44.2	54.4
1997	206.2	226.4	160.7	78.9	37.4	34.0	7.4	23.6	28.9	64.2	148.3	85.7
1998	99.0	141.4	149.6	48.7	53.5	44.8	8.1	37.4	48.1	29.5	36.3	177.5
1999	173.3	151.8	180.5	89.3	38.7	8.2	6.4	40.2	81.6	31.3	46.0	89.2
2000	176.6	116.9	47.8	35.0	12.7	66.7	3.6	6.6	17.3	39.3	92.8	91.2
2001	175.9	257.1	163.5	33.3	46.3	9.0	2.7	6.6	40.7	56.1	60.8	160.9
2002	234.3	180.4	161.4	109.6	34.1	31.5	10.0	43.6	49.2	47.0	52.0	71.9
2003	128.9	65.0	150.2	62.1	31.9	45.9	14.3	59.6	40.5	108.6	215.2	148.3
2004	132.3	183.1	155.9	52.1	31.8	14.0	13.7	11.3	25.4	74.8	52.2	55.8
2005	93.3	156.2	127.5	39.4	4.4	29.9	29.9	54.7	17.0	121.1	40.2	96.9
2006	209.0	144.4	204.3	90.6	34.0	11.1	31.0	32.1	52.2	100.0	102.7	184.5
2007	163.4	161.9	164.9	69.2	25.0	6.3	1.6	4.8	35.3	32.1	51.4	82.5
2008	136.4	153.5	178.3	50.2	10.8	4.5	6.0	8.0	38.0	40.4	86.6	87.3

<b>2009</b>	184.3	176.3	187.1	73.5	13.4	4.0	3.6	27.5	28.3	50.8	38.3	117.1
<b>2010</b>	180.1	163.1	104.8	53.0	18.6	0.6	2.7	62.2	62.4	40.0	76.0	152.7
<b>2011</b>	176.9	147.7	146.5	43.8	4.6	20.7	0.9	11.2	15.9	66.5	49.0	107.3
<b>2012</b>	140.6	212.9	165.0	89.2	23.4	1.9	7.1	3.2	75.1	76.0	50.0	172.0
<b>2013</b>	156.6	240.3	217.1	49.3	42.4	28.5	24.4	30.2	16.3	136.9	42.3	130.5
<b>2014</b>	213.9	140.0	239.9	60.8	81.7	13.0	34.0	27.1	31.1	51.8	73.8	57.1
<b>2015</b>	100.5	211.7	129.4	67.2	18.3	4.3	50.5	35.8	58.7	42.2	78.1	138.8
<b>PROM</b>	<b>160.4</b>	<b>166.9</b>	<b>155.6</b>	<b>62.4</b>	<b>27.3</b>	<b>18.4</b>	<b>12.2</b>	<b>29.4</b>	<b>42.5</b>	<b>67.7</b>	<b>76.2</b>	<b>114.9</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION TAMBILLO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	170.1	235.7	115.1	26.7	21.5	6.2	1.9	39.9	65.2	109.8	116.7	114.8
<b>1995</b>	129.9	179.3	108.4	64.3	5.6	6.2	2.8	31.1	20.1	58.3	135.4	71.6
<b>1996</b>	108.8	120.7	116.4	30.9	12.7	7.8	4.9	22.2	40.2	33.0	54.1	46.3
<b>1997</b>	161.5	192.4	107.8	48.1	17.3	41.1	6.6	8.3	22.5	40.5	153.3	94.5
<b>1998</b>	108.7	131.5	106.9	69.2	25.1	41.7	3.8	16.6	49.9	20.6	45.4	122.4
<b>1999</b>	167.7	241.5	182.3	53.4	19.9	2.4	3.2	25.8	98.2	41.3	50.6	69.6
<b>2000</b>	196.8	118.7	48.7	16.1	16.8	31.9	4.8	4.8	22.9	40.7	55.4	83.5
<b>2001</b>	179.4	148.4	134.1	40.6	15.2	4.0	1.7	6.8	19.1	23.4	31.2	149.0
<b>2002</b>	150.1	152.8	149.9	51.5	18.7	16.4	4.0	22.1	37.4	71.1	47.7	80.0
<b>2003</b>	117.4	50.4	96.9	22.2	15.8	47.9	3.2	38.2	38.0	79.8	152.4	152.6
<b>2004</b>	140.2	177.6	113.4	40.5	20.0	13.0	6.9	8.3	21.7	64.5	63.9	55.0
<b>2005</b>	109.6	157.2	112.2	36.7	3.9	18.6	19.9	30.9	9.6	64.5	36.8	56.3
<b>2006</b>	160.1	115.4	141.6	88.2	15.7	8.7	19.2	21.3	51.1	57.2	110.2	181.7
<b>2007</b>	153.8	156.9	142.7	62.8	16.3	4.1	0.5	5.4	26.3	29.1	61.1	94.9
<b>2008</b>	153.5	132.3	170.5	28.4	13.1	3.7	4.3	4.8	19.1	47.6	95.8	75.7
<b>2009</b>	146.0	162.5	177.6	56.1	6.2	1.4	1.6	18.2	28.2	49.6	37.0	96.6
<b>2010</b>	181.3	156.5	97.0	43.7	9.3	0.6	2.8	38.8	47.7	35.3	102.4	129.3
<b>2011</b>	165.0	137.3	113.1	30.8	3.9	16.3	0.7	5.9	13.1	60.3	48.0	84.2
<b>2012</b>	140.6	169.6	142.2	54.7	8.7	3.6	6.1	1.1	57.1	26.2	72.7	95.6
<b>2013</b>	137.5	208.0	137.4	25.3	31.3	20.3	41.0	12.5	13.4	75.0	23.5	85.3
<b>2014</b>	199.2	97.3	152.9	33.6	42.2	10.1	28.2	18.4	24.0	37.0	103.0	80.6
<b>2015</b>	118.1	170.1	160.5	58.4	18.8	4.3	46.5	18.6	56.0	48.2	93.6	131.8
<b>PROM</b>	<b>149.8</b>	<b>155.1</b>	<b>128.5</b>	<b>44.6</b>	<b>16.3</b>	<b>14.1</b>	<b>9.8</b>	<b>18.2</b>	<b>35.5</b>	<b>50.6</b>	<b>76.8</b>	<b>97.8</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION JATUMPAMPA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	155.5	196.5	101.2	32.1	7.4	6.0	2.8	55.0	62.1	135.1	77.3	157.5
<b>1995</b>	153.5	155.5	92.2	59.0	5.4	7.0	3.0	31.5	35.2	46.8	155.0	58.4
<b>1996</b>	112.8	102.7	142.5	37.6	12.5	10.1	2.5	31.2	47.5	34.4	49.1	47.1
<b>1997</b>	192.2	195.7	132.0	43.5	16.4	29.5	4.9	14.6	21.6	47.1	138.5	87.1
<b>1998</b>	85.5	123.3	107.4	55.2	30.6	43.5	6.9	38.7	44.9	22.3	33.5	140.1
<b>1999</b>	149.6	187.4	173.7	52.3	30.9	7.1	7.6	30.6	87.1	32.3	48.7	72.2
<b>2000</b>	197.7	111.1	46.2	24.3	20.2	42.0	5.1	5.0	18.3	42.5	75.4	88.0
<b>2001</b>	157.5	145.5	138.4	31.8	18.8	9.1	2.7	9.4	19.7	24.7	49.0	152.3

<b>2002</b>	155.6	162.2	152.5	70.2	20.4	16.0	7.6	29.9	46.9	63.8	43.7	74.7
<b>2003</b>	112.4	50.0	118.0	31.8	25.6	45.5	8.2	35.9	43.3	83.7	152.1	141.7
<b>2004</b>	130.2	166.6	137.3	44.5	26.6	12.2	12.9	9.7	21.4	61.3	54.6	53.1
<b>2005</b>	102.5	153.8	117.1	36.8	2.2	23.4	25.4	35.1	10.6	109.4	32.0	93.4
<b>2006</b>	190.1	118.3	157.5	70.8	25.9	8.0	26.9	33.7	39.9	87.0	97.2	158.2
<b>2007</b>	135.3	144.0	136.5	64.6	21.3	3.9	0.9	3.6	24.9	23.9	53.5	68.0
<b>2008</b>	134.5	145.0	155.6	41.7	9.5	6.1	4.7	5.4	27.0	40.2	88.2	71.5
<b>2009</b>	170.3	168.7	174.1	58.8	8.1	2.6	3.1	28.6	23.9	48.2	42.3	93.9
<b>2010</b>	171.8	139.3	86.4	44.4	13.4	0.7	3.0	48.5	47.9	29.1	74.3	124.6
<b>2011</b>	152.8	124.3	123.8	33.2	2.5	11.9	0.9	10.1	11.9	46.3	42.0	103.1
<b>2012</b>	140.0	167.3	135.9	71.8	13.2	3.1	6.6	2.6	53.7	51.8	54.4	93.6
<b>2013</b>	140.0	227.3	143.6	46.3	32.9	25.2	26.1	20.6	15.2	77.4	31.8	93.7
<b>2014</b>	197.7	107.7	165.8	31.8	54.9	7.9	23.3	19.2	24.4	32.9	80.7	77.2
<b>2015</b>	101.7	166.3	143.4	43.4	15.5	4.7	52.6	30.3	59.2	54.7	78.6	122.8
<b>PROM</b>	<b>147.2</b>	<b>148.1</b>	<b>131.0</b>	<b>46.6</b>	<b>18.8</b>	<b>14.8</b>	<b>10.8</b>	<b>24.1</b>	<b>35.8</b>	<b>54.3</b>	<b>70.5</b>	<b>98.7</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION OCOLLO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	169.4	223.7	133.3	44.3	7.4	8.3	4.5	65.1	71.0	135.5	81.6	170.2
<b>1995</b>	171.7	161.6	88.1	53.9	13.3	6.6	6.9	36.6	45.3	47.8	157.9	54.8
<b>1996</b>	111.8	97.6	136.2	60.4	11.5	10.4	15.8	23.6	44.5	35.2	47.6	57.7
<b>1997</b>	188.9	212.2	142.6	52.5	17.7	25.9	5.4	35.1	22.8	46.8	119.1	89.8
<b>1998</b>	86.1	108.4	129.5	52.2	35.0	37.7	9.0	27.3	47.6	28.3	33.3	120.7
<b>1999</b>	184.6	193.7	188.3	80.3	32.4	6.2	12.0	27.7	79.0	38.6	49.7	94.8
<b>2000</b>	171.5	110.9	56.8	27.0	18.0	27.8	8.5	10.7	17.0	47.1	74.2	75.5
<b>2001</b>	177.6	140.9	132.1	41.6	37.4	8.1	4.3	9.9	21.0	40.5	39.1	127.0
<b>2002</b>	172.2	116.5	153.6	60.2	24.3	24.3	5.1	35.7	37.6	59.3	51.8	63.2
<b>2003</b>	127.8	43.9	109.2	46.2	23.5	89.0	15.8	47.0	44.5	73.3	173.6	108.6
<b>2004</b>	138.5	153.2	147.0	48.4	32.8	18.4	13.5	7.8	24.6	62.2	52.5	51.0
<b>2005</b>	83.9	138.0	94.6	34.2	3.1	26.3	30.5	58.8	13.8	117.1	40.5	92.4
<b>2006</b>	201.4	113.3	164.4	84.5	29.6	15.4	31.6	45.2	51.2	84.6	107.2	168.1
<b>2007</b>	161.9	157.2	138.4	66.7	22.0	6.8	7.1	7.0	31.8	26.4	50.9	88.0
<b>2008</b>	142.1	122.7	159.7	37.0	10.4	12.4	4.7	6.9	36.3	40.1	73.1	74.3
<b>2009</b>	159.2	150.0	153.7	60.9	12.1	5.6	9.9	34.7	31.6	48.8	42.7	111.2
<b>2010</b>	182.8	137.0	94.3	52.8	13.6	1.4	2.5	52.1	63.1	47.4	74.4	134.4
<b>2011</b>	171.5	130.1	120.9	42.0	2.6	26.3	0.9	11.9	18.2	67.2	47.6	105.9
<b>2012</b>	137.4	177.9	128.2	85.4	16.0	3.9	11.8	3.2	64.9	59.1	53.5	114.1
<b>2013</b>	154.4	192.1	148.9	40.8	27.0	21.0	25.4	28.4	18.3	102.6	32.3	117.1
<b>2014</b>	210.5	109.8	180.3	45.2	49.4	7.9	30.0	24.4	38.2	44.1	76.9	83.5
<b>2015</b>	106.1	176.9	143.8	60.3	21.5	7.3	43.0	30.6	63.2	58.1	72.9	139.0
<b>PROM</b>	<b>155.1</b>	<b>144.0</b>	<b>133.8</b>	<b>53.5</b>	<b>20.9</b>	<b>18.0</b>	<b>13.6</b>	<b>28.6</b>	<b>40.3</b>	<b>59.6</b>	<b>70.6</b>	<b>101.9</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION PACCHA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	163.4	214.9	126.4	38.1	8.0	6.4	4.0	57.4	70.8	129.3	82.9	156.9

1995	164.3	160.6	92.1	55.0	12.8	6.5	4.6	33.8	38.8	46.1	152.2	55.3
1996	105.1	99.9	130.6	50.4	11.6	10.2	5.0	25.5	46.1	34.5	45.2	54.1
1997	182.5	198.6	128.8	45.7	14.5	26.5	5.3	22.5	21.8	46.2	122.0	83.6
1998	90.4	116.2	113.3	57.5	30.3	38.8	8.4	28.4	47.5	25.4	33.1	105.1
1999	164.8	189.6	173.7	65.5	30.3	6.2	10.1	27.8	78.1	32.0	47.0	87.3
2000	177.6	108.8	50.0	25.1	19.8	30.1	7.0	6.0	16.0	43.8	69.8	83.6
2001	179.6	140.8	124.7	37.4	26.4	8.2	4.1	10.0	21.2	32.5	41.8	127.9
2002	164.8	122.2	148.8	60.7	21.8	18.8	3.8	33.0	36.9	59.0	48.1	65.1
2003	118.2	43.7	106.9	41.0	22.2	65.1	10.7	42.6	42.9	78.3	166.8	114.3
2004	130.0	152.7	124.8	41.2	29.1	17.0	12.3	8.0	24.0	61.3	54.3	50.4
2005	90.3	144.8	99.2	34.6	2.5	23.8	29.5	51.2	12.7	112.3	35.8	89.5
2006	202.5	113.6	160.7	77.9	29.5	12.4	30.1	47.2	47.5	83.0	105.7	163.3
2007	151.7	156.6	131.0	59.2	21.3	5.2	3.1	5.9	25.8	23.6	52.5	85.9
2008	141.8	128.1	153.0	35.3	11.6	11.2	4.5	6.8	31.4	39.3	73.3	67.8
2009	149.6	151.9	153.9	54.6	9.4	4.1	6.9	33.7	28.9	47.6	43.1	100.1
2010	179.1	133.9	94.2	50.3	12.8	0.9	2.9	43.5	54.6	37.5	75.7	122.1
2011	155.8	128.6	117.8	38.2	2.6	15.2	1.0	9.8	17.4	54.3	45.8	104.2
2012	136.9	170.2	122.9	76.3	14.2	2.5	10.5	2.1	59.3	50.4	56.1	102.9
2013	147.1	198.8	143.5	38.5	26.7	22.1	28.5	20.7	16.3	80.8	29.9	105.9
2014	201.5	110.2	157.7	37.4	47.7	8.0	27.4	24.6	33.4	39.7	81.9	79.6
2015	104.7	180.1	143.9	59.1	19.4	5.6	43.1	28.3	58.5	55.7	73.7	133.8
PROM	150.1	143.9	127.2	49.0	19.3	15.7	11.9	25.9	37.7	55.1	69.9	97.2

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION PAMPAMARCA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	181.3	281.4	140.3	40.4	21.2	5.6	1.3	45.9	76.6	119.5	125.9	114.0
1995	131.5	175.1	107.2	69.5	4.1	4.8	3.7	37.2	22.7	67.8	155.6	70.1
1996	100.1	152.6	131.3	25.4	14.4	7.7	5.9	19.2	41.1	29.8	57.7	60.9
1997	191.3	219.6	131.3	55.8	14.9	45.0	11.5	11.5	23.6	40.1	106.0	117.9
1998	133.2	128.1	114.4	72.3	27.6	43.0	3.8	24.2	54.4	32.9	51.4	145.9
1999	206.2	259.2	190.3	52.9	22.1	2.1	4.5	33.1	110.6	40.4	53.0	93.2
2000	210.2	123.1	38.8	18.4	14.1	42.8	5.7	6.0	26.8	47.7	65.2	97.7
2001	207.1	151.4	144.7	48.1	15.6	3.3	1.5	7.7	18.2	23.5	34.0	173.8
2002	179.1	217.1	160.4	64.4	24.0	21.8	4.0	30.3	44.1	77.4	42.7	93.1
2003	114.4	50.8	100.7	29.8	19.3	40.7	3.1	39.2	38.3	75.8	165.2	154.6
2004	156.2	190.6	155.9	55.1	21.7	16.6	7.1	7.6	20.4	64.4	72.3	58.9
2005	112.9	152.6	110.1	32.0	3.6	17.7	13.7	37.8	9.1	61.5	48.0	64.3
2006	197.5	120.0	194.1	103.3	17.4	8.3	32.7	28.5	46.6	61.6	140.1	198.0
2007	215.8	161.6	159.3	62.0	14.3	4.5	0.6	4.2	30.1	30.1	66.9	90.3
2008	156.1	145.1	186.7	33.0	10.6	3.7	4.0	3.9	17.7	48.2	108.5	96.0
2009	200.4	186.8	189.0	67.6	8.2	1.8	1.7	22.7	28.3	50.7	48.2	113.6
2010	202.6	160.3	104.3	45.7	13.6	0.7	2.4	44.3	50.9	33.2	101.7	129.1
2011	180.0	155.3	131.6	40.3	5.4	24.3	0.6	3.3	12.8	61.3	58.1	98.1
2012	144.6	194.1	170.5	70.5	10.5	2.5	5.0	2.8	58.2	41.3	64.5	112.7
2013	170.2	237.6	151.1	36.4	28.4	22.5	28.4	15.4	19.7	92.8	28.4	96.5
2014	239.8	103.1	189.6	44.0	56.0	13.6	26.6	23.2	23.7	45.9	95.2	88.5

<b>2015</b>	129.8	211.2	195.3	88.8	18.3	3.1	58.6	22.0	67.0	53.8	124.4	164.6
<b>PROM</b>	<b>170.9</b>	<b>171.7</b>	<b>145.3</b>	<b>52.5</b>	<b>17.5</b>	<b>15.3</b>	<b>10.3</b>	<b>21.4</b>	<b>38.2</b>	<b>54.5</b>	<b>82.4</b>	<b>110.5</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION SAN JOSE DE PARCCO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	204.8	297.2	152.6	41.1	31.3	6.5	1.3	42.0	79.4	117.1	156.1	119.5
1995	130.4	190.8	120.2	74.2	4.7	5.1	3.8	37.3	20.9	71.6	174.2	81.3
1996	103.3	177.5	127.3	30.7	17.8	8.8	6.6	13.5	37.2	32.6	60.0	63.4
1997	181.0	227.3	120.7	56.7	15.9	50.8	13.0	9.5	26.2	37.0	130.8	118.1
1998	158.6	132.7	110.6	74.3	28.7	40.2	4.5	21.2	57.2	41.7	64.3	136.5
1999	215.7	275.9	196.0	55.7	22.9	1.9	3.3	35.4	121.8	40.4	57.4	81.7
2000	205.3	126.1	44.1	20.8	14.9	41.9	5.3	5.8	26.0	48.1	63.5	87.6
2001	211.2	158.4	141.6	53.9	17.5	2.6	1.8	5.7	17.4	22.3	31.1	170.8
2002	166.8	185.5	161.8	58.8	23.7	21.2	4.5	34.1	40.9	74.3	47.9	93.2
2003	114.1	50.2	94.2	32.9	22.3	48.0	2.8	45.6	38.2	81.1	167.9	158.3
2004	165.7	201.1	143.5	56.6	22.0	17.8	6.3	7.3	22.0	68.7	77.5	59.7
2005	117.2	157.6	111.0	34.7	4.8	19.8	13.1	34.8	8.6	54.7	51.7	50.7
2006	183.1	118.0	181.8	124.7	17.0	10.7	32.0	33.2	55.6	59.3	148.7	218.6
2007	219.4	167.8	160.3	66.9	13.7	5.7	0.7	6.4	30.6	36.0	68.5	106.2
2008	176.8	143.5	195.1	28.5	15.0	3.4	5.7	3.7	17.4	54.4	102.9	102.0
2009	160.4	177.5	193.5	69.1	9.3	3.4	1.0	23.0	30.4	58.2	51.1	118.1
2010	222.9	175.5	113.3	53.8	12.0	0.6	2.6	39.0	54.6	39.1	110.6	133.2
2011	182.7	164.4	124.5	39.3	7.2	30.0	0.7	3.1	12.3	78.1	60.8	98.5
2012	152.1	186.1	168.8	57.0	11.6	2.8	5.0	1.8	61.9	33.8	80.4	121.2
2013	188.0	229.2	157.3	33.8	31.4	24.8	41.5	11.3	20.6	92.9	26.8	97.5
2014	259.8	103.4	182.5	46.5	64.1	17.0	35.1	24.8	26.1	52.7	108.3	94.4
2015	138.7	221.4	204.8	123.0	21.4	3.0	56.1	21.4	65.0	53.7	125.3	152.2
<b>PROM</b>	<b>175.4</b>	<b>175.8</b>	<b>145.7</b>	<b>56.0</b>	<b>19.5</b>	<b>16.6</b>	<b>11.2</b>	<b>20.9</b>	<b>39.6</b>	<b>56.7</b>	<b>89.4</b>	<b>111.9</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION SUNILLA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	178.3	210.8	103.5	41.6	5.1	8.5	2.7	56.2	58.6	166.4	54.8	186.4
1995	165.1	147.9	95.1	41.6	2.8	11.8	1.5	33.9	44.8	42.6	143.6	63.1
1996	118.7	109.6	160.9	32.9	16.6	11.4	2.6	18.3	48.6	38.3	48.2	53.6
1997	204.3	177.6	170.4	42.7	17.1	21.7	5.1	9.2	19.5	58.2	144.3	69.8
1998	74.3	141.8	134.0	51.7	49.9	59.0	3.5	47.6	36.8	27.5	34.7	179.1
1999	161.3	193.4	192.5	47.0	34.0	8.9	6.8	28.8	89.4	19.2	57.6	101.3
2000	202.4	102.9	47.0	30.7	23.8	31.6	4.1	3.8	17.8	34.0	89.4	72.9
2001	196.4	171.2	151.5	28.3	19.9	20.9	1.7	12.1	16.9	25.5	46.1	166.4
2002	201.7	166.8	154.4	88.3	20.3	17.9	10.7	24.0	58.5	61.1	38.9	76.7
2003	153.2	41.4	136.6	40.0	34.0	43.0	9.9	28.8	39.0	103.2	168.0	154.2
2004	133.6	183.7	145.7	51.1	27.2	12.6	13.3	9.1	18.9	64.2	53.2	52.3
2005	94.6	156.4	133.5	38.1	1.5	31.1	30.7	50.5	11.9	110.9	46.2	102.8
2006	241.2	156.3	209.2	86.9	30.9	5.7	29.7	24.1	33.5	92.3	109.8	155.0
2007	162.2	148.9	132.5	62.4	18.2	3.9	0.5	1.9	20.7	18.1	49.8	55.3

<b>2008</b>	131.5	158.6	170.3	51.8	4.9	5.6	4.4	6.2	28.0	25.8	85.8	84.2
<b>2009</b>	217.4	179.9	177.2	75.1	12.3	3.1	2.8	21.5	15.3	44.2	49.6	102.0
<b>2010</b>	180.6	158.7	83.4	54.7	13.8	1.0	1.8	56.0	51.3	27.3	70.7	130.1
<b>2011</b>	165.5	144.8	127.2	43.3	2.6	12.4	0.7	6.9	11.1	42.2	50.3	108.1
<b>2012</b>	142.2	218.8	152.4	89.0	10.8	3.1	5.1	3.0	53.0	79.1	44.7	104.5
<b>2013</b>	140.0	255.7	161.3	59.6	39.0	28.5	19.4	18.2	24.7	83.5	33.9	146.9
<b>2014</b>	227.0	136.3	227.2	36.7	69.0	7.5	17.5	17.2	20.7	27.9	81.1	101.1
<b>2015</b>	114.4	190.3	171.5	44.3	14.0	4.3	79.2	62.3	78.8	74.7	73.4	180.3
<b>PROM</b>	<b>163.9</b>	<b>161.4</b>	<b>147.2</b>	<b>51.7</b>	<b>21.3</b>	<b>16.1</b>	<b>11.5</b>	<b>24.5</b>	<b>36.3</b>	<b>57.6</b>	<b>71.6</b>	<b>111.2</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION TARHUIYOCC												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	195.5	312.8	138.6	47.8	23.9	6.1	1.6	46.8	77.8	121.4	143.0	119.5
<b>1995</b>	139.2	191.0	118.5	72.8	5.0	4.9	3.9	36.6	30.6	69.2	165.3	78.2
<b>1996</b>	100.6	166.4	130.3	29.7	14.2	7.0	6.3	15.0	38.9	30.1	64.4	68.3
<b>1997</b>	191.4	232.7	135.5	57.6	16.2	47.4	12.0	11.9	24.5	40.3	99.5	118.9
<b>1998</b>	135.7	132.5	123.2	74.5	31.7	33.0	4.2	24.3	57.6	45.7	73.3	153.5
<b>1999</b>	219.7	269.8	198.8	57.2	22.3	1.8	3.7	33.0	119.5	40.3	66.2	91.5
<b>2000</b>	217.8	127.1	40.2	21.5	13.0	32.9	6.3	6.5	29.0	51.8	69.9	116.0
<b>2001</b>	218.7	157.9	147.7	56.9	18.3	3.6	1.6	8.2	20.9	25.0	33.3	181.0
<b>2002</b>	206.8	227.0	165.5	62.5	25.8	23.8	4.3	31.5	44.5	77.1	51.6	90.2
<b>2003</b>	115.7	52.0	106.7	36.9	20.7	46.5	2.7	39.1	37.7	76.8	167.8	160.0
<b>2004</b>	171.0	191.7	164.0	50.4	20.1	19.3	5.8	8.8	21.4	63.7	78.0	62.7
<b>2005</b>	106.3	142.9	106.0	33.2	4.4	18.4	10.3	44.4	10.2	56.6	55.9	67.6
<b>2006</b>	198.8	127.3	188.9	121.2	18.1	9.4	35.2	32.9	50.2	61.5	141.5	209.0
<b>2007</b>	240.7	172.5	166.5	66.0	14.4	5.5	0.4	5.1	30.4	36.9	70.4	108.9
<b>2008</b>	164.7	149.8	189.0	30.7	12.6	3.8	3.7	4.1	17.8	52.5	109.1	103.1
<b>2009</b>	200.7	189.0	192.6	72.6	8.3	2.1	1.3	22.4	29.9	53.4	54.6	119.0
<b>2010</b>	221.9	177.6	118.8	46.3	14.7	0.6	3.0	45.8	54.2	34.8	109.1	132.0
<b>2011</b>	201.3	164.0	138.9	42.6	5.7	25.3	0.4	2.7	12.5	69.1	73.3	101.7
<b>2012</b>	152.9	204.0	181.3	68.5	9.5	2.5	5.5	2.1	63.3	40.5	68.4	128.4
<b>2013</b>	180.0	245.0	158.0	35.2	28.4	22.4	27.7	14.6	21.8	98.4	32.8	108.0
<b>2014</b>	261.7	111.1	194.6	45.7	68.7	15.2	30.0	26.7	25.7	51.3	99.7	97.7
<b>2015</b>	139.9	232.1	194.9	85.9	21.1	3.1	61.0	21.4	69.4	56.7	128.7	160.9
<b>PROM</b>	<b>181.0</b>	<b>180.7</b>	<b>149.9</b>	<b>55.3</b>	<b>19.0</b>	<b>15.2</b>	<b>10.5</b>	<b>22.0</b>	<b>40.4</b>	<b>57.0</b>	<b>88.9</b>	<b>117.1</b>

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) ESTACION VIRGEN DEL CARMEN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	186.8	289.6	143.7	35.6	26.1	8.6	1.2	39.3	71.2	122.8	147.1	140.3
<b>1995</b>	140.9	208.3	132.9	63.0	8.0	6.9	2.7	29.6	21.2	69.1	161.5	87.1
<b>1996</b>	116.1	144.8	111.2	46.0	16.6	7.9	7.0	13.0	37.1	33.9	56.1	67.1
<b>1997</b>	166.3	221.2	123.7	56.4	18.3	49.1	6.3	11.8	24.1	39.5	153.7	103.7
<b>1998</b>	115.6	142.9	121.9	71.3	32.9	38.1	5.8	20.0	54.3	38.4	66.5	124.4
<b>1999</b>	204.2	274.2	187.8	55.3	25.7	2.2	3.5	30.2	117.5	42.6	57.2	83.8
<b>2000</b>	198.8	123.6	54.7	21.9	19.1	28.1	5.5	6.3	25.3	51.4	69.0	85.8

<b>2001</b>	200.6	168.8	133.2	52.7	22.8	3.6	1.8	5.5	19.9	25.1	38.5	151.6
<b>2002</b>	185.5	156.5	152.3	46.0	22.9	18.5	4.7	24.0	40.4	61.3	50.1	81.2
<b>2003</b>	127.3	48.1	81.1	36.6	18.4	63.4	3.1	45.0	39.0	83.7	161.6	157.1
<b>2004</b>	146.4	176.9	112.5	38.1	17.6	20.2	5.4	6.2	31.8	64.4	66.1	58.3
<b>2005</b>	111.4	148.8	106.8	40.4	4.8	25.4	13.5	38.0	10.9	56.8	53.1	60.0
<b>2006</b>	165.8	141.5	144.2	108.0	19.0	12.1	23.5	29.1	66.8	60.9	121.5	203.3
<b>2007</b>	192.5	174.2	153.5	75.9	12.6	6.4	0.6	9.3	28.4	38.0	67.3	131.1
<b>2008</b>	181.9	144.8	185.2	27.4	20.3	3.9	4.8	3.9	19.6	54.4	101.1	93.9
<b>2009</b>	139.9	142.5	175.2	62.5	8.2	6.4	0.8	20.6	30.5	57.4	49.9	108.3
<b>2010</b>	219.2	186.4	128.0	57.4	9.4	0.5	2.9	38.8	56.9	36.6	111.9	132.3
<b>2011</b>	174.1	167.6	124.6	35.5	4.3	19.3	0.3	4.2	11.0	78.8	59.1	88.7
<b>2012</b>	147.5	188.6	152.9	40.8	7.7	3.8	7.1	0.5	68.7	31.1	86.0	126.3
<b>2013</b>	169.4	215.6	156.6	28.5	40.7	22.7	48.1	9.0	18.0	80.6	29.0	117.8
<b>2014</b>	249.0	117.0	167.2	42.5	60.9	13.4	41.4	23.9	28.9	57.2	107.9	97.4
<b>2015</b>	132.4	210.5	178.0	71.5	24.7	3.0	46.4	19.1	62.3	53.1	104.3	148.6
<b>PROM</b>	<b>166.9</b>	<b>172.4</b>	<b>137.6</b>	<b>50.6</b>	<b>20.0</b>	<b>16.5</b>	<b>10.7</b>	<b>19.4</b>	<b>40.2</b>	<b>56.2</b>	<b>87.2</b>	<b>111.3</b>

#### Anexo 4. Datos de temperaturas máximas mensuales del producto PISCO.

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION WAYLLAPAMPA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	25.1	24.8	24.4	25.0	26.0	25.0	25.6	26.0	26.2	27.3	26.9	26.5
1995	25.8	25.8	24.8	25.9	26.7	25.8	26.3	27.8	26.2	27.7	26.7	26.7
1996	25.1	24.9	25.8	25.1	25.9	25.1	25.1	25.9	26.5	27.3	27.4	25.9
1997	25.1	24.8	25.6	26.3	26.2	26.3	26.2	25.9	26.6	27.7	26.9	26.8
1998	26.0	26.7	25.9	27.8	27.3	25.6	25.9	26.2	27.4	27.1	27.8	26.2
1999	26.0	24.2	24.3	24.5	25.1	25.7	24.5	25.8	25.8	25.8	27.4	26.0
2000	25.0	24.4	24.2	25.0	25.9	25.0	24.3	25.0	26.5	25.8	28.0	26.1
2001	24.2	24.9	25.0	24.9	25.7	24.2	24.8	25.5	26.0	26.8	27.4	26.8
2002	26.7	23.4	24.6	25.0	25.3	25.2	24.0	25.3	24.9	26.2	26.0	26.0
2003	26.3	25.0	23.5	24.9	25.0	25.1	24.8	25.0	25.4	28.0	28.4	26.2
2004	26.7	25.2	25.4	26.1	26.5	24.4	24.5	24.3	25.3	26.4	28.4	25.3
2005	26.3	26.0	25.5	27.2	27.7	26.6	26.1	27.0	27.4	27.0	28.9	25.7
2006	25.2	25.1	24.8	25.5	26.2	26.1	25.4	26.2	26.9	28.0	25.9	26.7
2007	26.6	26.3	24.4	25.1	26.1	25.5	24.9	26.5	25.3	27.5	27.3	26.6
2008	24.8	25.4	25.1	26.0	26.0	25.5	25.5	27.0	26.9	27.4	29.0	26.7
2009	25.2	24.8	25.0	25.0	25.5	25.8	25.2	26.2	27.0	27.8	26.6	26.0
2010	24.9	25.7	26.0	26.4	26.6	26.2	26.8	26.8	26.3	27.3	28.2	24.7
2011	24.9	23.2	23.0	24.3	25.4	25.3	24.8	25.9	25.5	26.6	27.8	25.0
2012	25.9	23.6	24.1	24.5	25.3	24.8	25.4	25.7	25.9	27.7	27.4	23.8
2013	25.2	24.1	24.8	26.5	25.5	24.1	23.9	25.6	27.2	26.8	27.5	25.1
2014	25.0	25.2	24.6	25.7	26.4	26.6	25.2	25.7	25.9	26.5	28.5	26.6
2015	24.6	24.6	24.9	24.2	25.9	25.8	25.8	26.2	27.4	28.0	28.5	26.3
<b>MAX</b>	<b>26.7</b>	<b>26.7</b>	<b>26.0</b>	<b>27.8</b>	<b>27.7</b>	<b>26.6</b>	<b>26.8</b>	<b>27.8</b>	<b>27.4</b>	<b>28.0</b>	<b>29.0</b>	<b>26.8</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION SAN PEDRO DE CACHI												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	20.2	19.9	19.8	20.2	21.5	20.2	21.2	21.6	21.6	22.7	22.2	22.0
1995	21.3	21.4	19.8	21.6	22.0	21.4	21.6	23.3	21.7	23.3	22.0	22.0
1996	20.1	20.3	21.4	20.3	21.4	20.3	20.1	21.7	21.9	22.8	23.2	21.4
1997	20.2	19.9	21.4	21.7	21.8	21.7	21.7	21.6	21.8	23.2	22.0	22.1
1998	21.7	22.0	21.6	23.3	22.9	21.4	21.7	21.7	22.9	22.6	23.3	21.7
1999	21.5	19.7	19.7	19.8	20.2	21.4	19.8	21.3	21.3	21.4	23.1	21.6
2000	20.1	19.9	19.7	20.1	21.4	20.1	19.8	20.1	22.0	21.4	23.3	21.6
2001	19.7	20.3	20.1	20.2	21.4	19.7	19.9	21.5	22.2	22.1	22.7	21.4
2002	21.4	19.0	19.9	20.2	21.0	20.8	19.4	21.1	20.7	21.5	21.1	21.4
2003	21.4	19.6	19.1	19.7	20.2	20.3	19.9	20.1	20.7	22.9	23.6	21.2
2004	21.6	20.4	19.7	21.4	22.1	20.0	19.7	19.6	20.6	21.8	22.8	20.3
2005	21.4	20.8	20.1	22.1	22.7	21.5	21.4	22.1	21.5	21.3	23.1	20.8
2006	19.9	19.6	19.8	19.9	21.4	21.5	21.4	22.2	22.0	22.8	21.1	22.0
2007	20.8	21.1	19.8	20.3	21.6	22.0	20.6	22.2	21.2	22.6	22.9	21.7
2008	19.4	20.1	20.1	22.1	21.6	21.5	21.7	22.8	22.6	22.6	23.8	22.1
2009	19.6	19.7	20.2	20.5	21.5	21.7	21.0	22.6	23.3	23.7	22.1	21.1

<b>2010</b>	20.3	20.5	20.7	22.3	22.2	22.4	22.9	22.9	22.7	22.9	23.9	20.5
<b>2011</b>	20.1	18.7	18.9	19.8	21.1	21.1	20.7	22.0	21.2	21.9	23.0	20.0
<b>2012</b>	21.2	18.6	19.4	20.0	21.1	20.4	21.5	21.6	21.9	23.7	23.5	19.9
<b>2013</b>	20.7	20.2	20.4	22.8	22.2	20.6	20.6	22.2	22.8	22.4	23.2	20.3
<b>2014</b>	20.1	20.3	20.1	21.0	21.6	22.6	20.7	21.9	21.2	21.6	23.5	21.3
<b>2015</b>	19.0	19.4	19.4	20.0	21.7	21.9	21.7	21.7	22.0	23.2	23.7	22.5
<b>MAX</b>	<b>21.7</b>	<b>22.0</b>	<b>21.6</b>	<b>23.3</b>	<b>22.9</b>	<b>22.6</b>	<b>22.9</b>	<b>23.3</b>	<b>23.3</b>	<b>23.7</b>	<b>23.9</b>	<b>22.5</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION LA QUINUA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	17.9	17.3	17.0	17.6	18.6	17.7	18.1	18.9	19.1	20.2	19.7	19.4
1995	18.5	18.5	17.4	18.7	19.7	18.3	19.2	20.8	19.1	20.7	19.7	19.6
1996	18.0	17.7	18.2	18.0	18.7	17.9	18.0	18.6	19.5	20.3	20.5	18.7
1997	17.9	17.3	18.3	19.2	19.0	19.2	19.1	18.6	19.5	20.6	19.6	19.9
1998	18.8	19.6	19.0	20.6	20.4	18.3	18.6	19.1	20.5	20.0	20.8	19.1
1999	18.7	16.2	16.8	17.3	18.0	18.3	17.0	18.2	18.2	18.5	20.6	18.4
2000	17.4	16.9	16.6	17.5	18.4	17.7	16.8	17.5	19.4	18.4	21.1	19.0
2001	16.7	17.7	17.5	17.8	18.3	16.7	17.1	17.5	18.3	19.6	20.3	20.0
2002	19.5	16.7	17.1	17.9	17.7	17.6	16.6	17.6	17.6	19.1	18.9	19.0
2003	19.2	18.1	16.5	17.5	17.7	18.0	17.3	17.7	18.5	21.0	21.3	19.3
2004	19.5	17.9	18.3	18.9	19.4	17.2	17.0	16.7	17.8	18.9	20.6	18.0
2005	19.8	19.0	18.2	19.0	19.6	18.7	18.4	19.6	19.7	19.2	21.0	18.5
2006	17.9	17.6	17.6	18.2	18.6	18.4	17.8	18.4	20.0	20.0	18.9	19.6
2007	19.1	19.2	17.7	18.0	19.0	18.5	17.6	19.1	18.1	20.0	20.4	19.3
2008	17.4	17.4	17.5	18.8	18.5	18.2	18.4	19.8	19.9	19.5	21.1	19.8
2009	18.1	18.1	17.5	17.7	18.6	18.9	18.4	19.9	20.3	20.6	19.7	19.4
2010	18.3	19.5	19.1	20.2	19.5	19.0	19.9	20.0	19.7	20.4	21.4	18.3
2011	17.9	16.7	16.6	17.3	18.1	18.3	17.5	18.9	19.1	19.3	20.6	17.7
2012	18.8	17.6	17.3	17.5	18.6	17.4	18.3	18.9	19.2	20.6	20.5	17.4
2013	18.9	17.7	18.5	19.7	18.7	17.4	16.8	18.8	19.8	19.4	20.7	18.3
2014	18.3	18.5	17.8	18.3	18.7	19.4	18.3	18.5	18.4	18.9	21.2	19.7
2015	18.0	18.1	18.0	17.2	18.6	18.2	18.6	18.8	19.6	20.6	21.1	19.9
<b>MAX</b>	<b>19.8</b>	<b>19.6</b>	<b>19.1</b>	<b>20.6</b>	<b>20.4</b>	<b>19.4</b>	<b>19.9</b>	<b>20.8</b>	<b>20.5</b>	<b>21.0</b>	<b>21.4</b>	<b>20.0</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION HUANTA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	28.0	27.8	27.8	27.8	28.1	27.8	27.8	28.5	28.6	29.8	29.3	29.0
1995	28.2	28.2	27.8	28.1	29.4	27.8	28.7	30.2	28.6	30.2	29.5	29.2
1996	28.1	27.8	27.9	28.0	28.3	28.0	28.1	28.2	29.2	30.0	29.9	28.3
1997	28.0	27.8	27.9	28.7	28.6	28.7	28.7	28.0	29.1	30.0	29.2	29.3
1998	28.2	29.2	28.6	30.2	29.9	27.9	28.2	28.5	30.0	29.5	30.2	28.5
1999	28.1	27.6	27.5	27.6	28.1	27.9	27.5	27.8	27.8	28.0	29.9	28.1
2000	27.8	27.7	27.6	27.8	27.9	27.8	27.5	27.8	29.0	28.0	30.6	28.7
2001	27.6	27.8	27.8	27.8	27.9	27.6	27.8	27.8	28.0	29.2	30.0	29.4
2002	29.3	28.0	27.6	28.0	28.0	27.9	27.9	27.9	28.0	28.6	28.3	28.5

<b>2003</b>	28.7	28.1	27.9	27.9	27.8	28.0	27.8	27.8	27.9	30.7	31.1	28.7
<b>2004</b>	29.3	28.0	28.0	28.6	28.8	27.7	27.8	27.6	27.9	28.5	30.7	28.0
<b>2005</b>	29.2	28.5	27.9	29.0	29.2	28.3	28.1	29.2	29.4	29.0	31.0	28.1
<b>2006</b>	28.0	27.8	27.9	28.1	28.0	28.0	27.8	28.1	29.4	29.6	28.3	29.2
<b>2007</b>	28.6	28.7	28.1	28.0	28.7	28.0	28.0	28.6	27.8	29.6	29.9	28.8
<b>2008</b>	27.8	27.7	27.8	28.2	28.1	27.9	28.1	29.1	29.4	29.2	31.4	29.5
<b>2009</b>	28.1	28.2	27.8	28.0	28.1	28.4	27.9	29.2	30.0	30.6	29.4	28.9
<b>2010</b>	28.0	28.7	28.6	29.8	29.2	28.4	29.2	29.2	29.3	29.9	31.2	27.9
<b>2011</b>	28.0	28.0	28.0	27.7	27.9	27.8	27.9	28.6	28.5	29.1	30.1	27.8
<b>2012</b>	28.2	28.0	27.9	27.8	28.0	27.8	27.8	28.4	28.6	30.4	30.1	27.6
<b>2013</b>	26.6	27.6	27.0	31.2	27.6	26.2	26.0	28.4	28.2	29.2	29.0	28.0
<b>2014</b>	28.8	26.4	28.6	26.4	26.8	27.0	26.8	28.0	28.0	29.8	30.6	31.4
<b>2015</b>	28.0	28.1	26.8	26.6	27.6	26.4	27.0	27.8	29.0	31.4	31.4	29.8
<b>MAX</b>	<b>29.3</b>	<b>29.2</b>	<b>28.6</b>	<b>31.2</b>	<b>29.9</b>	<b>28.7</b>	<b>29.2</b>	<b>30.2</b>	<b>30.0</b>	<b>31.4</b>	<b>31.4</b>	<b>31.4</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION INIA CAANAN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	26.7	26.7	26.7	26.8	27.5	26.6	27.0	27.8	27.9	28.9	28.0	28.1
<b>1995</b>	27.4	27.5	26.5	27.5	28.0	27.0	27.9	29.2	28.0	29.1	28.0	28.0
<b>1996</b>	27.0	26.8	27.1	27.0	27.5	26.9	27.0	27.5	28.0	28.8	29.0	27.5
<b>1997</b>	26.7	26.7	26.9	28.0	27.9	28.0	28.0	27.5	27.9	29.1	28.0	28.0
<b>1998</b>	27.8	28.0	27.8	29.1	29.0	26.9	27.5	28.0	28.8	28.2	29.2	28.0
<b>1999</b>	27.5	26.7	26.7	26.6	27.1	27.0	26.6	27.0	27.0	27.4	29.1	27.2
<b>2000</b>	26.8	26.8	26.7	26.8	27.2	26.7	26.6	26.8	28.0	27.2	29.4	27.8
<b>2001</b>	26.8	26.8	26.7	26.8	27.1	26.8	26.5	26.8	27.5	28.0	28.7	27.9
<b>2002</b>	27.9	27.1	26.5	26.7	27.0	26.9	26.8	27.0	26.8	27.9	27.4	27.7
<b>2003</b>	27.9	27.3	27.1	26.6	26.6	27.2	26.7	26.6	27.0	29.4	29.5	27.9
<b>2004</b>	27.9	26.9	27.2	27.8	28.0	26.9	26.7	26.7	26.7	28.0	29.3	27.0
<b>2005</b>	27.9	27.4	27.2	27.7	27.8	27.9	27.2	28.0	27.9	27.8	29.5	27.1
<b>2006</b>	26.7	26.8	26.8	27.1	27.4	27.3	26.8	27.8	28.0	28.3	27.4	28.0
<b>2007</b>	27.4	27.7	26.9	27.1	27.9	27.5	26.8	28.0	27.0	28.2	28.7	28.0
<b>2008</b>	26.6	26.5	26.6	28.1	27.4	27.1	27.7	27.9	28.2	27.9	29.6	28.2
<b>2009</b>	27.2	27.4	26.7	26.9	27.5	27.8	27.0	28.0	29.1	29.3	28.0	27.8
<b>2010</b>	27.2	27.5	27.3	28.8	28.0	28.0	28.2	28.1	27.9	29.0	29.6	27.1
<b>2011</b>	26.8	27.1	27.1	26.9	26.9	27.0	27.0	28.1	27.4	28.0	29.2	26.7
<b>2012</b>	27.5	27.1	27.0	26.8	27.2	26.9	27.0	27.8	27.8	29.3	29.1	26.7
<b>2013</b>	25.8	25.4	26.6	27.8	28.2	25.4	25.0	28.0	27.6	28.4	28.6	28.0
<b>2014</b>	27.8	27.2	28.2	27.0	27.0	27.8	26.0	27.0	28.2	28.4	29.8	28.8
<b>2015</b>	28.2	28.2	27.4	27.2	28.8	27.2	27.8	29.2	28.0	29.4	30.6	28.8
<b>MAX</b>	<b>28.2</b>	<b>28.2</b>	<b>28.2</b>	<b>29.1</b>	<b>29.0</b>	<b>28.0</b>	<b>28.2</b>	<b>29.2</b>	<b>29.1</b>	<b>29.4</b>	<b>30.6</b>	<b>28.8</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION ALLPACHACA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	20.7	20.5	20.3	20.3	20.9	20.3	21.0	20.8	21.1	22.3	21.7	21.6
<b>1995</b>	21.0	21.0	20.3	20.9	21.9	20.9	21.2	23.2	21.1	23.1	21.9	21.9

1996	20.7	20.5	20.9	20.8	20.9	20.7	20.8	21.0	21.6	22.7	22.8	20.9
1997	20.7	20.5	21.3	21.1	21.0	21.1	21.1	20.8	21.6	23.0	21.9	21.7
1998	20.8	21.9	20.8	23.1	22.8	21.3	21.0	21.1	22.8	22.0	23.2	21.1
1999	20.6	20.2	20.3	20.2	20.7	21.1	20.3	20.9	20.9	20.9	22.8	21.3
2000	20.3	20.4	20.3	20.3	21.3	20.3	20.3	20.3	21.6	21.3	23.7	21.0
2001	20.3	20.5	20.3	20.5	20.9	20.2	20.3	20.8	20.7	21.9	22.6	21.7
2002	21.2	20.5	20.3	20.6	20.6	20.7	20.5	20.5	20.6	20.7	20.8	20.7
2003	20.8	20.7	20.5	20.3	20.3	20.8	20.5	20.3	21.2	23.9	23.6	20.9
2004	21.3	20.7	20.8	20.7	21.4	20.5	20.3	20.3	20.8	21.2	23.2	20.8
2005	21.6	20.7	20.8	21.1	22.1	20.8	21.2	22.0	22.2	20.9	23.6	21.1
2006	20.7	20.3	20.3	20.8	20.8	21.2	20.9	20.8	22.0	22.0	20.7	21.8
2007	20.7	20.8	20.5	20.8	21.0	20.7	20.6	21.2	20.9	22.0	22.6	21.3
2008	20.3	20.4	20.3	20.9	20.8	20.9	20.8	22.1	22.0	22.1	23.7	21.7
2009	20.8	20.8	20.4	20.6	21.0	20.8	21.2	22.1	23.1	23.6	22.0	20.9
2010	20.8	21.1	20.8	22.8	21.7	21.3	22.1	22.1	22.3	22.8	23.6	20.9
2011	20.6	20.5	20.5	20.3	21.0	21.2	20.5	21.5	20.8	21.5	23.0	20.5
2012	20.8	20.5	20.5	20.5	21.2	20.4	21.1	20.9	20.7	23.6	23.0	20.2
2013	19.5	19.0	20.0	21.0	21.0	19.0	18.5	21.5	21.5	21.0	22.5	22.0
2014	21.0	20.0	19.5	19.0	20.0	23.5	21.5	22.0	19.5	22.0	23.0	27.5
2015	21.0	21.0	20.0	19.0	20.0	20.5	25.0	21.0	24.0	26.0	23.5	28.0
MAX	21.6	21.9	21.3	23.1	22.8	23.5	25.0	23.2	24.0	26.0	23.7	28.0

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION APACHETA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	15.1	15.2	15.2	15.2	15.6	15.0	15.9	15.6	15.7	17.2	16.7	16.0
1995	15.7	15.7	15.0	15.6	16.7	15.9	15.8	17.5	15.8	17.5	16.7	16.6
1996	15.5	15.1	16.0	15.5	15.7	15.2	15.4	15.5	16.1	17.5	17.5	15.7
1997	15.1	15.2	15.8	15.9	15.7	15.9	15.9	15.6	16.2	17.5	16.6	16.7
1998	15.6	16.6	15.7	17.5	17.5	15.8	15.5	15.8	17.5	16.8	17.5	15.8
1999	15.8	15.0	15.1	15.1	15.5	15.8	15.0	16.0	16.0	15.8	17.5	16.0
2000	15.2	15.2	15.1	15.2	16.0	15.1	15.0	15.2	16.0	15.9	17.8	15.7
2001	15.1	15.1	15.1	15.1	15.9	15.0	15.0	15.6	16.0	16.6	17.4	16.7
2002	16.4	15.3	15.0	15.2	15.5	15.4	15.0	15.6	15.1	15.7	15.7	15.8
2003	15.9	15.5	15.3	15.1	15.0	15.6	15.2	15.0	15.7	17.8	18.1	15.8
2004	16.4	15.2	15.7	15.7	16.1	15.3	15.3	15.0	15.2	15.7	17.8	15.4
2005	16.6	15.8	15.7	16.2	16.6	15.6	16.0	16.7	16.7	16.2	18.3	15.8
2006	15.2	15.3	15.3	15.8	15.8	15.9	15.5	15.8	16.8	16.8	15.6	16.6
2007	16.0	15.9	15.5	15.5	15.7	15.7	15.1	15.9	15.9	16.8	17.5	16.1
2008	15.1	15.0	15.1	15.7	15.8	15.9	15.7	16.8	16.8	16.8	18.7	16.8
2009	15.7	15.4	15.1	15.2	15.7	15.6	15.8	16.8	17.5	17.9	16.5	15.8
2010	15.6	15.8	15.8	17.4	16.4	15.9	16.8	16.8	16.7	17.5	18.2	15.7
2011	15.2	15.3	15.3	15.5	15.9	15.8	15.7	15.6	15.7	16.0	17.5	15.1
2012	15.7	15.5	15.3	15.4	15.7	15.4	15.8	15.6	15.9	17.8	17.4	14.9
2013	14.2	14.4	15.0	15.8	15.8	13.2	12.8	15.4	17.2	16.2	18.0	16.2
2014	15.2	15.0	16.0	14.4	15.4	15.6	15.0	14.8	14.8	15.4	17.4	17.2
2015	17.0	15.4	15.0	14.2	15.0	16.8	14.8	16.2	16.8	18.4	20.0	17.0

<b>MAX</b>	<b>17.0</b>	<b>16.6</b>	<b>16.0</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>16.8</b>	<b>16.8</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>18.4</b>	<b>20.0</b>	<b>17.2</b>
------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION CHIARA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	18.7	18.6	18.6	18.6	19.3	18.6	19.0	19.8	20.0	20.7	20.5	20.4
1995	19.3	19.2	18.5	19.3	20.5	18.9	20.0	20.6	20.0	20.6	20.6	20.5
1996	18.8	18.6	19.0	18.7	19.2	18.7	18.7	19.3	20.3	20.7	20.6	19.2
1997	18.7	18.6	18.9	20.1	20.0	20.1	20.1	19.3	20.4	20.5	20.5	20.6
1998	19.8	20.5	19.9	20.6	20.6	18.9	19.3	20.1	20.6	20.7	20.6	20.1
1999	19.4	18.5	18.5	18.5	18.8	18.9	18.5	18.9	18.9	19.2	20.6	19.2
2000	18.6	18.6	18.5	18.6	19.2	18.6	18.5	18.6	20.4	19.0	21.0	19.8
2001	18.6	18.6	18.6	18.6	19.0	18.5	18.5	18.9	19.3	20.4	20.7	20.4
2002	20.3	18.6	18.5	18.7	18.8	18.8	18.5	18.8	18.7	19.9	19.4	19.7
2003	19.8	18.8	18.6	18.5	18.6	18.8	18.6	18.6	18.8	21.0	21.2	19.7
2004	20.2	18.7	18.8	19.8	20.3	18.7	18.6	18.5	18.8	20.2	21.0	18.8
2005	20.3	19.1	18.9	20.0	20.5	20.0	19.2	20.4	20.5	19.8	21.1	19.0
2006	18.8	18.6	18.7	18.9	19.2	19.2	18.9	19.6	20.6	20.9	19.4	20.5
2007	19.4	19.7	18.7	18.7	19.9	19.5	18.6	20.2	18.9	20.8	20.6	20.2
2008	18.5	18.6	18.5	20.1	19.2	19.0	19.5	20.6	20.6	20.5	21.1	20.6
2009	18.8	18.8	18.5	18.7	19.1	19.7	18.9	20.4	20.6	20.8	20.5	19.7
2010	18.8	19.2	19.1	20.8	20.4	20.3	20.6	20.6	20.5	20.5	20.9	18.8
2011	18.7	18.6	18.6	18.7	19.0	18.9	18.7	20.3	19.5	20.2	20.6	18.7
2012	19.6	18.6	18.6	18.7	19.0	18.6	18.9	19.8	19.8	20.7	20.5	18.5
2013	17.3	18.0	18.2	22.0	20.0	18.3	17.1	20.2	21.0	21.2	20.3	21.0
2014	18.4	17.4	19.2	18.4	19.4	19.4	18.2	18.0	20.2	20.2	22.0	21.0
2015	18.0	18.6	18.4	18.4	19.2	18.6	19.4	19.8	20.4	22.0	22.4	20.8
<b>MAX</b>	<b>20.3</b>	<b>20.5</b>	<b>19.9</b>	<b>22.0</b>	<b>20.6</b>	<b>20.3</b>	<b>20.6</b>	<b>20.6</b>	<b>21.0</b>	<b>22.0</b>	<b>22.4</b>	<b>21.0</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION CHOCCORO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	16.5	16.4	16.2	16.4	16.7	16.4	17.0	16.7	16.6	18.3	17.3	16.6
1995	16.8	16.8	16.4	16.7	17.4	17.0	16.6	18.4	16.6	18.4	17.4	17.3
1996	16.5	16.4	17.0	16.6	16.8	16.5	16.5	16.7	16.7	18.1	18.3	16.8
1997	16.5	16.4	17.0	16.6	16.6	16.6	16.6	16.7	16.9	18.3	17.3	17.3
1998	16.7	17.3	16.7	18.4	18.4	17.0	16.7	16.6	18.2	17.8	18.4	16.6
1999	16.8	16.0	15.8	15.8	16.5	17.0	15.8	17.0	17.0	16.9	18.3	16.9
2000	16.3	16.2	16.0	16.3	16.9	16.3	15.8	16.3	16.7	16.9	18.6	16.7
2001	16.1	16.4	16.3	16.4	17.0	16.0	16.4	16.7	16.9	17.3	18.1	17.5
2002	17.4	16.1	16.0	16.5	16.5	16.4	16.0	16.5	16.4	16.7	16.7	16.8
2003	16.7	16.5	16.1	16.5	16.4	16.6	16.4	16.3	16.9	18.6	18.9	16.7
2004	17.3	16.6	16.9	16.7	16.6	16.2	16.2	15.8	16.6	16.5	18.4	16.7
2005	17.1	16.8	16.9	17.3	17.6	16.6	16.9	17.4	17.6	17.2	18.8	16.8
2006	16.5	16.4	16.4	16.9	16.9	16.9	16.8	16.7	17.6	17.9	16.7	17.3
2007	16.9	16.8	16.1	16.6	16.7	16.8	16.5	16.6	16.8	17.9	18.2	16.7
2008	16.0	16.6	16.4	16.5	16.8	17.0	16.7	17.5	17.6	17.5	19.4	17.5

2009	16.6	16.5	16.4	16.5	16.8	16.7	16.8	17.4	18.3	18.9	17.3	16.7
2010	16.8	16.8	16.9	18.2	17.3	16.6	17.5	17.5	17.3	18.4	19.2	16.8
2011	16.5	16.1	16.1	16.1	16.9	16.9	16.5	16.4	16.7	16.7	18.3	16.4
2012	16.8	16.1	16.1	16.2	16.9	16.4	17.0	16.7	16.8	18.8	18.4	15.8
2013	15.0	15.0	15.4	15.8	16.4	13.2	13.0	16.2	16.6	16.2	17.4	16.4
2014	17.2	14.8	15.2	14.4	14.2	16.0	13.8	14.8	16.4	16.2	18.0	17.0
2015	16.2	15.4	14.6	15.0	15.0	15.8	16.2	17.8	17.6	18.8	19.6	19.0
MAX	17.4	17.3	17.0	18.4	18.4	17.0	17.5	18.4	18.3	18.9	19.6	19.0

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION TAMBILLO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	21.3	21.2	21.2	21.2	21.8	21.2	21.7	22.2	22.4	23.2	22.6	22.5
1995	21.8	21.8	21.2	21.8	22.7	21.7	22.3	23.5	22.4	23.4	22.7	22.5
1996	21.5	21.2	21.8	21.5	21.8	21.5	21.5	21.8	22.5	23.0	23.1	21.8
1997	21.3	21.2	21.7	22.4	22.4	22.4	22.4	21.8	22.4	23.2	22.5	22.6
1998	22.2	22.5	22.2	23.4	23.1	21.7	21.8	22.4	23.2	22.9	23.5	22.4
1999	21.8	21.3	21.1	21.1	21.5	21.7	21.0	21.7	21.7	21.8	23.1	21.8
2000	21.3	21.2	21.3	21.3	21.8	21.2	21.1	21.3	22.5	21.7	24.1	22.2
2001	21.3	21.2	21.3	21.2	21.8	21.3	21.2	21.6	22.0	22.5	23.0	22.6
2002	22.4	21.4	21.1	21.4	21.4	21.4	21.2	21.4	21.2	22.2	22.0	22.1
2003	22.2	21.5	21.3	21.2	21.2	21.5	21.2	21.2	21.5	24.0	24.3	22.2
2004	22.3	21.5	21.5	22.2	22.5	21.3	21.2	21.1	21.4	22.4	23.9	21.5
2005	22.5	21.9	21.6	22.2	22.6	22.2	21.7	22.6	22.6	22.2	24.1	21.6
2006	21.4	21.2	21.2	21.6	21.8	21.8	21.7	22.1	22.7	22.8	22.0	22.6
2007	22.0	22.2	21.2	21.5	22.2	22.1	21.2	22.5	21.7	22.9	23.1	22.4
2008	21.2	21.2	21.2	22.4	21.9	21.8	22.1	22.6	22.8	22.6	24.2	22.8
2009	21.5	21.5	21.2	21.3	21.8	22.2	21.6	22.8	23.8	23.9	22.5	22.3
2010	21.6	22.0	21.8	23.4	22.4	22.5	22.8	22.7	22.7	23.2	24.1	21.5
2011	21.4	21.4	21.4	21.3	21.7	21.7	21.3	22.5	22.2	22.4	23.3	21.3
2012	22.0	21.3	21.2	21.2	21.6	21.3	21.7	22.3	22.3	23.8	23.3	21.3
2013	19.8	19.6	20.2	22.2	22.8	20.6	19.3	23.2	22.6	22.7	22.8	22.6
2014	22.2	20.6	21.8	20.2	21.1	21.9	20.5	20.8	22.2	22.2	24.4	23.7
2015	21.3	21.4	20.6	23.0	22.2	21.0	21.2	22.6	22.4	24.2	25.4	24.4
MAX	22.5	22.5	22.2	23.4	23.1	22.5	22.8	23.5	23.8	24.2	25.4	24.4

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION JATUMPAMPA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	18.9	18.6	18.9	18.6	19.8	19.4	19.3	18.6	18.9	20.5	21.1	20.1
1995	18.6	18.8	18.7	19.3	20.1	19.8	20.3	19.9	20.2	20.9	20.4	21.0
1996	21.6	20.7	20.8	21.1	21.8	20.7	21.1	20.8	20.3	22.1	22.3	20.0
1997	17.7	18.1	18.5	18.5	20.2	19.1	19.0	19.5	20.6	21.0	20.7	19.9
1998	19.0	18.3	19.0	18.7	19.8	18.8	19.0	20.3	20.4	22.1	21.0	19.3
1999	18.7	18.0	18.3	18.9	19.4	19.8	18.7	19.9	20.4	21.8	21.7	20.5
2000	19.2	20.0	20.2	20.3	20.7	20.1	20.6	21.4	21.9	22.4	22.1	21.2
2001	19.1	19.9	19.0	19.1	20.2	20.1	19.7	21.2	20.6	22.2	21.9	19.7

<b>2002</b>	18.4	18.1	17.9	18.7	19.5	19.0	19.1	19.7	20.7	21.4	21.9	21.8
<b>2003</b>	19.2	20.1	19.9	20.2	20.3	18.8	19.1	20.2	20.6	21.3	21.4	19.9
<b>2004</b>	20.2	19.7	19.0	19.6	20.5	20.3	19.8	20.4	20.4	20.7	21.0	21.0
<b>2005</b>	19.9	20.1	20.1	21.0	22.1	19.1	18.9	19.4	20.5	21.2	21.6	21.1
<b>2006</b>	18.9	19.0	18.5	19.3	19.8	20.3	19.4	19.5	20.0	20.7	20.7	19.8
<b>2007</b>	18.7	18.7	18.6	19.1	20.5	19.9	19.9	20.6	21.0	22.1	21.7	20.9
<b>2008</b>	19.9	19.9	19.0	20.3	21.2	20.4	20.6	21.6	20.9	22.4	21.7	20.8
<b>2009</b>	19.0	19.1	19.6	19.4	20.2	19.8	20.0	20.0	21.2	22.2	21.6	20.2
<b>2010</b>	18.7	18.8	19.4	19.8	20.2	20.3	20.7	19.7	21.5	22.6	21.5	21.3
<b>2011</b>	20.2	20.8	20.7	21.6	22.1	20.5	21.1	21.1	22.0	22.1	21.9	20.3
<b>2012</b>	19.6	17.8	18.2	18.6	20.2	20.1	19.4	20.4	20.5	20.6	22.0	20.1
<b>2013</b>	18.0	18.3	18.3	19.4	20.5	19.9	19.5	20.1	21.6	21.1	23.3	20.6
<b>2014</b>	18.1	18.7	18.7	19.1	20.0	19.4	19.8	19.8	20.7	22.0	21.9	21.2
<b>2015</b>	20.5	18.8	19.2	19.0	20.2	19.9	18.5	19.9	20.2	21.5	21.1	20.7
<b>MAX</b>	<b>21.6</b>	<b>20.8</b>	<b>20.8</b>	<b>21.6</b>	<b>22.1</b>	<b>20.7</b>	<b>21.1</b>	<b>21.6</b>	<b>22.0</b>	<b>22.6</b>	<b>23.3</b>	<b>21.8</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION OCOLLO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	15.6	15.6	15.9	15.7	16.1	16.5	16.2	15.7	15.8	16.7	17.4	16.5
<b>1995</b>	15.4	15.6	16.0	16.3	16.5	16.6	17.6	17.2	16.8	17.1	17.3	17.2
<b>1996</b>	18.2	18.3	17.6	17.7	17.9	17.4	17.5	17.3	16.4	17.4	17.8	15.8
<b>1997</b>	13.8	15.0	15.4	15.2	16.3	15.8	15.7	16.1	16.3	17.0	16.6	16.2
<b>1998</b>	15.0	15.4	15.9	15.7	16.4	16.6	16.0	17.3	16.7	17.3	17.0	15.2
<b>1999</b>	15.3	15.0	15.5	16.1	16.5	16.6	16.1	16.4	17.1	17.1	17.6	16.4
<b>2000</b>	15.6	17.7	17.2	17.0	17.1	17.0	17.2	17.8	17.8	17.8	18.2	17.4
<b>2001</b>	15.8	16.8	16.0	16.0	16.5	16.4	16.6	17.7	16.8	17.5	17.7	15.5
<b>2002</b>	15.1	14.7	14.5	15.5	16.0	15.8	16.1	16.4	16.3	16.8	17.8	16.9
<b>2003</b>	16.0	16.9	17.0	16.9	16.6	15.6	16.2	17.2	16.9	16.8	17.4	16.0
<b>2004</b>	15.8	16.9	16.0	16.5	17.1	16.6	16.8	17.3	17.0	17.0	17.4	16.9
<b>2005</b>	16.5	17.1	17.2	17.1	17.3	15.9	16.0	16.2	16.6	16.8	17.5	16.9
<b>2006</b>	15.1	15.8	15.6	15.7	15.9	16.9	16.4	16.2	16.2	16.7	17.0	16.0
<b>2007</b>	15.3	15.7	16.0	16.1	16.9	16.6	17.0	17.3	17.5	17.8	17.7	17.2
<b>2008</b>	16.6	17.1	15.9	17.0	17.1	16.8	16.9	17.4	16.9	17.5	17.5	16.7
<b>2009</b>	14.7	15.5	15.6	15.9	16.5	16.2	16.8	16.6	17.4	17.5	17.7	16.7
<b>2010</b>	14.9	16.0	16.4	16.4	17.0	16.3	17.8	16.4	16.7	17.8	17.7	17.4
<b>2011</b>	17.1	17.9	17.6	18.0	18.0	16.9	17.2	17.1	17.4	17.5	17.9	16.2
<b>2012</b>	15.6	14.4	14.5	15.8	15.9	16.0	16.1	17.1	16.3	16.4	17.6	16.0
<b>2013</b>	14.2	14.6	14.9	15.6	16.6	16.0	15.9	16.9	16.8	17.1	17.9	16.6
<b>2014</b>	14.6	15.7	15.0	16.2	16.3	16.4	16.8	17.3	17.1	17.9	17.7	17.8
<b>2015</b>	17.4	16.1	16.1	15.9	16.8	16.9	16.0	17.4	16.9	17.5	17.6	17.4
<b>MAX</b>	<b>18.2</b>	<b>18.3</b>	<b>17.6</b>	<b>18.0</b>	<b>18.0</b>	<b>17.4</b>	<b>17.8</b>	<b>17.8</b>	<b>17.8</b>	<b>17.9</b>	<b>18.2</b>	<b>17.8</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION PACCHA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	17.5	16.8	17.2	16.9	17.9	18.2	17.7	17.4	17.5	19.4	20.4	18.7

1995	17.1	16.8	17.2	17.7	18.4	18.3	19.0	18.8	18.9	19.7	19.3	19.4
1996	20.0	19.2	18.8	19.2	20.0	19.3	19.5	19.2	18.6	20.4	20.6	17.8
1997	15.7	16.3	16.8	16.4	18.3	17.6	17.4	18.1	18.6	19.7	19.1	18.3
1998	17.2	16.6	17.2	17.0	18.1	17.6	17.5	19.1	18.8	20.4	19.5	17.5
1999	17.0	16.4	16.7	17.3	18.2	18.3	17.2	18.4	19.1	20.1	20.1	18.5
2000	17.5	18.4	18.6	18.5	19.2	18.8	19.1	19.8	20.1	20.8	20.7	19.6
2001	18.0	18.2	17.5	17.5	18.5	18.6	18.2	20.0	19.2	20.5	20.2	17.9
2002	16.6	16.0	16.0	16.9	17.6	17.5	17.7	18.2	19.0	19.7	20.3	19.7
2003	17.4	18.4	18.2	18.5	18.6	17.2	17.7	19.0	19.0	19.7	19.9	18.3
2004	18.2	18.2	17.3	17.9	18.9	18.9	18.6	19.2	19.0	19.7	19.8	19.4
2005	18.4	18.5	18.5	19.0	20.2	17.7	17.6	18.1	18.8	19.6	20.0	19.4
2006	17.2	17.2	16.7	17.3	18.0	18.8	18.0	18.0	18.3	19.5	19.3	18.1
2007	17.0	16.9	17.0	17.4	18.7	18.5	18.6	19.4	19.4	20.5	20.2	19.4
2008	18.3	18.3	17.4	18.6	19.2	18.8	19.1	20.2	19.2	20.6	20.1	19.0
2009	16.8	16.9	17.3	17.4	18.2	18.2	18.3	18.5	19.4	20.3	20.1	18.7
2010	16.8	17.2	17.7	17.9	18.2	18.5	19.3	18.1	19.0	20.6	20.0	19.6
2011	18.5	19.0	18.9	19.6	20.2	18.7	19.2	19.5	20.1	20.3	20.4	18.7
2012	17.5	16.0	16.2	16.8	17.9	18.3	17.9	19.1	18.6	18.8	20.4	18.3
2013	16.2	16.1	16.3	17.1	18.4	17.9	17.7	18.6	19.4	19.2	21.0	19.0
2014	16.3	16.8	16.5	17.3	18.0	17.9	18.2	18.6	18.9	20.3	20.2	19.7
2015	18.8	17.2	17.4	17.4	18.2	18.2	16.8	18.7	18.5	19.9	19.7	19.4
MAX	20.0	19.2	18.9	19.6	20.2	19.3	19.5	20.2	20.1	20.8	21.0	19.7

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION PAMPAMARCA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	16.5	16.2	16.2	15.8	17.2	18.0	17.9	17.8	17.6	18.4	18.8	18.1
1995	16.2	16.2	16.3	16.4	17.5	18.2	19.2	19.1	18.5	18.8	19.0	18.6
1996	18.9	18.9	17.8	17.4	18.7	18.6	18.7	19.0	17.8	18.9	19.1	17.2
1997	14.7	15.6	15.6	15.2	17.3	17.2	17.3	18.0	17.8	18.7	18.1	17.7
1998	15.8	16.0	16.2	15.7	17.7	18.3	17.7	19.2	18.4	18.9	18.5	16.8
1999	16.1	15.4	15.8	16.1	17.6	18.2	17.8	18.4	18.7	18.6	19.1	18.1
2000	16.4	18.6	17.5	17.0	18.1	18.6	18.8	19.8	19.3	19.4	19.7	18.8
2001	16.6	17.4	16.2	16.0	17.7	17.8	18.3	19.6	18.3	19.0	19.1	17.1
2002	16.0	15.2	14.7	15.6	17.2	17.4	17.8	18.5	17.8	18.4	19.3	18.2
2003	17.0	17.4	17.3	16.8	17.7	17.3	17.9	19.3	18.6	18.6	18.9	17.5
2004	16.5	17.5	16.2	16.5	18.4	18.1	18.5	19.1	18.6	18.8	18.9	18.3
2005	17.3	17.7	17.5	16.9	18.3	17.6	17.6	18.2	18.0	18.5	19.0	18.2
2006	15.8	16.3	15.8	15.8	16.9	18.4	18.1	18.3	17.8	18.5	18.5	17.5
2007	16.1	16.2	16.3	16.1	18.1	18.2	18.6	19.2	19.2	19.4	19.1	18.6
2008	17.5	17.6	16.1	16.9	18.1	18.5	18.4	19.2	18.6	19.1	18.9	18.2
2009	15.5	16.0	15.7	15.9	17.6	17.6	18.6	18.6	19.0	19.0	19.2	18.4
2010	15.8	16.6	16.6	16.3	18.4	17.7	19.5	18.6	18.4	19.5	19.1	18.9
2011	18.1	18.4	17.8	17.9	18.9	18.4	18.8	18.9	18.8	19.1	19.3	17.6
2012	16.5	14.8	14.7	15.9	17.0	17.3	17.7	19.0	17.9	18.4	18.9	17.2
2013	15.1	15.1	15.1	15.7	17.6	17.3	17.5	18.8	18.2	19.0	19.2	18.0
2014	15.5	16.2	15.3	16.3	17.3	17.9	18.4	19.6	18.7	19.6	19.0	19.2

<b>2015</b>	18.2	16.6	16.3	16.0	18.1	18.6	17.9	19.6	18.7	19.3	19.2	18.9
<b>MAX</b>	<b>18.9</b>	<b>18.9</b>	<b>17.8</b>	<b>17.9</b>	<b>18.9</b>	<b>18.6</b>	<b>19.5</b>	<b>19.8</b>	<b>19.3</b>	<b>19.6</b>	<b>19.7</b>	<b>19.2</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION SAN JOSE DE PARCCO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	19.7	18.9	19.0	19.1	20.5	20.6	20.2	20.0	19.8	21.0	22.0	21.1
1995	19.3	18.8	18.9	19.7	20.8	20.8	21.5	21.1	21.2	21.3	21.2	21.6
1996	21.9	21.1	20.5	21.1	22.3	21.7	21.8	21.4	21.0	21.8	22.2	20.2
1997	17.9	18.4	18.5	18.4	20.8	20.1	19.8	20.4	20.9	21.4	20.9	20.7
1998	19.4	18.8	19.0	19.2	20.6	20.3	20.0	21.4	21.2	22.0	21.2	20.0
1999	19.3	18.5	18.5	19.5	20.8	20.9	19.9	20.8	21.4	21.5	21.7	20.8
2000	19.6	20.4	20.2	20.4	21.5	21.2	21.6	22.1	22.3	22.2	22.4	21.9
2001	20.0	20.1	19.1	19.5	20.9	20.8	20.7	22.2	21.5	22.0	21.9	20.3
2002	18.9	18.2	17.7	18.9	20.0	20.0	20.0	20.6	21.1	21.1	22.0	21.8
2003	19.6	20.3	19.9	20.4	20.9	19.8	20.2	21.4	21.3	21.3	21.7	20.7
2004	20.0	20.1	19.0	19.9	21.4	21.2	21.1	21.4	21.2	21.1	21.6	21.6
2005	20.5	20.4	20.0	20.7	22.0	20.2	20.0	20.5	20.9	21.1	21.8	21.6
2006	19.3	19.2	18.4	19.3	20.6	21.3	20.6	20.4	20.7	21.0	21.1	20.5
2007	19.2	19.0	18.8	19.4	21.2	21.0	21.0	21.7	21.8	22.0	21.9	21.7
2008	20.4	20.3	19.1	20.5	21.5	21.3	21.5	22.3	21.5	22.0	21.8	21.3
2009	18.9	18.8	18.9	19.3	20.7	20.4	20.7	20.8	21.6	21.7	21.8	21.0
2010	19.0	19.2	19.4	20.0	20.7	20.9	21.9	20.4	21.2	22.2	21.9	21.9
2011	20.7	21.0	20.5	21.4	22.5	21.1	21.5	21.8	22.2	21.8	22.0	20.9
2012	19.5	18.1	17.9	19.0	20.3	20.5	20.2	21.3	20.9	20.7	22.0	20.6
2013	18.4	18.2	18.0	19.1	20.8	20.1	20.0	21.0	21.5	20.9	22.6	21.2
2014	18.5	18.9	18.2	19.6	20.5	20.3	20.6	21.2	21.4	21.9	22.0	22.0
2015	21.0	19.2	19.1	19.5	20.9	20.8	19.4	21.3	21.0	21.6	21.6	21.7
<b>MAX</b>	<b>21.9</b>	<b>21.1</b>	<b>20.5</b>	<b>21.4</b>	<b>22.5</b>	<b>21.7</b>	<b>21.9</b>	<b>22.3</b>	<b>22.3</b>	<b>22.2</b>	<b>22.6</b>	<b>22.0</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION SUNILLA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	17.8	17.1	17.5	17.2	18.7	18.9	18.4	17.9	18.0	19.8	20.6	18.7
1995	17.4	17.2	17.5	18.0	19.2	19.1	19.7	19.2	19.4	20.0	19.3	19.4
1996	20.3	19.4	19.1	19.6	20.7	20.0	20.3	19.7	19.1	20.8	20.7	17.8
1997	16.1	16.7	17.1	16.7	19.1	18.3	18.1	18.5	19.2	20.0	19.2	18.3
1998	17.7	17.0	17.5	17.4	18.8	18.2	18.2	19.6	19.4	20.9	19.5	17.5
1999	17.3	16.8	17.0	17.6	18.9	19.0	17.9	18.9	19.6	20.5	20.1	18.5
2000	17.8	18.6	18.9	18.8	20.0	19.5	19.8	20.3	20.7	21.2	20.8	19.6
2001	18.3	18.6	17.8	17.9	19.2	19.3	18.9	20.5	19.7	20.9	20.3	17.9
2002	16.9	16.3	16.3	17.2	18.3	18.2	18.4	18.6	19.5	20.1	20.4	19.8
2003	17.7	18.8	18.5	18.8	19.3	17.9	18.4	19.4	19.5	20.1	20.0	18.2
2004	18.6	18.5	17.6	18.3	19.7	19.7	19.3	19.7	19.5	20.0	19.9	19.3
2005	18.7	18.9	18.8	19.4	21.1	18.4	18.3	18.6	19.3	19.9	20.1	19.4
2006	17.6	17.5	17.0	17.7	18.8	19.5	18.7	18.5	18.9	19.8	19.3	18.0
2007	17.3	17.3	17.3	17.7	19.5	19.2	19.3	19.9	19.9	20.9	20.3	19.4

<b>2008</b>	18.6	18.6	17.7	19.0	20.0	19.6	19.9	20.8	19.7	21.1	20.2	19.0
<b>2009</b>	17.2	17.2	17.7	17.8	19.0	18.9	19.0	18.9	19.9	20.7	20.1	18.6
<b>2010</b>	17.1	17.5	18.0	18.3	18.9	19.3	20.0	18.5	19.5	20.9	19.9	19.6
<b>2011</b>	18.7	19.3	19.2	20.0	21.0	19.3	20.0	20.0	20.7	20.7	20.4	18.6
<b>2012</b>	17.9	16.3	16.5	17.1	18.7	19.0	18.5	19.5	19.1	19.1	20.4	18.3
<b>2013</b>	16.5	16.5	16.7	17.5	19.2	18.6	18.4	19.1	20.0	19.5	21.2	19.0
<b>2014</b>	16.6	17.2	16.8	17.5	18.7	18.6	18.8	19.0	19.3	20.6	20.4	19.7
<b>2015</b>	19.1	17.5	17.7	17.8	19.0	18.9	17.4	19.1	19.0	20.2	19.7	19.3
<b>MAX</b>	<b>20.3</b>	<b>19.4</b>	<b>19.2</b>	<b>20.0</b>	<b>21.1</b>	<b>20.0</b>	<b>20.3</b>	<b>20.8</b>	<b>20.7</b>	<b>21.2</b>	<b>21.2</b>	<b>19.8</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION TARHUYOCC												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	17.0	16.7	16.5	16.1	17.4	17.9	17.9	17.6	17.6	18.7	19.7	18.5
<b>1995</b>	16.7	16.7	16.6	16.7	17.8	18.0	19.2	18.9	18.6	19.1	19.7	19.0
<b>1996</b>	19.5	19.4	18.2	17.9	19.0	18.6	19.0	18.9	18.1	19.4	20.1	17.7
<b>1997</b>	15.2	16.2	15.9	15.6	17.6	17.2	17.3	17.8	18.0	19.1	19.0	18.1
<b>1998</b>	16.5	16.5	16.6	16.1	17.7	18.0	17.6	19.0	18.5	19.4	19.4	17.2
<b>1999</b>	16.7	16.1	16.1	16.5	17.8	18.0	17.7	18.3	18.8	19.1	20.0	18.3
<b>2000</b>	16.9	18.9	17.8	17.4	18.3	18.4	18.9	19.6	19.5	19.8	20.6	19.3
<b>2001</b>	17.2	17.9	16.5	16.4	17.8	17.8	18.3	19.5	18.6	19.5	20.1	17.6
<b>2002</b>	16.5	15.9	15.1	15.9	17.3	17.2	17.7	18.2	18.1	18.8	20.2	18.8
<b>2003</b>	17.4	18.0	17.6	17.3	17.9	17.0	17.8	19.0	18.7	19.0	19.8	18.0
<b>2004</b>	17.1	18.0	16.5	16.9	18.5	18.0	18.5	19.0	18.7	19.1	19.8	18.8
<b>2005</b>	17.8	18.3	17.7	17.4	18.6	17.4	17.6	18.0	18.2	18.8	19.9	18.7
<b>2006</b>	16.5	16.9	16.1	16.1	17.3	18.3	18.2	18.0	17.9	18.9	19.4	18.0
<b>2007</b>	16.7	16.8	16.6	16.4	18.2	18.0	18.6	19.1	19.2	19.8	20.1	19.1
<b>2008</b>	18.0	18.2	16.5	17.4	18.3	18.3	18.6	19.2	18.7	19.5	19.8	18.6
<b>2009</b>	16.1	16.6	16.2	16.3	17.8	17.5	18.4	18.4	19.1	19.5	20.0	18.6
<b>2010</b>	16.3	17.1	16.9	16.7	18.2	17.7	19.4	18.2	18.5	19.9	20.1	19.4
<b>2011</b>	18.5	19.0	18.2	18.4	19.2	18.2	18.9	18.9	19.1	19.5	20.2	18.1
<b>2012</b>	17.0	15.6	15.1	16.2	17.2	17.4	17.7	18.9	18.1	18.7	19.9	17.9
<b>2013</b>	15.7	15.7	15.5	16.1	17.9	17.3	17.5	18.6	18.5	19.2	20.3	18.5
<b>2014</b>	16.0	16.7	15.6	16.7	17.5	17.7	18.4	19.2	18.9	19.9	20.1	19.6
<b>2015</b>	18.7	17.1	16.7	16.4	18.1	18.3	17.6	19.3	18.7	19.6	20.0	19.3
<b>MAX</b>	<b>19.5</b>	<b>19.4</b>	<b>18.2</b>	<b>18.4</b>	<b>19.2</b>	<b>18.6</b>	<b>19.4</b>	<b>19.6</b>	<b>19.5</b>	<b>19.9</b>	<b>20.6</b>	<b>19.6</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (°C) ESTACION VIRGEN DEL CARMEN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>1994</b>	20.3	19.4	19.4	18.8	19.8	19.6	19.1	18.9	19.0	20.8	22.6	21.8
<b>1995</b>	19.9	19.3	19.3	19.5	20.2	19.8	20.4	20.1	20.6	21.1	21.4	22.4
<b>1996</b>	22.5	21.3	20.9	21.0	21.8	20.6	20.9	20.6	20.2	21.8	22.7	20.9
<b>1997</b>	18.7	18.9	19.0	18.3	20.2	19.1	18.8	19.5	20.2	21.1	21.3	21.4
<b>1998</b>	20.2	19.2	19.4	19.0	19.9	18.9	18.9	20.6	20.5	21.9	21.6	20.8
<b>1999</b>	19.9	19.1	18.9	19.3	20.0	19.9	18.6	19.9	20.5	21.5	22.1	21.5
<b>2000</b>	20.2	20.6	20.7	20.3	21.0	20.2	20.6	21.3	21.8	22.2	22.8	22.6

<b>2001</b>	20.9	20.7	19.7	19.5	20.3	20.1	19.7	21.6	20.9	21.9	22.3	21.1
<b>2002</b>	19.4	18.6	18.2	18.8	19.3	19.0	19.0	19.6	20.7	21.1	22.5	22.8
<b>2003</b>	20.0	20.8	20.3	20.4	20.4	18.6	19.1	20.5	20.6	21.1	22.1	21.5
<b>2004</b>	21.0	20.6	19.5	19.8	20.8	20.4	20.1	20.6	20.5	20.9	22.0	22.4
<b>2005</b>	21.1	20.9	20.5	20.8	22.1	19.2	19.0	19.5	20.3	21.0	22.2	22.4
<b>2006</b>	20.0	19.7	18.8	19.2	20.2	20.3	19.5	19.4	20.0	20.8	21.4	21.2
<b>2007</b>	19.8	19.5	19.1	19.3	20.6	20.0	19.9	20.9	21.0	21.9	22.3	22.4
<b>2008</b>	21.0	20.8	19.5	20.5	21.1	20.3	20.7	21.9	20.8	22.1	22.3	22.1
<b>2009</b>	19.7	19.3	19.6	19.3	20.1	19.6	19.6	19.9	20.9	21.6	22.2	21.7
<b>2010</b>	19.7	19.7	19.8	19.9	19.8	20.0	20.7	19.4	20.6	22.0	22.1	22.6
<b>2011</b>	21.1	21.4	20.9	21.4	22.1	20.1	20.7	21.1	21.8	21.7	22.4	21.7
<b>2012</b>	20.2	18.7	18.4	18.7	19.7	19.8	19.2	20.5	20.2	20.3	22.5	21.4
<b>2013</b>	19.1	18.8	18.5	19.1	20.3	19.2	19.0	20.0	21.0	20.5	23.4	22.0
<b>2014</b>	19.1	19.3	18.6	19.2	19.8	19.3	19.5	20.0	20.5	21.7	22.4	22.6
<b>2015</b>	21.5	19.7	19.6	19.3	20.1	19.6	17.9	20.1	20.0	21.2	21.8	22.3
<b>MAX</b>	<b>22.5</b>	<b>21.4</b>	<b>20.9</b>	<b>21.4</b>	<b>22.1</b>	<b>20.6</b>	<b>20.9</b>	<b>21.9</b>	<b>21.8</b>	<b>22.2</b>	<b>23.4</b>	<b>22.8</b>

**Anexo 5. Datos de temperaturas mínimas mensuales del producto PISCO.**

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION WAYLLAPAMPA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	11.2	11.7	11.4	9.4	7.2	5.4	5.7	7.3	8.6	10.4	10.9	7.5
1995	8.2	8.1	5.2	5.3	5.3	5.2	7.9	7.9	7.9	10.5	9.8	8.0
1996	11.5	11.9	10.5	9.8	6.2	5.3	5.1	6.2	8.0	9.8	7.9	6.2
1997	11.7	9.9	9.8	8.0	6.7	5.2	4.9	8.2	8.2	9.9	10.9	11.9
1998	11.3	11.4	11.3	11.1	5.3	5.1	3.4	7.5	7.7	9.7	9.3	9.8
1999	11.8	10.7	10.7	9.5	6.4	4.1	2.6	2.0	7.7	8.0	9.7	11.4
2000	12.0	11.7	10.5	9.7	6.9	4.7	4.2	7.1	8.1	9.1	7.5	11.5
2001	11.0	10.7	7.0	8.6	6.1	4.1	5.4	3.3	7.1	8.9	11.7	9.7
2002	10.2	11.6	11.3	8.7	4.9	3.3	3.2	3.5	7.2	9.7	10.4	11.6
2003	11.3	10.9	10.8	6.3	4.1	2.0	1.9	2.1	6.0	8.2	9.7	12.0
2004	11.9	11.5	11.0	7.6	4.8	3.2	4.3	5.2	7.7	10.1	9.8	11.7
2005	9.8	11.8	11.3	8.3	3.8	2.0	2.4	3.5	8.2	9.2	8.6	10.7
2006	11.3	10.8	11.3	9.0	1.5	3.0	1.1	5.7	6.9	8.7	10.6	10.5
2007	11.7	10.8	12.1	9.8	6.0	2.1	4.2	4.3	7.0	9.1	8.6	9.8
2008	12.3	11.3	10.5	7.8	4.1	3.3	2.9	4.8	7.2	10.0	10.2	11.1
2009	12.4	12.3	12.1	9.7	6.1	3.2	4.3	3.7	7.9	8.7	10.2	11.3
2010	11.9	12.0	12.1	8.5	6.1	4.1	2.3	3.2	6.8	9.0	8.4	11.3
2011	11.9	12.5	12.4	9.2	5.8	3.5	3.3	4.4	8.3	8.6	10.4	11.3
2012	11.6	11.9	11.0	10.4	5.8	3.6	2.0	2.9	6.5	8.8	10.3	12.7
2013	10.9	12.5	11.8	6.7	5.2	4.9	3.0	3.6	6.1	9.1	9.1	10.5
2014	10.9	11.3	10.4	7.6	6.0	2.7	3.5	3.7	8.2	8.1	8.3	10.9
2015	11.0	10.7	10.8	8.2	6.5	2.6	0.6	3.9	6.5	7.1	8.7	9.9
MIN	8.2	12.5	12.4	11.1	7.2	5.4	7.9	8.2	8.6	10.5	11.7	12.7

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION SAN PEDRO DE CACHI												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	10.0	10.5	10.1	8.8	6.9	5.0	5.3	6.5	7.6	9.4	9.9	7.9
1995	8.0	7.9	6.6	6.6	6.6	6.6	7.9	7.9	7.8	9.1	8.8	8.0
1996	9.6	9.5	9.2	8.8	7.3	6.6	6.5	7.3	8.0	8.8	7.8	7.3
1997	9.8	8.9	8.8	8.0	7.3	6.6	6.5	8.0	8.0	8.9	9.1	9.7
1998	9.6	9.5	9.6	9.5	6.6	6.6	6.1	7.9	8.0	8.8	8.8	9.3
1999	9.8	9.2	9.2	8.6	7.2	6.1	5.6	5.5	7.9	7.8	8.7	9.5
2000	9.5	9.5	9.5	8.8	7.5	6.4	6.1	7.8	8.0	8.7	7.9	9.0
2001	9.4	9.2	7.6	8.2	7.2	6.2	6.6	6.0	7.4	8.4	9.2	8.4
2002	9.2	9.2	9.3	8.4	6.8	6.1	6.5	6.4	7.9	9.3	9.1	9.8
2003	9.7	10.0	8.9	7.7	6.0	5.6	5.6	5.6	7.1	7.9	8.8	10.0
2004	9.9	9.5	9.3	7.8	6.2	5.5	5.7	6.3	7.8	8.9	8.9	9.5
2005	9.6	9.8	9.6	8.7	6.8	4.8	5.2	6.1	8.6	9.0	9.5	9.5
2006	9.7	9.7	9.9	9.9	5.1	6.3	5.4	7.3	8.1	9.2	9.3	10.2
2007	10.6	10.1	10.0	8.8	7.4	5.6	6.4	6.5	8.2	9.1	8.4	9.5
2008	10.0	9.1	8.5	7.0	5.8	5.6	4.7	6.3	7.3	9.6	9.3	9.8
2009	9.4	9.5	9.3	8.3	6.4	5.2	5.7	6.1	8.3	8.8	9.7	9.7

<b>2010</b>	9.2	9.9	9.8	8.4	7.4	6.4	5.1	5.6	7.5	8.3	9.0	9.2
<b>2011</b>	9.0	8.8	9.0	7.8	6.1	5.4	4.9	6.1	8.0	8.3	9.6	9.2
<b>2012</b>	9.0	8.7	7.9	8.3	6.2	5.3	4.9	5.4	6.7	9.1	9.5	9.2
<b>2013</b>	8.5	9.4	9.2	6.6	6.9	6.2	5.2	5.7	7.1	8.6	8.8	8.8
<b>2014</b>	8.8	9.4	8.7	7.8	7.4	6.9	6.2	6.5	8.1	8.5	8.7	9.4
<b>2015</b>	8.3	8.7	9.0	8.4	7.8	6.4	5.3	6.4	7.5	7.9	8.9	8.5
<b>MIN</b>	<b>8.0</b>	<b>10.5</b>	<b>10.1</b>	<b>9.9</b>	<b>7.8</b>	<b>6.9</b>	<b>7.9</b>	<b>8.0</b>	<b>8.6</b>	<b>9.6</b>	<b>9.9</b>	<b>10.2</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION LA QUINUA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	9.8	10.2	9.3	7.0	4.9	3.7	3.8	5.2	6.5	8.4	8.9	5.9
1995	6.1	6.2	4.7	4.9	4.9	4.7	6.3	6.3	6.1	6.9	7.2	6.2
1996	7.2	7.3	6.8	7.2	5.7	4.9	4.5	5.3	6.1	7.2	6.2	5.7
1997	7.3	6.9	7.2	6.1	5.8	4.8	4.6	6.1	6.1	6.8	6.7	8.0
1998	9.0	9.5	9.0	8.7	5.4	4.8	4.1	5.8	6.3	7.7	7.1	7.2
1999	7.5	7.7	7.5	7.4	6.0	4.2	3.5	3.0	5.9	6.4	6.7	7.0
2000	7.5	7.3	7.4	7.2	5.9	5.2	4.0	5.3	6.2	6.5	5.8	5.7
2001	5.5	5.7	6.2	6.2	5.9	4.2	4.5	3.8	6.0	7.0	7.4	6.8
2002	6.5	6.3	6.7	6.1	4.7	4.1	3.3	3.6	4.7	5.7	5.3	5.6
2003	5.7	5.2	4.7	3.8	3.7	2.4	1.7	3.0	5.4	6.6	7.0	7.9
2004	7.8	7.4	7.4	6.7	5.5	3.9	4.3	4.4	6.1	7.2	7.5	7.4
2005	7.4	7.8	7.7	6.9	5.1	4.0	3.7	4.0	5.7	5.9	5.6	5.8
2006	7.4	7.0	7.6	7.0	2.5	3.6	2.6	5.3	5.9	6.5	6.9	7.0
2007	7.6	6.9	7.7	6.3	5.3	3.1	4.3	4.7	5.8	6.5	6.3	7.2
2008	7.2	6.5	6.8	6.2	4.7	4.2	4.2	5.1	5.9	7.0	7.0	6.9
2009	7.4	7.2	7.3	6.3	5.3	3.9	4.8	4.6	6.4	6.6	7.1	7.6
2010	7.0	7.0	7.0	6.2	5.5	4.6	3.5	4.1	5.8	6.3	6.3	6.4
2011	6.4	6.6	6.7	6.1	4.4	3.7	3.7	4.0	6.1	6.3	7.0	6.8
2012	6.9	6.3	5.8	6.3	5.0	3.9	3.4	3.6	5.5	6.6	7.2	7.5
2013	6.2	6.8	6.8	5.2	5.2	4.8	4.2	6.0	7.2	8.1	8.4	8.0
2014	7.8	8.1	7.8	7.0	6.2	4.7	4.2	4.0	6.1	6.6	6.6	7.1
2015	5.9	6.0	5.3	4.3	3.8	2.5	1.6	4.4	5.3	5.6	6.4	5.7
<b>MIN</b>	<b>5.5</b>	<b>10.2</b>	<b>9.3</b>	<b>8.7</b>	<b>6.2</b>	<b>5.2</b>	<b>6.3</b>	<b>6.3</b>	<b>7.2</b>	<b>8.4</b>	<b>8.9</b>	<b>8.0</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION HUANTA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	10.2	10.6	10.1	8.4	6.4	4.4	4.9	6.3	7.4	9.3	9.7	5.3
1995	5.7	5.2	3.9	3.3	3.8	3.9	5.2	5.2	5.1	7.0	5.3	5.1
1996	5.8	5.6	7.0	5.3	3.9	3.3	3.3	3.5	5.5	5.3	5.2	3.9
1997	5.1	7.7	5.3	5.5	4.8	3.9	3.6	5.7	5.7	7.7	7.7	5.1
1998	3.5	3.9	3.5	4.7	4.6	4.2	3.0	5.4	5.4	5.4	6.1	5.7
1999	5.4	5.4	4.9	5.8	4.7	3.0	0.9	0.4	5.1	5.3	7.5	6.4
2000	5.5	5.5	6.5	5.4	4.7	3.7	3.4	4.6	5.3	7.4	5.4	5.2
2001	5.6	7.4	2.2	5.6	3.8	3.8	3.9	2.3	4.8	5.7	5.6	5.8
2002	7.4	4.7	6.7	5.8	4.2	2.7	2.2	2.9	5.1	5.7	7.2	5.1

2003	8.3	5.5	7.6	2.7	3.3	1.2	0.7	0.2	3.8	5.0	7.8	5.3
2004	4.9	5.2	6.3	5.0	4.2	2.2	3.9	3.8	5.2	7.3	4.4	5.7
2005	6.4	5.2	4.4	5.7	3.9	2.6	2.6	2.9	5.7	5.9	6.7	5.0
2006	5.2	6.3	5.5	5.6	0.9	1.7	0.2	3.1	5.0	7.0	7.0	6.7
2007	5.3	6.6	4.3	7.8	3.7	1.6	3.8	4.1	5.0	5.5	5.8	6.7
2008	5.6	7.3	7.0	4.9	4.9	3.6	3.4	5.0	5.0	6.9	7.1	4.9
2009	5.8	5.7	5.7	7.4	5.0	2.3	4.4	4.2	5.9	7.2	6.9	4.7
2010	5.3	3.7	2.3	3.4	3.1	4.2	1.7	3.1	5.2	5.8	5.6	2.9
2011	2.1	3.7	1.5	3.1	3.0	2.5	2.9	3.4	5.4	7.1	6.9	7.1
2012	5.4	4.8	2.7	5.9	4.2	2.9	2.2	2.1	5.1	7.1	6.4	4.4
2013	8.0	9.6	8.4	6.2	6.2	4.8	3.8	5.4	6.2	4.8	8.0	4.0
2014	8.8	9.2	7.6	7.6	5.8	4.6	4.2	3.6	6.0	7.0	8.0	9.2
2015	7.6	8.4	8.2	8.0	6.2	5.0	3.0	6.0	6.4	6.8	8.0	8.8
MIN	2.1	10.6	10.1	8.4	6.4	5.0	5.2	6.3	7.4	9.3	9.7	9.2

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION INIA CAANAN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	10.5	11.1	10.3	8.4	6.1	4.7	4.8	6.4	7.6	9.5	9.9	5.4
1995	5.8	4.3	2.1	0.5	2.4	1.6	4.2	4.2	4.4	7.8	6.6	5.6
1996	8.0	8.8	7.4	6.6	2.6	0.4	1.2	3.6	5.0	6.6	4.8	2.6
1997	8.2	7.0	6.6	5.0	3.0	1.8	0.6	5.8	5.8	7.2	7.8	10.2
1998	10.8	10.0	10.2	8.2	3.0	3.6	1.8	5.8	5.6	6.2	6.2	7.6
1999	8.4	7.2	7.8	6.0	3.0	1.2	0.6	0.6	5.2	4.4	6.6	8.6
2000	10.0	8.4	7.4	6.2	4.0	1.2	3.6	4.6	5.4	7.0	5.8	8.0
2001	9.8	8.8	1.0	4.2	1.0	3.0	4.4	1.6	6.0	6.2	9.2	8.0
2002	7.0	9.4	8.2	4.8	5.0	1.4	1.6	3.8	6.0	7.8	8.8	9.4
2003	9.0	9.2	8.6	4.8	4.8	2.4	1.6	2.4	2.9	5.4	6.8	9.2
2004	8.0	9.0	7.8	4.9	2.1	2.5	1.5	1.9	4.6	7.2	6.5	9.0
2005	7.3	8.8	8.4	6.4	2.7	1.8	2.8	1.8	6.4	7.3	7.2	7.2
2006	8.5	7.8	8.6	6.4	3.7	2.1	3.7	3.7	5.4	6.8	7.6	7.2
2007	8.6	8.1	8.9	7.4	4.2	2.0	1.5	1.7	5.5	5.0	5.8	7.8
2008	8.8	7.8	6.8	1.0	2.8	1.2	2.2	3.0	3.6	7.0	7.0	4.6
2009	9.2	6.8	8.8	6.4	3.2	1.2	1.6	0.2	5.8	6.0	6.4	7.2
2010	7.8	8.0	7.8	5.0	2.6	0.8	0.4	0.2	4.8	4.8	4.5	5.4
2011	1.0	0.1	8.0	7.8	3.6	4.0	7.0	4.0	6.8	5.8	6.4	7.2
2012	6.6	8.6	4.2	8.0	4.8	3.8	3.6	3.6	5.4	5.8	8.6	8.0
2013	6.6	10.0	7.2	6.8	5.8	4.8	4.4	4.8	6.2	8.0	8.0	8.2
2014	7.6	9.0	8.2	7.2	6.0	4.6	4.4	4.2	6.0	7.8	8.4	9.0
2015	7.2	8.2	6.6	7.8	5.4	4.2	3.0	6.0	6.8	6.8	7.2	8.8
MIN	1.0	11.1	10.3	8.4	6.1	4.8	7.0	6.4	7.6	9.5	9.9	10.2

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION ALLPACHACA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	6.5	7.4	5.9	4.1	1.7	1.0	1.0	2.1	3.4	5.1	5.2	-1.6
1995	-1.0	0.3	-2.3	-2.0	-1.6	-2.2	-0.3	-0.3	-0.4	0.3	0.3	-1.4

1996	1.2	1.3	0.5	0.3	0.3	-2.0	-1.8	-0.8	-1.2	0.3	-1.1	0.3
1997	1.4	0.4	0.3	-1.2	-0.2	-2.2	-2.3	-1.0	-1.0	0.5	0.6	1.2
1998	0.8	0.6	0.8	0.6	-1.9	-3.4	-3.5	-1.8	-1.8	0.0	0.3	0.3
1999	1.3	0.4	0.4	0.2	-0.9	-3.1	-4.0	-4.0	-1.5	-0.4	0.2	1.1
2000	1.7	1.2	0.4	0.2	-0.5	-2.3	-4.7	-1.0	-1.4	0.3	-1.8	1.3
2001	1.2	0.5	-1.2	0.5	-0.7	-4.1	-2.7	-3.5	-1.4	0.5	1.6	0.4
2002	0.3	1.3	0.9	0.2	-4.5	-3.4	-3.2	-5.2	-0.9	0.3	0.4	1.3
2003	1.3	0.9	2.5	-0.5	-5.2	-4.5	-3.6	-4.1	-0.7	-0.8	0.1	1.4
2004	1.1	1.7	0.9	-1.6	-2.4	-4.1	-2.2	-2.6	-1.1	0.5	0.2	1.5
2005	0.4	1.4	0.9	0.1	-3.7	-4.4	-5.3	-3.6	0.2	0.2	0.2	0.2
2006	1.3	0.9	1.2	0.3	-7.4	-3.6	-7.4	-0.7	-1.2	0.2	0.5	0.6
2007	1.6	1.0	1.6	0.0	-0.9	-3.7	-3.1	-3.0	-1.6	0.4	0.0	0.5
2008	1.3	1.2	0.4	-0.3	-3.2	-2.8	-3.2	-3.2	-0.1	0.5	0.4	0.7
2009	1.7	1.0	1.4	-0.2	-2.0	-3.7	-2.0	-2.9	-1.5	0.3	0.6	0.7
2010	1.2	1.8	1.1	-1.5	-1.0	-3.0	-4.3	-3.2	-1.0	0.0	0.3	0.4
2011	0.2	0.6	0.8	-0.7	-2.9	-5.8	-5.7	-4.0	-1.0	-0.6	0.5	0.7
2012	1.2	1.3	0.6	-0.5	-3.3	-4.5	-6.3	-6.0	-2.5	0.3	0.3	1.2
2013	-1.0	1.8	0.6	-5.0	-6.0	-5.0	-6.0	0.2	0.2	0.2	-2.2	0.6
2014	-1.2	-0.5	-1.8	-3.2	-4.0	-6.0	-5.6	-4.2	-1.1	0.5	-1.0	1.6
2015	0.5	0.0	2.0	1.0	-4.2	-5.2	-9.0	-5.2	-3.2	-3.0	0.8	1.0
MIN	-1.2	7.4	5.9	4.1	1.7	1.0	1.0	2.1	3.4	5.1	5.2	1.6

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION APACHETA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	3.4	4.9	3.5	1.5	-0.8	-1.9	-2.0	-1.0	0.4	2.2	2.2	-4.4
1995	-4.6	-4.3	-5.8	-5.7	-5.7	-5.8	-4.4	-4.4	-4.4	-3.6	-3.9	-4.7
1996	-2.7	-2.8	-3.4	-3.9	-5.0	-5.6	-6.0	-5.6	-4.4	-3.9	-4.4	-5.0
1997	-2.7	-3.5	-3.9	-4.4	-4.8	-5.8	-5.9	-4.6	-4.6	-3.4	-3.3	-2.9
1998	-3.6	-3.2	-3.6	-3.5	-6.0	-5.7	-6.5	-4.6	-4.7	-3.8	-3.6	-3.6
1999	-2.8	-3.9	-3.6	-3.8	-5.3	-6.6	-7.3	-7.3	-4.5	-4.5	-3.9	-2.8
2000	-2.7	-2.8	-3.6	-3.8	-4.7	-6.4	-6.7	-4.5	-4.5	-3.8	-4.5	-2.7
2001	-2.5	-3.1	-5.5	-4.0	-5.5	-6.6	-5.6	-6.7	-4.8	-4.0	-3.0	-3.6
2002	-3.5	-2.4	-2.9	-3.7	-5.7	-6.8	-6.5	-6.3	-4.7	-3.3	-3.3	-2.4
2003	-2.4	-2.8	-2.6	-5.5	-6.2	-7.3	-7.3	-7.1	-5.4	-4.7	-3.9	-2.8
2004	-3.1	-2.8	-3.5	-4.6	-6.3	-6.4	-6.4	-6.2	-4.5	-3.5	-4.1	-2.7
2005	-3.5	-3.0	-2.7	-4.2	-6.2	-6.2	-6.3	-6.6	-3.8	-3.3	-3.6	-3.3
2006	-2.7	-3.3	-2.8	-3.8	-7.5	-7.0	-7.9	-5.7	-4.6	-3.5	-3.3	-3.4
2007	-2.7	-3.0	-2.9	-3.4	-5.5	-7.3	-6.3	-6.4	-4.5	-3.4	-4.1	-3.5
2008	-2.5	-2.7	-3.7	-4.4	-5.9	-5.8	-5.5	-6.0	-4.2	-3.5	-3.5	-3.5
2009	-2.6	-2.8	-2.7	-3.9	-5.2	-6.0	-5.3	-6.2	-4.6	-3.5	-3.5	-3.4
2010	-2.4	-3.0	-3.7	-5.4	-5.7	-6.3	-6.2	-6.1	-4.3	-4.0	-3.9	-4.3
2011	-4.7	-3.8	-4.4	-4.9	-6.2	-6.7	-6.1	-6.5	-4.5	-3.7	-3.6	-2.7
2012	-2.9	-2.5	-4.9	-4.0	-5.9	-6.3	-7.2	-6.2	-5.0	-3.5	-3.6	-2.5
2013	-1.8	-1.4	0.0	-3.6	-5.4	-6.4	0.0	1.8	-7.0	-4.6	-5.8	-2.2
2014	-2.4	-2.8	-3.6	-4.0	-7.0	-6.0	-8.8	-7.2	-4.8	-4.2	-4.6	-3.8
2015	-4.2	-3.4	-3.8	-5.0	-5.6	-8.2	-8.4	-8.8	-6.4	-6.6	-3.0	0.0

<b>MIN</b>	<b>-4.7</b>	<b>4.9</b>	<b>3.5</b>	<b>1.5</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1.9</b>	<b>0.0</b>	<b>1.8</b>	<b>0.4</b>	<b>2.2</b>	<b>2.2</b>	<b>0.0</b>
------------	-------------	------------	------------	------------	-------------	-------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION CHIARA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	8.1	8.8	7.3	5.6	3.3	2.6	2.6	3.7	5.0	6.7	7.0	3.0
1995	3.1	3.0	1.9	1.9	1.8	1.9	3.0	3.0	2.9	3.8	3.9	3.1
1996	4.6	5.1	4.0	3.9	2.7	1.8	1.9	2.7	3.0	3.9	3.0	2.7
1997	5.0	3.7	3.9	3.0	3.0	1.9	1.8	3.1	3.1	3.8	4.0	5.1
1998	5.0	4.9	5.0	4.8	2.2	2.2	1.1	3.0	3.0	4.0	3.8	4.1
1999	5.0	4.0	4.1	3.7	2.4	1.5	0.5	0.5	2.9	3.0	3.7	4.7
2000	5.2	4.9	4.2	4.0	2.8	1.7	1.4	2.9	3.1	3.6	3.0	3.9
2001	4.3	3.7	2.8	3.1	2.4	1.5	2.3	1.0	2.8	3.5	4.9	3.8
2002	3.6	4.9	4.6	3.1	2.4	1.2	1.5	1.1	2.9	3.7	3.8	4.6
2003	4.4	4.5	3.8	2.7	1.4	0.5	0.5	0.4	2.2	3.1	3.7	5.1
2004	4.9	5.0	4.2	3.0	2.1	1.0	1.6	2.0	3.0	3.9	4.1	5.2
2005	4.2	5.0	4.6	3.6	1.6	0.8	0.7	1.1	3.2	3.7	3.6	3.5
2006	4.9	4.1	4.8	3.9	0.7	0.9	0.6	2.7	2.9	3.5	3.8	4.0
2007	5.3	4.4	5.3	3.7	2.7	0.5	1.9	1.8	2.8	3.1	3.3	4.2
2008	5.3	4.0	3.7	2.6	2.0	1.4	1.2	2.4	3.0	4.0	3.9	3.8
2009	5.1	4.7	4.9	3.5	2.5	1.2	2.1	1.9	3.2	3.3	4.0	4.5
2010	4.8	5.0	4.5	3.0	2.7	2.0	0.6	1.2	3.0	3.2	3.1	3.5
2011	3.7	3.9	4.3	3.4	1.7	0.9	1.5	1.5	3.3	3.2	4.0	4.2
2012	4.2	4.6	3.0	3.4	2.4	1.1	0.6	0.8	2.7	3.2	4.4	4.9
2013	4.3	6.0	5.2	3.0	3.0	3.0	1.1	2.0	1.0	4.0	4.0	4.0
2014	4.0	5.7	4.0	4.0	2.0	1.4	0.4	0.4	3.0	3.4	3.0	5.0
2015	3.0	3.7	4.0	3.2	3.0	1.2	0.6	0.0	3.0	1.4	3.0	4.0
<b>MIN</b>	<b>3.0</b>	<b>8.8</b>	<b>7.3</b>	<b>5.6</b>	<b>3.3</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>3.7</b>	<b>5.0</b>	<b>6.7</b>	<b>7.0</b>	<b>5.2</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION CHOCCORO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	5.3	6.6	5.2	3.6	1.3	0.0	0.4	1.3	2.6	4.2	4.3	-4.3
1995	-4.5	-4.4	-5.3	-5.0	-5.1	-5.3	-4.3	-4.3	-4.6	-3.8	-3.9	-4.0
1996	-1.9	-2.2	-3.6	-3.9	-4.8	-4.9	-5.3	-4.7	-4.4	-3.9	-4.5	-4.8
1997	-1.5	-3.8	-3.9	-4.4	-4.6	-5.3	-5.3	-4.5	-4.5	-3.5	-3.1	-2.1
1998	-2.8	-1.8	-2.8	-4.3	-5.3	-5.0	-6.1	-4.2	-4.3	-3.9	-4.3	-5.1
1999	-1.7	-3.9	-3.7	-4.1	-5.3	-5.5	-6.6	-6.5	-4.2	-4.4	-4.0	-1.9
2000	-1.8	-2.2	-5.0	-4.1	-4.5	-5.4	-5.5	-4.3	-4.4	-3.9	-4.3	-1.1
2001	-1.0	-1.9	-4.4	-4.2	-5.2	-5.7	-4.9	-6.0	-4.2	-4.0	-2.1	-3.9
2002	-2.9	-0.3	-2.7	-3.8	-5.1	-6.1	-5.8	-5.4	-3.9	-2.3	-2.1	-0.5
2003	-0.7	-1.4	-1.8	-4.5	-5.6	-6.6	-6.6	-6.4	-4.9	-4.2	-4.2	-1.7
2004	-1.3	-1.9	-3.3	-4.6	-5.2	-6.2	-5.5	-5.1	-4.6	-4.0	-3.3	-2.3
2005	-4.6	-2.1	-1.1	-3.8	-5.7	-6.7	-6.6	-6.2	-3.6	-2.4	-3.7	-2.8
2006	-1.9	-3.9	-1.7	-5.0	-6.5	-6.3	-6.8	-4.8	-4.2	-3.5	-4.1	-4.0
2007	-1.5	-2.9	-1.0	-2.6	-4.7	-6.5	-5.1	-5.2	-4.1	-3.3	-3.8	-5.0
2008	-1.9	-1.6	-4.0	-4.6	-5.3	-5.8	-5.9	-5.3	-4.3	-5.0	-4.2	-4.3

2009	-2.3	-2.1	-2.1	-3.8	-5.0	-6.0	-5.4	-5.6	-4.0	-3.9	-5.1	-3.0
2010	-0.9	-1.2	-3.0	-4.0	-4.8	-5.2	-6.6	-5.8	-4.3	-3.8	-3.5	-2.9
2011	-2.6	-2.7	-2.9	-3.7	-5.0	-6.4	-5.2	-5.3	-3.7	-4.0	-4.7	-1.9
2012	-1.6	-0.6	-4.0	-3.7	-5.0	-6.1	-6.5	-6.4	-4.5	-3.7	-5.1	-0.8
2013	0.0	-1.4	-2.0	-3.4	-6.4	-5.4	-7.2	-6.0	-5.2	-3.8	-6.8	-5.0
2014	-3.6	-2.0	-4.4	-3.6	-6.6	-8.0	-8.2	-7.0	-5.0	-4.2	-5.8	-12.8
2015	-4.2	-2.6	-1.8	-0.8	-5.0	-5.0	-13.0	-2.2	-1.0	-0.6	-4.8	0.0
MIN	-4.6	6.6	5.2	3.6	1.3	0.0	0.4	1.3	2.6	4.2	4.3	0.0

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION TAMBILLO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	8.6	9.2	7.8	6.3	4.2	3.2	3.2	4.3	5.6	7.3	7.6	5.7
1995	5.6	5.6	5.8	5.8	5.9	6.0	5.7	5.7	5.7	6.7	6.4	5.6
1996	7.3	6.9	6.9	6.4	6.3	5.9	5.8	5.7	5.6	6.4	5.7	6.3
1997	7.2	6.6	6.4	5.6	5.9	5.8	5.8	5.6	5.6	6.5	6.8	8.8
1998	7.7	7.5	7.7	6.8	5.3	5.3	6.0	5.7	5.8	6.3	6.1	6.9
1999	7.4	7.1	7.3	5.9	5.5	5.7	5.1	5.1	5.8	5.7	6.4	7.1
2000	7.5	7.0	7.0	5.8	5.8	5.5	5.4	5.4	5.7	6.2	5.7	7.1
2001	7.4	7.0	6.6	5.9	5.8	5.7	5.4	5.5	5.9	5.7	7.4	6.2
2002	6.6	7.3	6.8	5.8	5.4	5.7	5.5	5.2	5.7	7.0	7.1	7.4
2003	7.2	7.4	6.9	5.3	5.5	5.1	5.1	5.2	5.9	5.7	6.5	8.4
2004	8.2	7.4	6.8	5.6	5.2	5.5	5.5	5.2	5.7	6.8	7.2	6.9
2005	7.1	8.1	8.1	6.1	5.5	5.0	5.0	5.8	6.2	6.8	6.8	6.3
2006	7.4	6.9	7.6	6.6	5.0	5.5	5.0	5.6	5.7	6.7	6.5	6.7
2007	7.4	7.1	7.7	6.5	5.5	5.2	5.4	5.3	5.8	6.4	6.0	7.0
2008	7.1	6.8	6.2	5.9	4.9	5.3	5.1	4.2	5.7	6.9	6.7	6.7
2009	7.0	7.0	6.9	6.1	5.0	5.2	4.7	4.9	5.8	6.0	6.6	7.1
2010	7.2	7.4	7.2	6.8	5.9	5.1	5.2	5.4	5.4	5.8	6.2	6.9
2011	7.1	7.4	6.9	6.4	5.7	5.3	5.7	5.4	5.9	5.9	6.8	6.9
2012	7.1	6.9	6.3	6.3	5.1	5.3	5.0	5.5	5.2	6.2	7.0	7.9
2013	4.0	5.0	5.0	4.0	3.7	2.2	0.0	-1.1	0.4	0.6	6.2	5.0
2014	5.5	7.4	7.0	7.2	6.7	5.7	4.7	4.8	5.4	6.2	6.5	7.0
2015	6.4	6.6	7.6	5.4	5.6	5.8	3.7	4.2	5.2	5.8	6.4	6.0
MIN	4.0	9.2	8.1	7.2	6.7	6.0	6.0	5.8	6.2	7.3	7.6	8.8

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION JATUMPAMPA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	7.3	8.3	6.9	5.2	2.8	1.2	1.8	3.2	4.3	6.0	6.1	7.6
1995	7.3	7.7	6.8	5.1	1.7	2.0	1.7	3.4	4.8	6.2	7.4	7.0
1996	8.0	8.3	8.0	6.7	3.7	3.1	3.0	4.5	5.2	5.2	5.3	7.1
1997	7.2	8.0	7.4	6.1	3.2	3.3	1.6	2.7	3.7	6.5	6.2	7.0
1998	6.7	7.7	6.9	6.1	3.5	2.5	0.5	2.6	4.7	4.5	5.4	7.2
1999	7.6	7.9	7.3	6.0	1.8	1.5	1.1	3.1	4.6	4.6	5.5	7.7
2000	8.3	8.1	6.2	5.0	3.0	2.1	2.0	3.3	5.0	6.0	7.1	7.3
2001	8.2	7.8	7.4	6.5	4.1	1.4	1.4	2.4	4.9	5.2	5.5	6.9

2002	7.3	7.8	6.7	5.8	3.1	2.8	0.7	2.8	4.5	6.0	4.8	6.1
2003	7.3	6.3	5.8	5.0	3.7	3.7	2.0	3.0	4.5	6.7	7.0	7.4
2004	7.6	7.6	7.4	5.5	3.4	2.0	1.0	2.5	4.3	6.1	5.6	6.1
2005	6.9	6.9	6.1	5.0	3.0	3.4	1.5	3.0	4.1	5.4	5.4	6.6
2006	7.0	7.2	6.8	6.2	3.4	1.2	2.0	2.7	4.9	6.2	6.7	7.8
2007	7.7	8.1	6.8	6.3	3.4	2.0	1.7	2.8	5.3	5.4	6.1	7.4
2008	7.4	7.2	7.1	5.0	2.7	2.2	2.3	3.4	5.0	5.6	6.1	6.6
2009	7.1	7.9	6.9	6.3	3.6	1.6	1.1	3.8	4.8	5.7	5.3	7.0
2010	7.5	7.6	6.3	4.7	3.0	1.4	2.1	4.2	5.9	6.7	6.9	8.2
2011	9.1	9.6	8.2	6.7	3.0	3.6	2.2	4.2	4.7	6.5	6.1	7.2
2012	7.3	8.2	7.3	6.3	4.1	1.9	1.8	2.6	4.7	6.0	5.2	7.0
2013	7.8	7.8	6.9	6.0	4.0	2.8	2.2	3.9	4.6	6.1	4.6	7.1
2014	7.8	8.3	7.6	5.4	3.9	2.5	2.9	2.6	5.3	6.3	6.5	7.0
2015	6.9	8.4	7.6	6.5	4.2	3.2	3.3	3.6	5.7	6.9	6.9	7.7
MIN	6.7	9.6	8.2	6.7	4.2	3.7	3.3	4.5	5.9	6.9	7.4	8.2

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION OCCOLLO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	4.5	5.8	4.2	2.3	-0.1	-1.1	-1.3	-0.2	1.2	3.1	3.1	4.6
1995	4.7	5.4	4.1	2.1	-0.8	-0.7	-1.6	0.2	1.7	3.2	4.1	4.0
1996	5.2	5.6	5.2	3.4	0.5	0.1	-0.5	0.8	1.9	2.6	2.4	4.0
1997	4.4	5.5	4.6	2.9	0.2	0.4	-1.8	-0.9	0.5	3.6	2.9	3.7
1998	4.0	4.8	4.2	2.7	0.4	-0.5	-2.5	-0.2	1.5	1.7	1.9	3.9
1999	4.9	4.9	4.0	2.8	-1.2	-0.9	-2.0	-0.1	1.5	1.7	2.5	4.4
2000	5.7	5.5	3.2	2.4	0.2	-0.3	-1.0	0.3	2.1	2.9	4.0	4.4
2001	5.6	5.5	4.7	3.4	1.3	-0.9	-1.3	-0.5	1.9	2.6	2.6	3.3
2002	4.6	5.1	3.7	2.6	0.2	-0.2	-2.2	-0.4	1.5	3.3	1.2	2.8
2003	4.8	3.8	3.4	2.3	0.8	0.9	-1.3	-0.5	0.9	3.6	4.2	4.2
2004	5.0	5.2	4.7	2.3	0.5	-0.8	-1.9	-0.2	1.5	3.1	2.5	3.0
2005	4.3	4.3	4.0	2.3	0.4	0.5	-1.4	-0.2	1.0	3.0	2.2	3.5
2006	4.6	4.8	4.2	3.3	0.8	-0.9	-1.1	0.0	1.6	3.3	3.9	4.8
2007	5.2	5.7	4.2	3.0	0.4	-0.7	-1.3	-0.3	2.2	2.4	3.0	4.3
2008	4.9	4.7	4.4	2.3	0.0	-0.3	-0.9	0.1	2.3	2.9	3.2	3.5
2009	4.6	5.2	4.1	3.0	0.6	-0.7	-1.7	0.8	2.0	3.1	2.3	4.1
2010	4.5	5.1	3.3	1.7	0.4	-1.7	-0.8	0.8	2.7	3.7	3.8	5.0
2011	5.6	6.1	5.5	3.4	0.4	1.1	-0.9	0.8	1.6	3.8	2.8	3.9
2012	4.6	5.7	4.6	3.4	1.2	-0.6	-1.0	-0.4	1.8	3.4	2.1	4.2
2013	4.9	5.4	4.5	3.1	1.0	-0.3	-1.3	0.6	1.4	3.1	1.3	4.0
2014	5.0	5.6	4.3	1.9	0.7	-0.1	-1.3	0.1	2.5	3.9	3.5	4.1
2015	4.4	6.0	4.8	3.3	1.6	0.8	-0.3	0.6	2.5	4.1	4.0	4.7
MIN	4.0	6.1	5.5	3.4	1.6	1.1	-0.3	0.8	2.7	4.1	4.2	5.0

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION PPACCHA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	6.1	7.1	5.8	4.0	1.9	0.7	0.9	1.8	3.1	5.0	5.0	6.3

1995	6.1	6.7	5.6	3.9	1.2	1.2	0.4	2.1	3.6	5.1	5.9	5.6
1996	6.6	6.8	6.9	5.5	2.5	2.1	1.7	3.1	3.8	4.2	4.3	5.7
1997	5.9	6.8	6.2	4.9	2.2	2.3	0.4	1.3	2.5	5.4	4.9	5.6
1998	5.6	6.2	5.6	4.6	2.4	1.3	-0.5	1.6	3.3	3.4	4.0	5.8
1999	6.4	6.5	5.8	4.6	0.8	0.9	0.1	1.8	3.3	3.6	4.2	6.2
2000	7.1	6.8	4.7	4.0	2.0	1.5	0.7	2.3	3.9	4.9	6.0	6.2
2001	7.1	6.7	6.2	5.3	3.2	1.1	1.0	1.7	3.7	4.4	4.6	5.4
2002	6.1	6.5	5.4	4.5	2.6	1.8	-0.2	1.6	3.7	5.1	3.5	4.9
2003	6.3	5.1	4.8	4.1	2.9	2.8	0.9	1.9	3.4	5.7	6.0	6.2
2004	6.5	6.7	6.2	4.4	2.5	1.2	0.1	1.8	3.3	5.3	4.5	4.8
2005	5.7	5.8	5.3	4.0	2.3	2.5	0.6	1.8	3.0	4.6	4.1	5.4
2006	5.8	6.0	5.7	5.0	2.4	0.2	0.8	1.4	3.6	5.0	5.8	6.5
2007	6.6	7.0	5.7	4.8	2.1	1.2	0.8	1.7	4.1	4.4	5.0	6.2
2008	6.5	6.3	5.8	4.1	2.0	1.5	1.4	2.5	4.3	4.8	5.0	5.5
2009	6.3	6.7	5.9	5.1	2.4	1.0	0.3	2.8	4.1	5.1	4.2	5.9
2010	6.2	6.5	5.0	3.5	2.1	0.3	0.8	2.5	4.4	5.7	5.8	6.7
2011	7.4	8.0	7.1	5.5	2.3	2.8	1.1	3.0	3.7	5.8	4.9	6.0
2012	6.3	6.9	6.1	5.1	3.2	1.3	0.9	1.5	3.6	5.1	4.1	5.9
2013	6.4	6.7	5.8	4.8	3.0	1.9	0.9	2.7	3.4	5.0	3.4	5.8
2014	6.5	6.9	5.8	3.3	2.7	1.8	1.2	1.8	4.3	5.6	5.5	5.8
2015	5.9	7.2	6.3	5.1	3.2	2.5	1.9	2.5	4.7	6.0	5.9	6.5
MIN	5.6	8.0	7.1	5.5	3.2	2.8	1.9	3.1	4.7	6.0	6.0	6.7

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION PAMPAMARCA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	5.9	7.0	5.7	4.5	2.2	1.6	1.1	2.3	3.4	5.4	5.4	6.5
1995	6.2	6.7	5.5	4.3	1.8	2.0	1.2	2.9	4.0	5.4	6.3	6.3
1996	7.0	7.1	6.8	5.8	3.3	2.5	2.0	3.0	3.9	5.1	4.9	6.0
1997	5.9	6.7	6.0	4.8	2.3	2.7	0.7	1.5	2.8	5.7	5.0	5.5
1998	5.4	5.9	5.7	4.6	2.4	1.9	0.3	2.4	3.7	4.1	4.0	5.7
1999	6.4	6.1	5.2	4.8	1.2	1.5	0.4	2.4	3.6	4.1	4.8	6.2
2000	7.2	6.8	4.9	4.6	2.5	2.3	1.9	2.8	4.1	5.2	6.1	6.3
2001	7.1	6.8	6.1	5.3	3.4	1.5	1.0	2.1	4.0	5.0	4.9	5.1
2002	6.0	6.4	5.1	4.6	2.2	2.2	0.4	2.0	3.6	5.5	3.5	4.7
2003	6.3	5.1	5.0	4.4	2.9	3.2	1.0	1.9	3.0	5.6	6.2	6.0
2004	6.5	6.5	6.1	4.4	2.8	1.9	0.6	2.4	3.8	5.3	4.8	5.1
2005	6.0	5.6	5.8	4.9	3.1	3.0	1.1	2.3	3.2	5.4	4.5	5.5
2006	6.2	6.1	5.6	5.3	3.2	2.1	1.4	2.6	3.6	5.5	5.9	6.6
2007	6.6	7.0	5.6	5.0	2.8	1.9	1.3	2.2	4.3	4.7	5.3	6.2
2008	6.5	6.0	5.8	4.4	2.3	2.3	1.6	2.5	4.5	5.2	5.5	5.4
2009	6.0	6.4	5.5	4.9	2.9	1.9	0.9	3.1	4.2	5.3	4.6	5.9
2010	5.9	6.4	4.7	4.0	3.0	1.3	2.2	3.4	5.0	6.0	6.0	7.0
2011	7.2	7.4	6.8	5.5	2.9	3.7	1.7	3.1	3.7	5.9	5.1	5.7
2012	6.0	7.0	6.0	5.2	3.3	2.0	1.5	2.1	4.0	5.6	4.4	6.1
2013	6.3	6.7	5.9	5.3	3.1	2.1	1.0	3.0	3.5	5.1	3.7	6.1
2014	6.5	6.9	5.9	4.5	2.8	2.2	1.1	2.8	4.6	6.2	5.8	6.1

<b>2015</b>	5.9	7.3	6.3	5.3	3.9	3.2	1.9	3.1	4.4	6.2	6.2	6.6
<b>MIN</b>	<b>5.4</b>	<b>7.4</b>	<b>6.8</b>	<b>5.8</b>	<b>3.9</b>	<b>3.7</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>5.0</b>	<b>6.2</b>	<b>6.3</b>	<b>7.0</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION SAN JOSE DE PARCCO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	8.3	8.9	7.8	6.4	4.3	3.5	3.3	4.2	5.4	7.3	7.7	8.5
1995	8.3	8.6	7.6	6.3	3.7	3.8	3.0	4.6	5.7	7.4	8.3	8.1
1996	9.0	8.9	8.9	7.8	5.0	4.5	4.1	5.2	5.9	6.8	7.1	8.0
1997	8.1	8.6	8.0	7.0	4.5	4.6	2.8	3.6	4.8	7.7	7.3	7.8
1998	7.9	8.0	7.6	6.7	4.5	3.5	1.9	4.0	5.4	6.0	6.5	7.9
1999	8.6	8.3	7.5	6.7	3.2	3.4	2.4	4.2	5.5	6.1	6.9	8.3
2000	9.3	8.7	6.7	6.5	4.4	4.1	3.2	4.7	6.3	7.4	8.4	8.5
2001	9.2	8.6	8.1	7.4	5.5	3.6	3.2	4.1	5.9	6.9	7.3	7.5
2002	8.3	8.3	7.3	6.6	4.6	4.2	2.0	4.0	5.9	7.4	6.1	7.2
2003	8.5	7.1	6.9	6.4	5.1	5.1	3.2	4.1	5.5	8.0	8.3	8.3
2004	8.7	8.6	8.1	6.5	4.9	3.8	2.6	4.3	5.6	7.6	7.1	7.2
2005	8.1	7.8	7.4	6.5	4.9	5.0	2.9	4.3	5.4	7.1	6.8	7.7
2006	8.2	8.0	7.6	7.3	4.9	3.2	3.3	3.8	5.7	7.3	8.5	8.7
2007	8.8	8.8	7.6	6.9	4.5	3.7	3.2	4.0	6.2	6.8	7.6	8.5
2008	8.8	8.3	7.8	6.5	4.4	4.2	3.9	4.8	6.5	7.2	7.6	7.8
2009	8.5	8.5	7.8	7.3	4.7	3.6	2.8	5.2	6.4	7.5	7.0	8.1
2010	8.4	8.4	7.1	6.0	4.9	3.2	3.5	5.0	6.7	8.1	8.4	9.1
2011	9.5	9.7	9.1	7.7	4.8	5.4	3.5	5.3	5.9	8.1	7.5	8.2
2012	8.5	8.8	8.0	7.1	5.4	3.9	3.2	3.8	5.9	7.3	6.7	8.1
2013	8.6	8.5	7.8	7.0	5.2	4.2	3.2	5.0	5.6	7.3	6.2	8.1
2014	8.6	8.7	7.4	5.3	4.8	4.1	3.5	4.3	6.5	7.9	8.0	8.1
2015	8.2	9.1	8.2	7.3	5.5	4.9	4.2	4.9	6.7	8.2	8.3	8.8
<b>MIN</b>	<b>7.9</b>	<b>9.7</b>	<b>9.1</b>	<b>7.8</b>	<b>5.5</b>	<b>5.4</b>	<b>4.2</b>	<b>5.3</b>	<b>6.7</b>	<b>8.2</b>	<b>8.5</b>	<b>9.1</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION SUNILLA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	6.3	7.3	6.0	4.3	2.0	0.7	1.1	2.1	3.3	5.0	5.1	6.5
1995	6.3	6.9	5.9	4.2	1.2	1.3	0.8	2.4	3.7	5.1	6.1	5.8
1996	6.9	7.0	7.3	5.9	2.5	2.2	2.0	3.4	4.0	4.2	4.4	5.9
1997	6.1	7.0	6.4	5.2	2.2	2.4	0.7	1.6	2.7	5.5	5.0	5.8
1998	5.7	6.4	5.8	5.0	2.5	1.5	-0.2	1.8	3.5	3.4	4.1	5.9
1999	6.7	6.7	6.1	4.9	0.8	1.0	0.4	2.1	3.4	3.6	4.4	6.4
2000	7.3	7.0	4.9	4.3	2.0	1.6	1.0	2.6	4.0	5.0	6.1	6.3
2001	7.3	6.8	6.5	5.6	3.3	1.2	1.3	2.0	3.9	4.4	4.7	5.7
2002	6.3	6.7	5.7	4.8	2.8	1.9	0.2	1.9	3.9	5.1	3.6	5.1
2003	6.5	5.2	5.0	4.4	3.0	2.9	1.2	2.2	3.6	5.7	6.1	6.4
2004	6.7	6.8	6.4	4.7	2.6	1.3	0.4	2.1	3.5	5.4	4.6	4.9
2005	6.0	6.0	5.5	4.3	2.3	2.7	0.9	2.1	3.2	4.6	4.3	5.5
2006	6.0	6.2	5.9	5.3	2.4	0.3	1.0	1.6	3.7	5.0	5.8	6.6
2007	6.8	7.2	5.9	5.1	2.2	1.3	1.0	2.0	4.2	4.4	5.1	6.4

<b>2008</b>	6.8	6.5	6.1	4.4	2.0	1.6	1.7	2.8	4.5	4.8	5.1	5.7
<b>2009</b>	6.5	6.9	6.1	5.4	2.4	1.1	0.6	3.0	4.2	5.1	4.3	6.0
<b>2010</b>	6.5	6.7	5.3	3.8	2.1	0.5	1.0	2.7	4.6	5.7	5.9	6.9
<b>2011</b>	7.8	8.3	7.4	5.8	2.4	2.9	1.4	3.3	3.9	5.8	5.0	6.1
<b>2012</b>	6.5	7.1	6.3	5.4	3.3	1.4	1.2	1.8	3.8	5.1	4.2	6.0
<b>2013</b>	6.7	6.8	6.1	5.1	3.0	2.0	1.3	3.0	3.6	5.1	3.5	5.9
<b>2014</b>	6.7	7.1	6.1	3.8	2.7	1.9	1.5	2.1	4.4	5.5	5.6	6.0
<b>2015</b>	6.1	7.4	6.5	5.4	3.3	2.6	2.2	2.8	4.9	6.0	6.0	6.7
<b>MIN</b>	<b>5.7</b>	<b>8.3</b>	<b>7.4</b>	<b>5.9</b>	<b>3.3</b>	<b>2.9</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>4.9</b>	<b>6.0</b>	<b>6.1</b>	<b>6.9</b>

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION TARHUIYOCC												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	6.6	7.9	6.4	5.4	3.3	2.6	2.2	3.2	4.2	6.2	6.4	7.4
1995	6.8	7.5	6.2	5.2	2.8	2.9	2.2	3.7	4.7	6.3	7.2	7.2
1996	7.5	7.9	7.4	6.6	4.2	3.4	3.1	4.0	4.7	5.9	5.9	6.9
1997	6.6	7.6	6.7	5.8	3.4	3.7	1.8	2.5	3.7	6.5	6.0	6.5
1998	6.2	6.9	6.3	5.5	3.4	2.7	1.2	3.3	4.4	5.0	5.1	6.7
1999	7.0	7.0	6.0	5.7	2.3	2.4	1.4	3.3	4.4	5.0	5.8	7.1
2000	7.8	7.6	5.5	5.5	3.5	3.2	2.7	3.8	5.0	6.1	7.1	7.3
2001	7.7	7.6	6.8	6.3	4.5	2.5	2.1	3.1	4.8	5.8	5.9	6.1
2002	6.7	7.2	5.8	5.5	3.4	3.2	1.2	3.0	4.5	6.3	4.6	5.8
2003	7.0	6.0	5.6	5.3	4.0	4.1	2.1	3.0	3.9	6.6	7.1	7.0
2004	7.2	7.4	6.8	5.4	3.9	2.8	1.7	3.3	4.6	6.2	5.8	6.1
2005	6.6	6.6	6.3	5.7	4.1	4.0	2.1	3.3	4.1	6.2	5.5	6.5
2006	6.8	6.9	6.3	6.2	4.1	2.9	2.5	3.4	4.5	6.3	7.0	7.6
2007	7.3	7.8	6.3	5.9	3.8	2.8	2.3	3.1	5.1	5.6	6.3	7.2
2008	7.2	7.0	6.5	5.4	3.4	3.2	2.7	3.6	5.3	6.1	6.4	6.4
2009	6.8	7.3	6.3	5.9	3.9	2.8	1.9	4.1	5.1	6.3	5.7	6.9
2010	6.7	7.2	5.5	5.0	4.0	2.2	3.0	4.3	5.7	6.9	7.0	8.0
2011	7.8	8.3	7.6	6.5	3.9	4.6	2.7	4.2	4.6	6.8	6.1	6.8
2012	6.8	7.8	6.7	6.1	4.4	2.9	2.4	3.0	4.8	6.4	5.4	7.0
2013	7.1	7.5	6.5	6.1	4.2	3.1	2.1	4.0	4.4	6.1	4.8	7.0
2014	7.1	7.7	6.4	5.1	3.9	3.1	2.3	3.6	5.4	6.9	6.7	7.1
2015	6.6	8.1	6.9	6.2	4.8	4.0	3.0	4.0	5.3	7.1	7.2	7.6
<b>MIN</b>	<b>6.2</b>	<b>8.3</b>	<b>7.6</b>	<b>6.6</b>	<b>4.8</b>	<b>4.6</b>	<b>3.1</b>	<b>4.3</b>	<b>5.7</b>	<b>7.1</b>	<b>7.2</b>	<b>8.0</b>

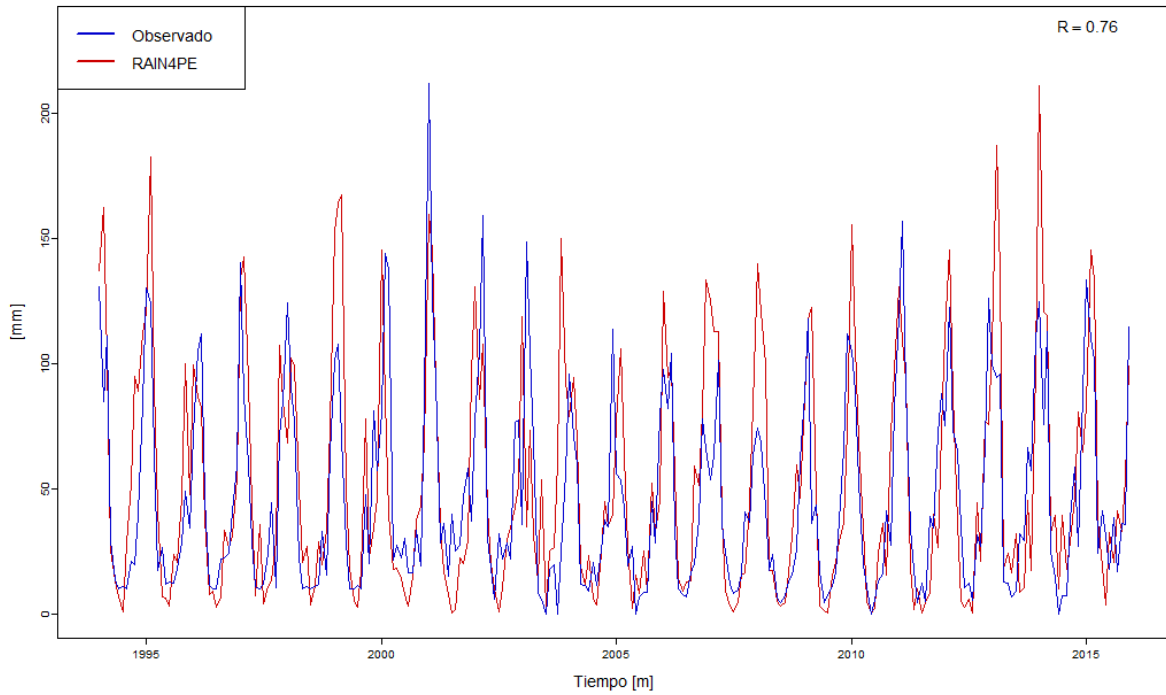
REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C) ESTACION VIRGEN DEL CARMEN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	8.9	9.4	8.4	6.6	4.6	3.7	3.6	4.5	5.8	7.7	8.1	8.9
1995	8.9	9.1	8.2	6.5	4.0	4.0	3.3	4.9	6.2	7.8	8.8	8.4
1996	9.6	9.4	9.6	8.1	5.3	4.8	4.5	5.7	6.4	7.1	7.5	8.3
1997	8.6	9.1	8.6	7.3	4.7	4.9	3.1	4.0	5.2	8.0	7.8	8.2
1998	8.4	8.6	8.1	7.0	4.8	3.8	2.1	4.2	5.8	6.2	7.0	8.3
1999	9.2	8.9	8.3	7.0	3.5	3.6	2.8	4.6	5.9	6.5	7.3	8.7
2000	9.8	9.3	7.4	6.6	4.6	4.2	3.4	5.0	6.6	7.8	8.9	8.9

<b>2001</b>	9.8	9.1	8.7	7.7	5.7	3.8	3.6	4.5	6.3	7.2	7.7	8.1
<b>2002</b>	8.9	8.9	8.0	6.9	5.0	4.5	2.4	4.3	6.4	7.8	6.6	7.7
<b>2003</b>	9.1	7.7	7.4	6.6	5.4	5.4	3.6	4.6	6.2	8.3	8.8	8.8
<b>2004</b>	9.3	9.1	8.7	6.8	5.2	4.1	2.8	4.5	6.0	8.1	7.6	7.6
<b>2005</b>	8.6	8.4	8.0	6.7	5.1	5.3	3.2	4.6	5.9	7.4	7.3	8.1
<b>2006</b>	8.6	8.5	8.2	7.5	5.0	3.1	3.5	3.9	6.2	7.7	8.9	9.1
<b>2007</b>	9.4	9.3	8.2	7.2	4.7	4.0	3.4	4.3	6.7	7.2	8.0	8.9
<b>2008</b>	9.4	8.9	8.4	6.7	4.6	4.4	4.2	5.2	6.9	7.6	8.1	8.3
<b>2009</b>	9.1	9.1	8.5	7.6	5.0	3.8	3.0	5.5	6.8	7.9	7.4	8.5
<b>2010</b>	9.0	8.9	7.7	6.2	4.9	3.4	3.6	5.2	7.0	8.5	8.7	9.5
<b>2011</b>	10.4	10.4	9.8	8.1	5.0	5.5	3.8	5.7	6.4	8.5	8.0	8.6
<b>2012</b>	9.2	9.3	8.5	7.4	5.7	4.2	3.4	4.1	6.3	7.6	7.3	8.5
<b>2013</b>	9.1	9.0	8.3	7.2	5.5	4.6	3.6	5.4	6.1	7.6	6.7	8.4
<b>2014</b>	9.1	9.2	8.0	5.5	5.1	4.3	3.9	4.5	6.8	8.2	8.5	8.5
<b>2015</b>	8.8	9.6	8.8	7.5	5.7	5.1	4.6	5.2	7.2	8.6	8.8	9.2
<b>MIN</b>	<b>8.4</b>	<b>10.4</b>	<b>9.8</b>	<b>8.1</b>	<b>5.7</b>	<b>5.5</b>	<b>4.6</b>	<b>5.7</b>	<b>7.2</b>	<b>8.6</b>	<b>8.9</b>	<b>9.5</b>

**Anexo 6.** Resultados de comparación de datos observados VS datos estimados RAIN4PE.

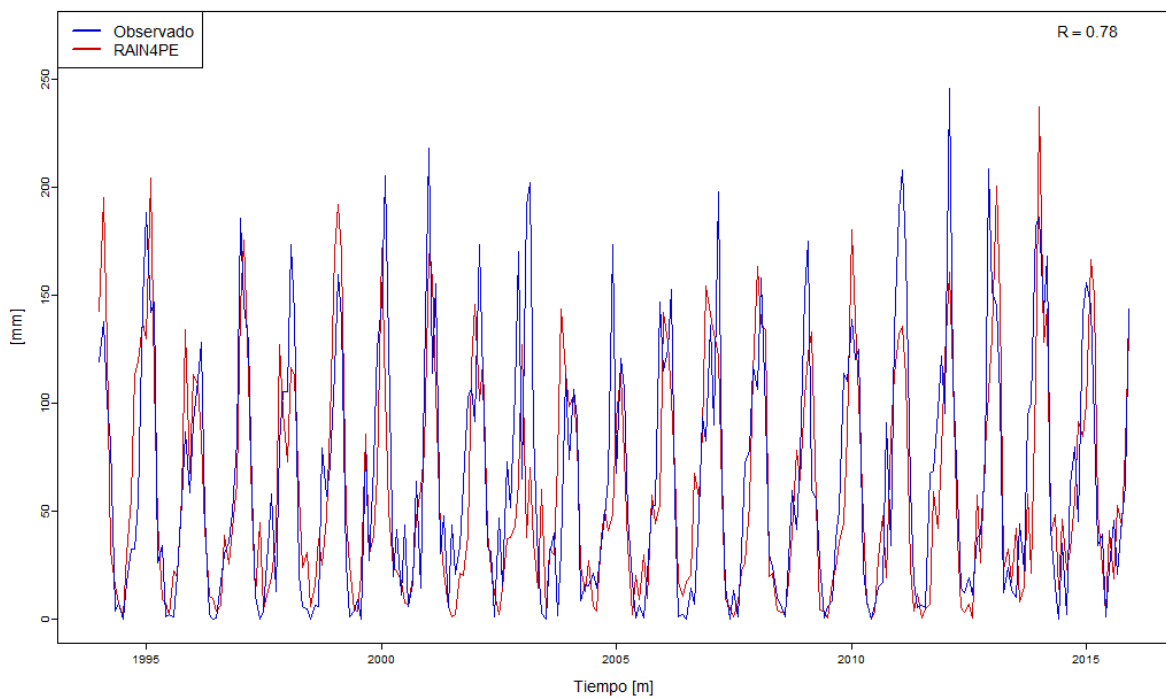
**Estación Wayllapampa**

Comparación de datos Obs VS. RAIN4PE en la estación WAY



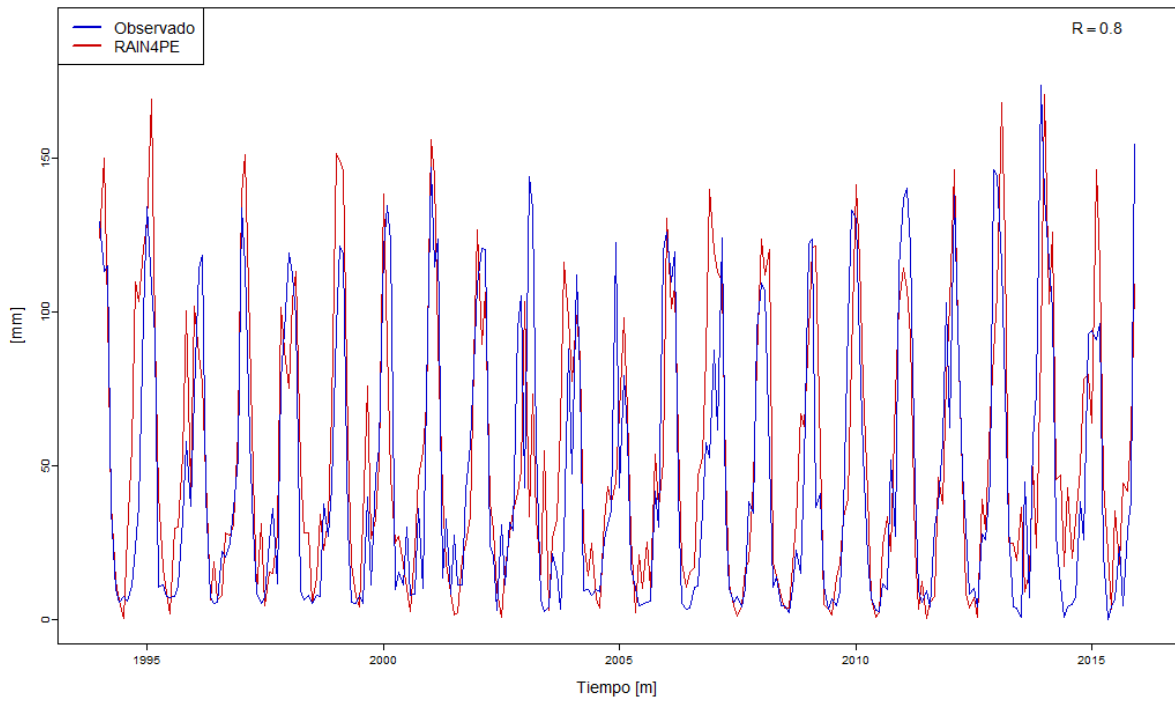
**Estación La Quinoa**

Comparación de datos Obs VS. RAIN4PE en la estación QUI



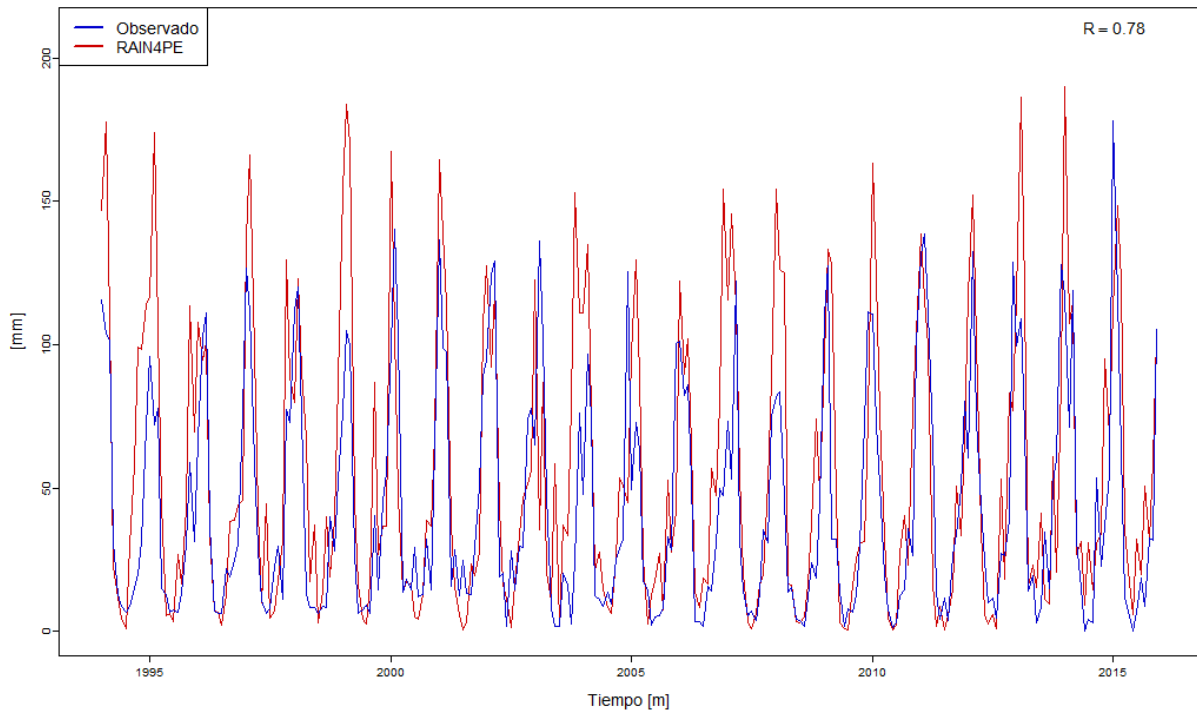
## Estación Huanta

Comparación de datos Obs VS. RAIN4PE en la estación HUA



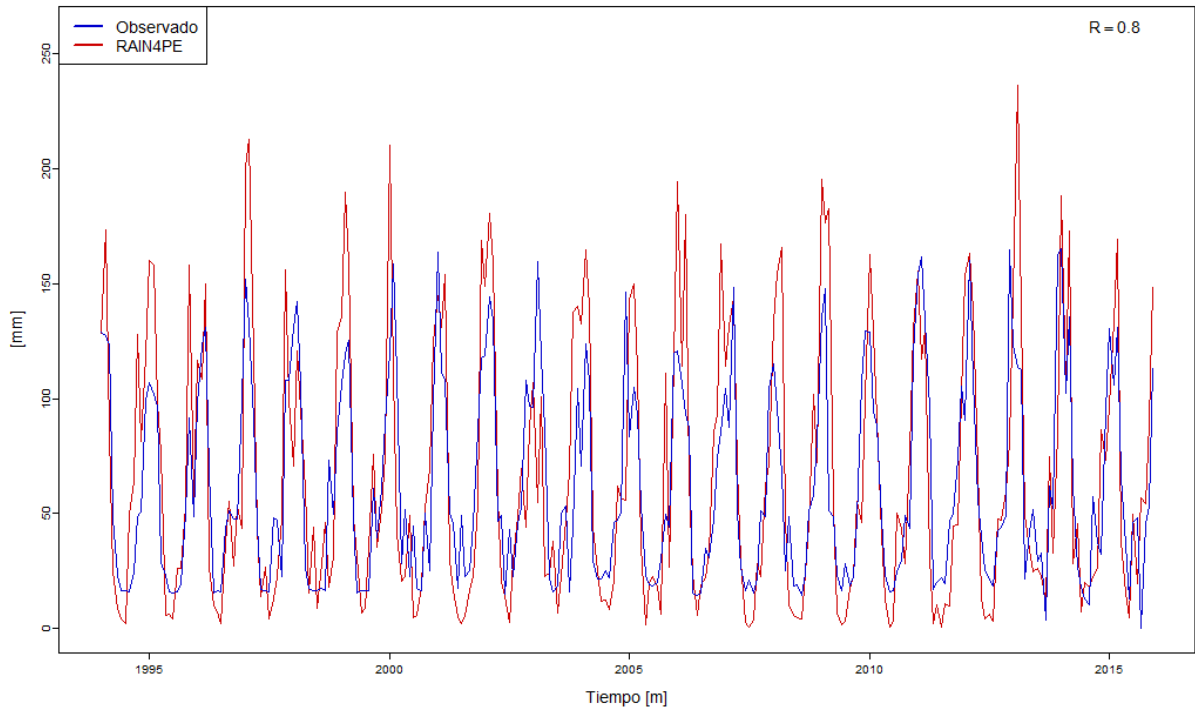
## Estación INIA

Comparación de datos Obs VS. RAIN4PE en la estación INIA



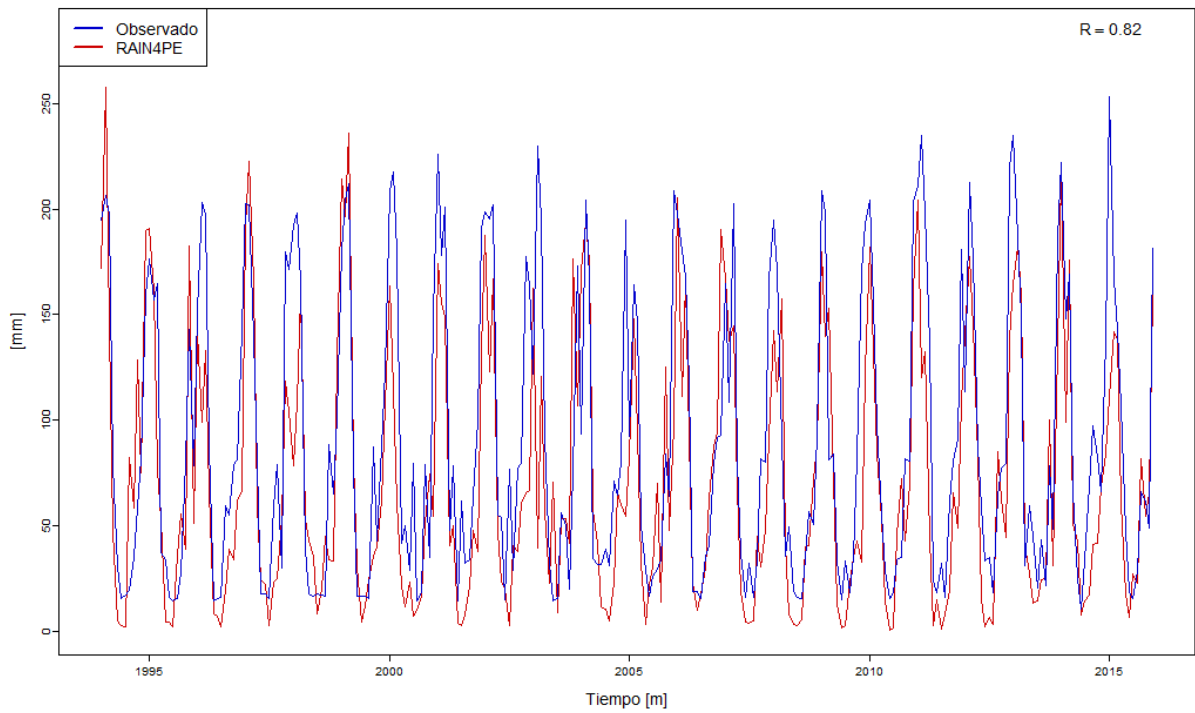
## Estación Allpachaca

Comparación de datos Obs VS. RAIN4PE en la estación ALL



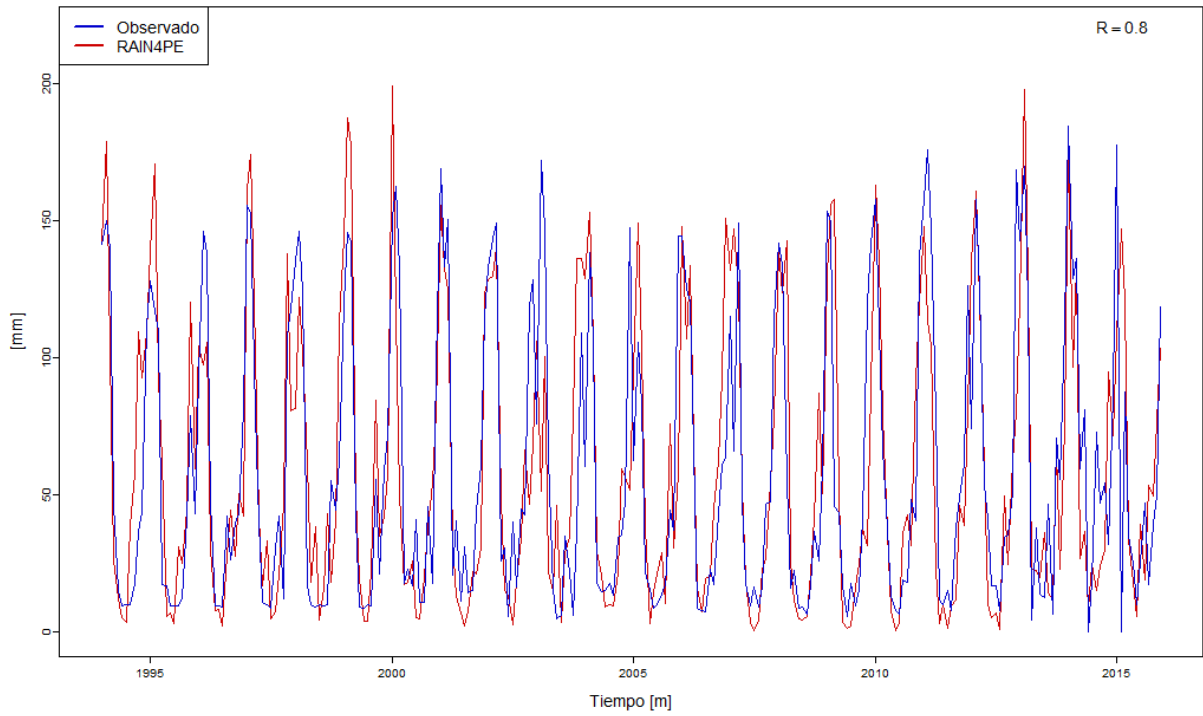
## Estación Apacheta

Comparación de datos Obs VS. RAIN4PE en la estación APA



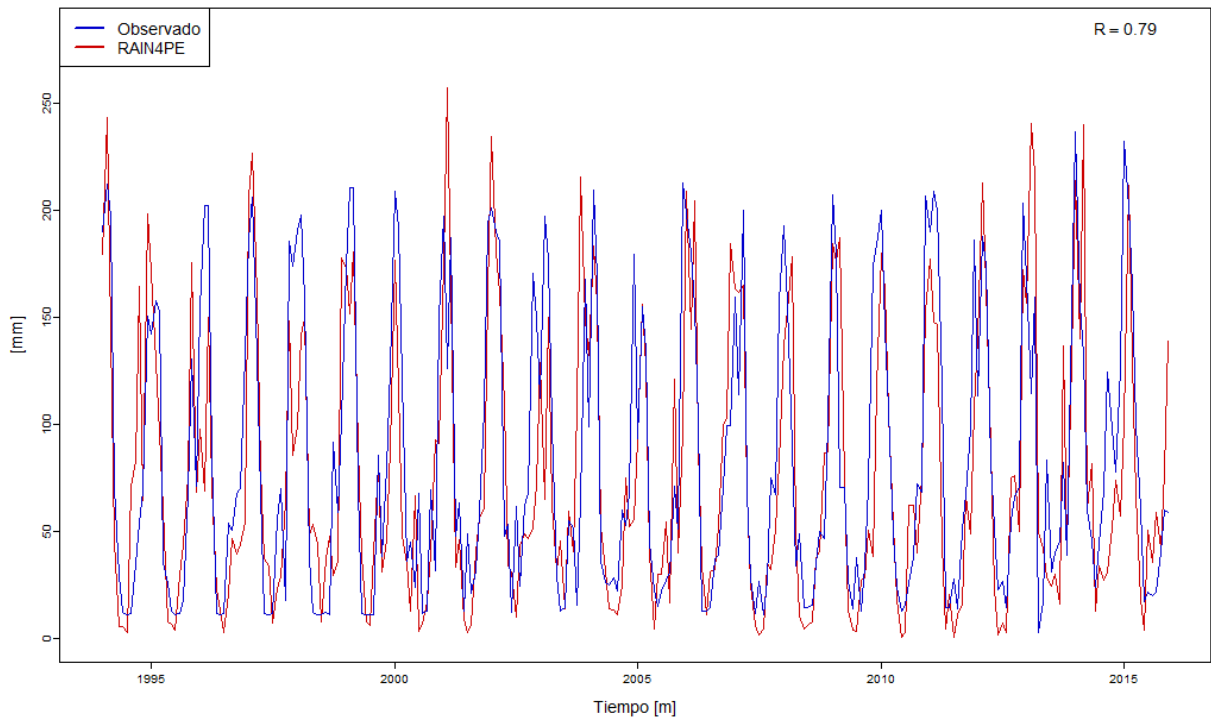
## Estación Chiara

Comparación de datos Obs VS. RAIN4PE en la estación CHI



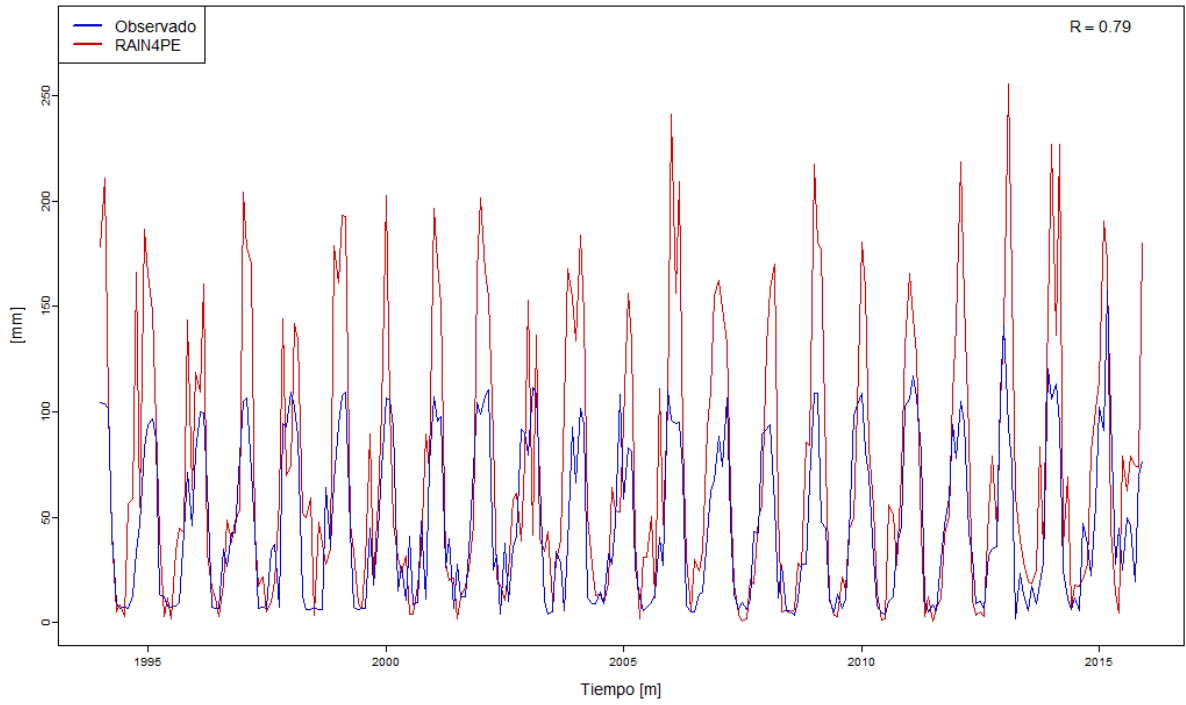
## Estación Choccoro

Comparación de datos Obs VS. RAIN4PE en la estación CHO



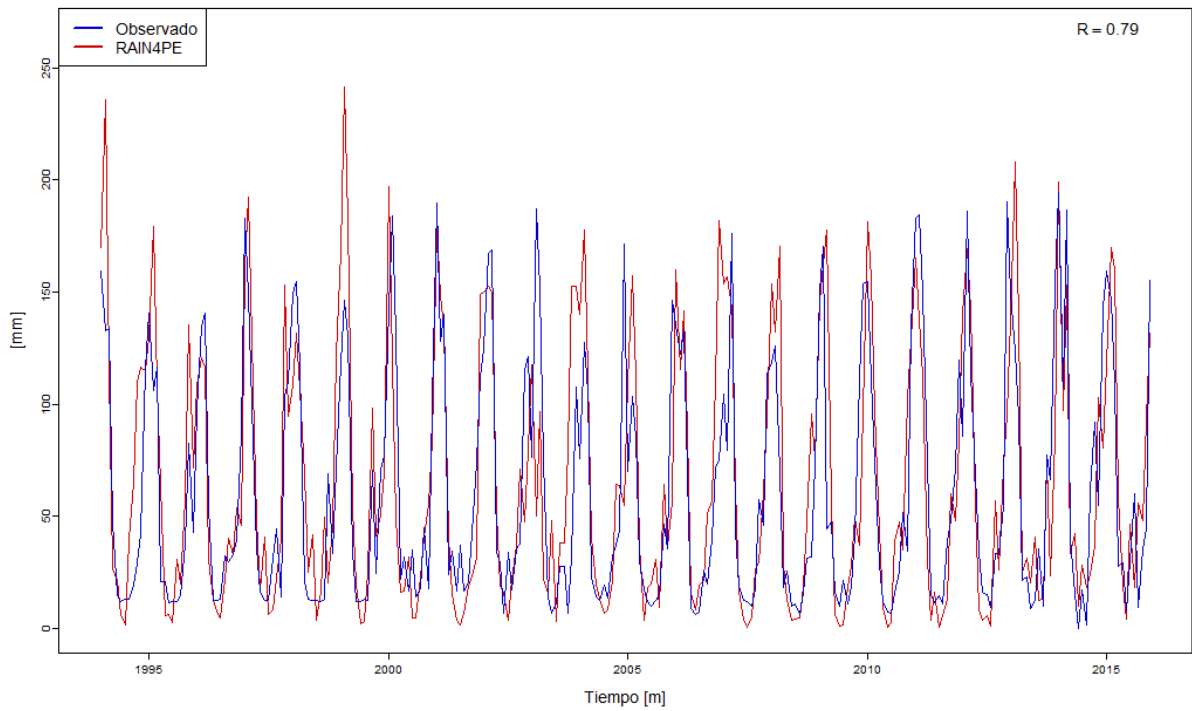
## Estación Sunilla

Comparación de datos Obs VS. RAIN4PE en la estación SUN



## Estación Tambillo

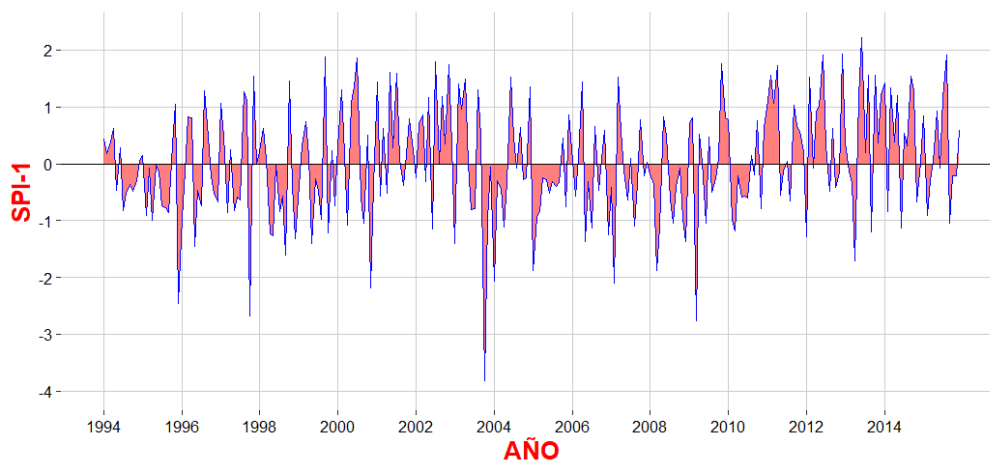
Comparación de datos Obs VS. RAIN4PE en la estación TAM



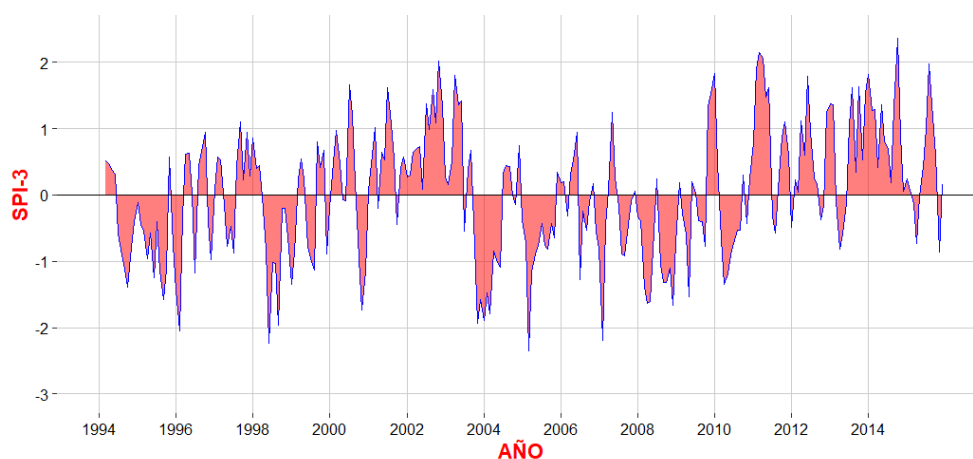
**Anexo 7. Resultados del SPI en escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses por región**

**a. Resultados del SPI para la región homogénea 1**

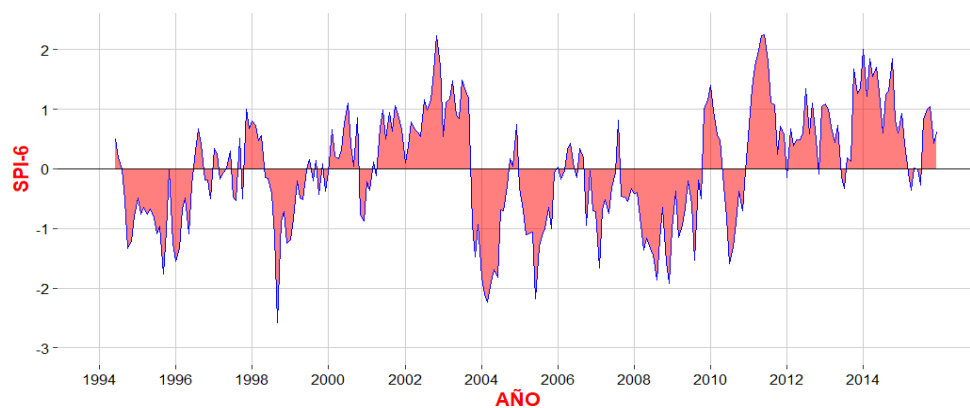
**SPI-1 mes**



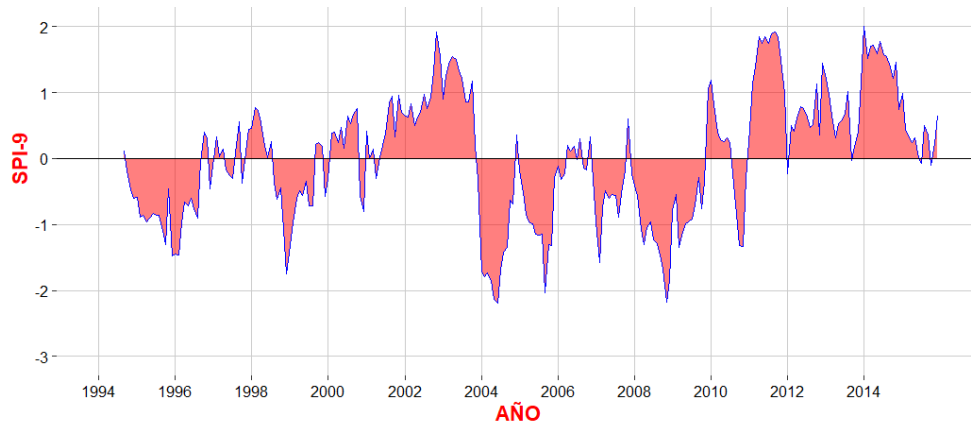
**SPI-3 meses**



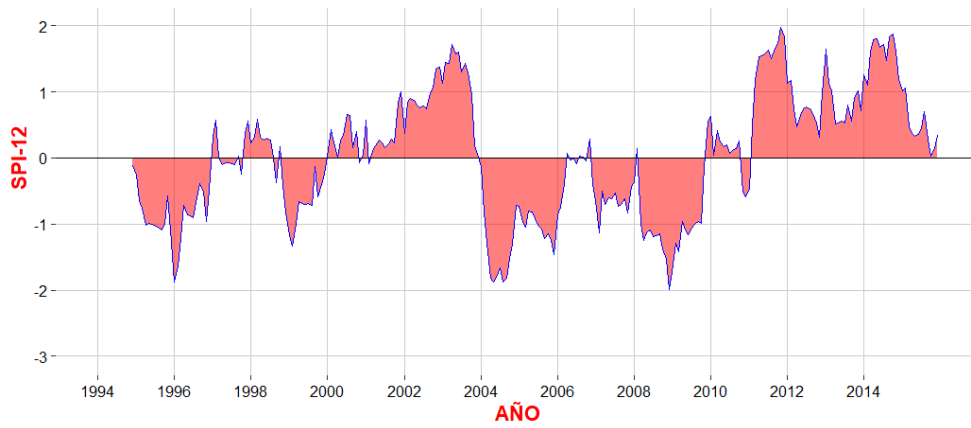
**SPI-6 meses**



### SPI-9 meses

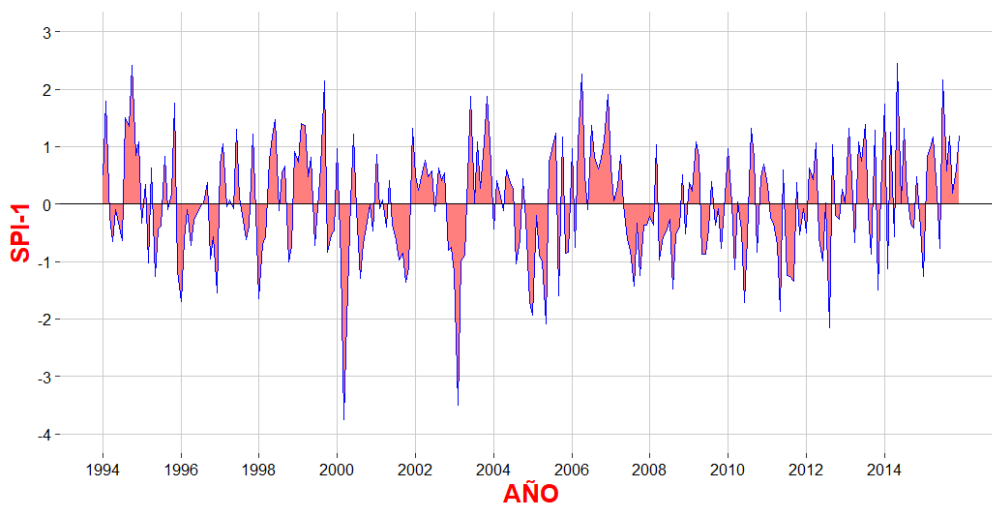


### SPI-12 meses

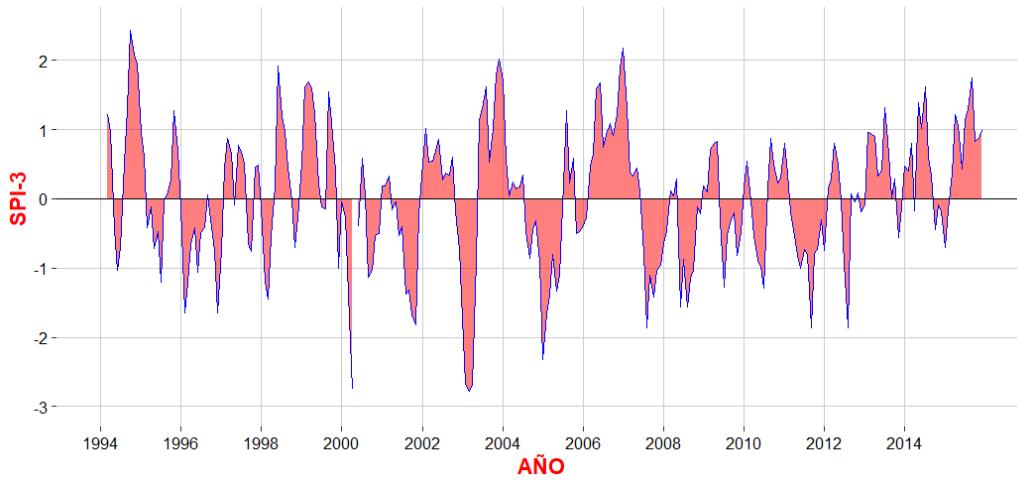


## b. Resultados del SPI para la región homogénea 4

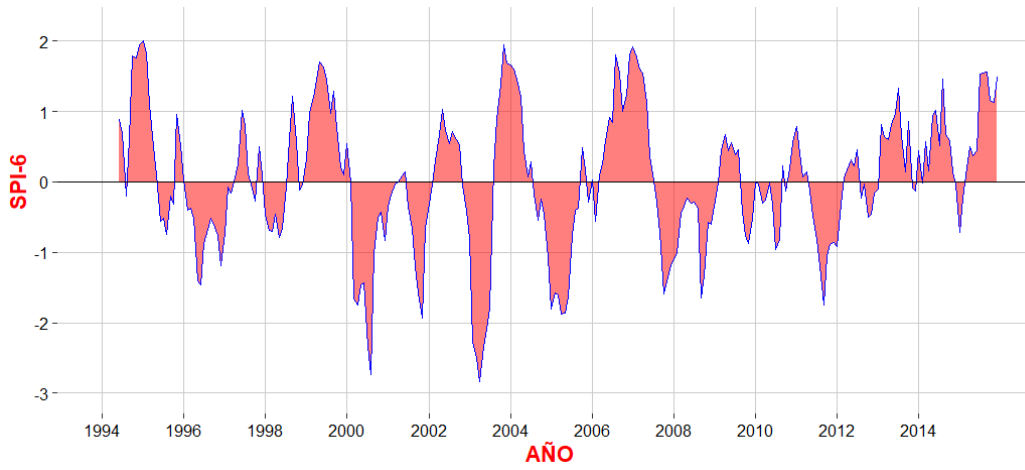
### SPI-1 mes



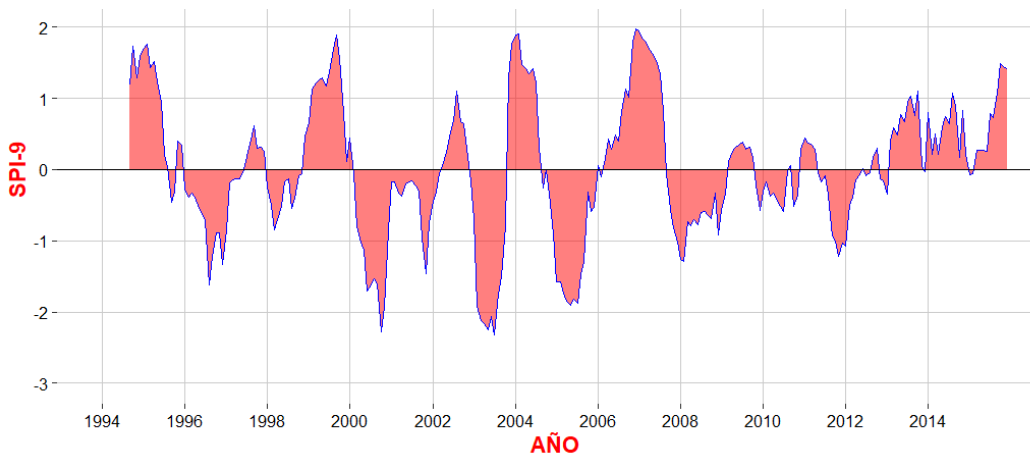
### SPI-3 meses



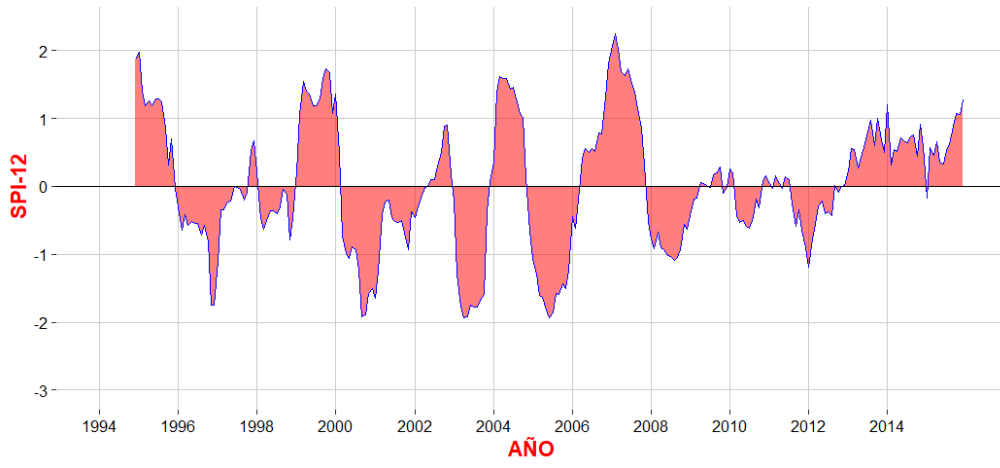
### SPI-6 meses



### SPI-9 meses



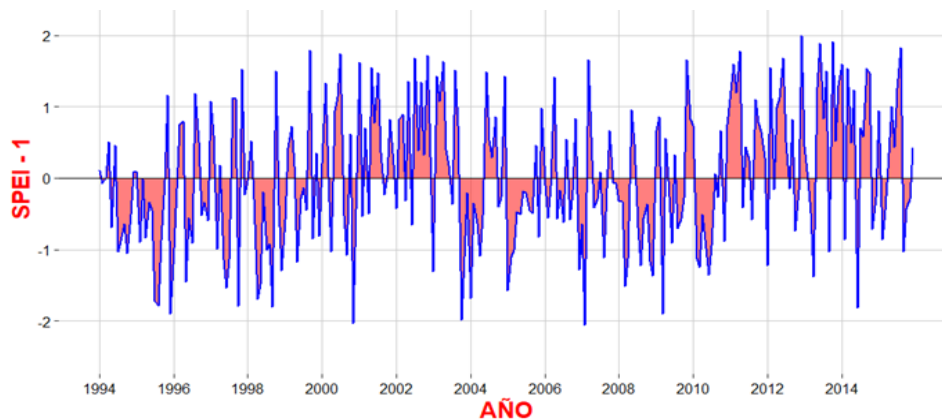
### SPI-12 meses



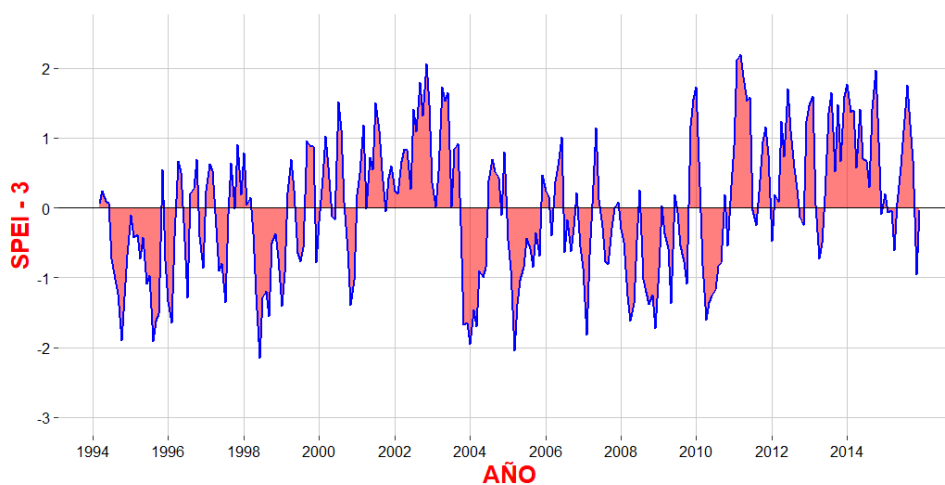
**Anexo 8.** Resultados del SPEI en escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses por región

**a.** Resultados del SPEI para la región homogénea 1

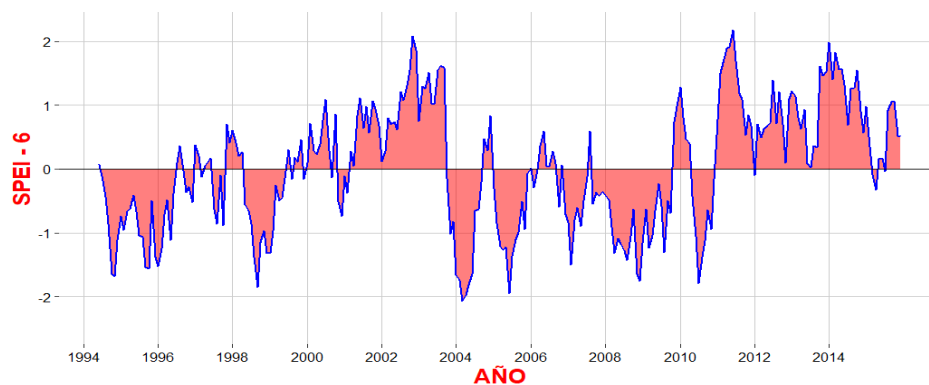
**SPEI- 1 mes**



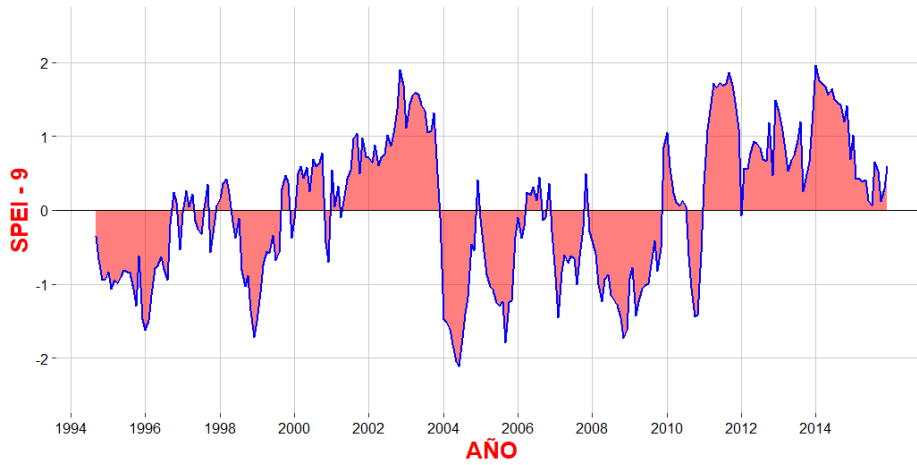
**SPEI- 3 meses**



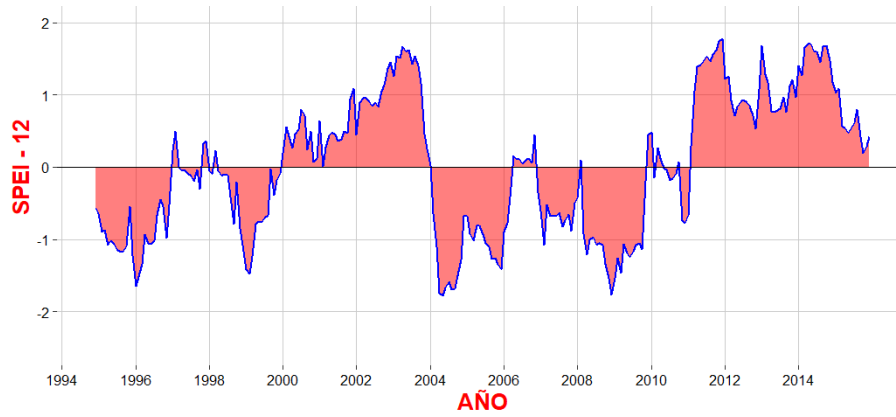
**SPEI- 6 meses**



### SPEI- 9 meses

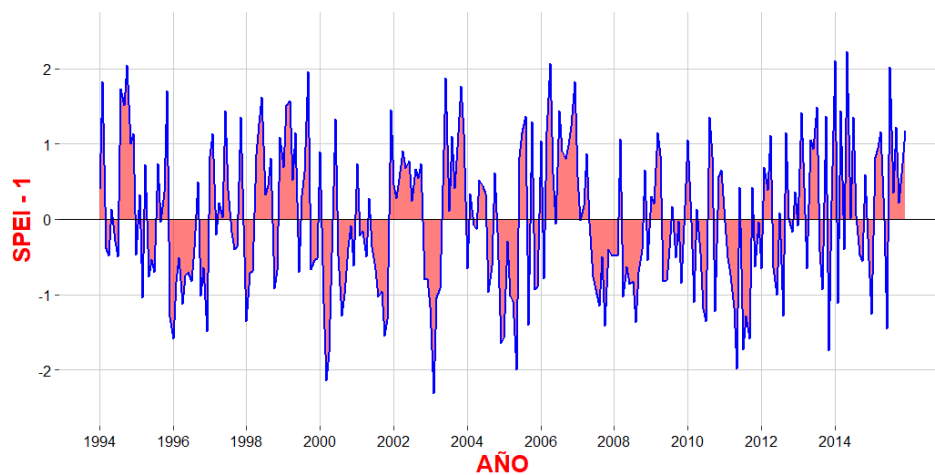


### SPEI- 12 meses

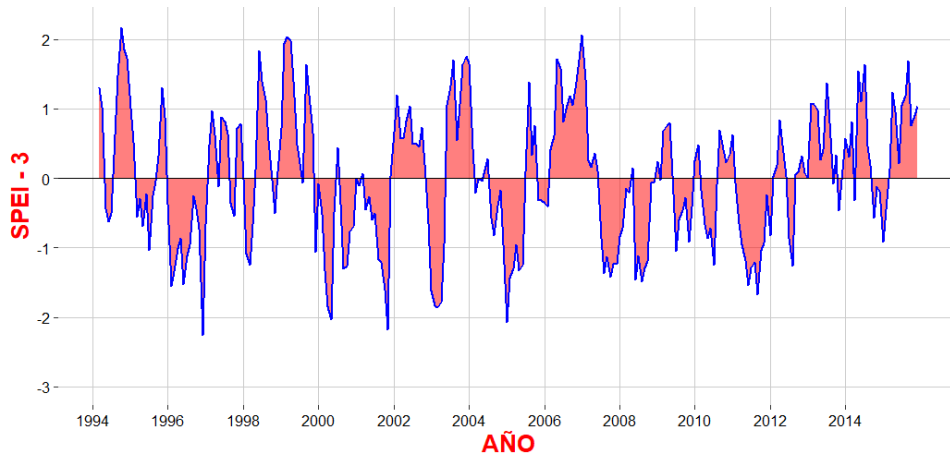


## b. Resultados del SPEI para la región homogénea 4

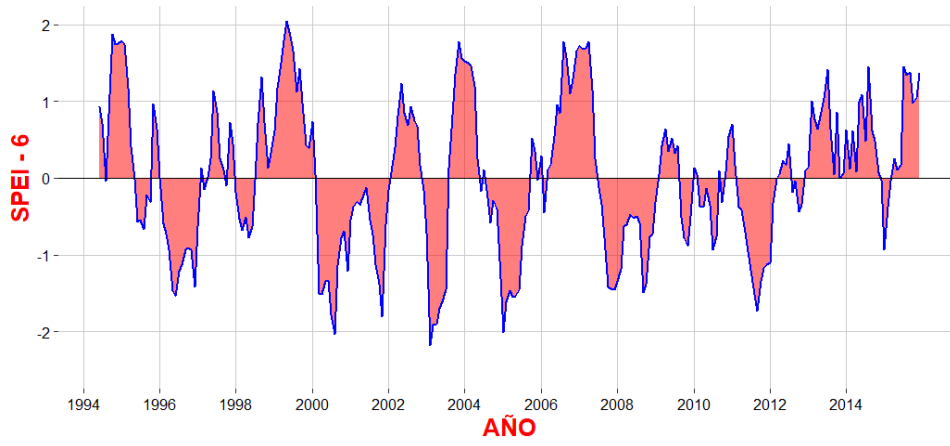
### SPEI- 1 mes



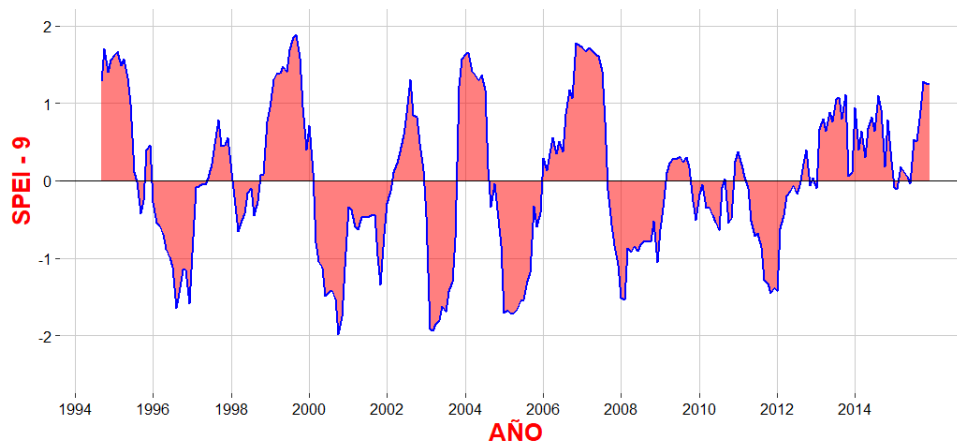
### SPEI- 3 meses



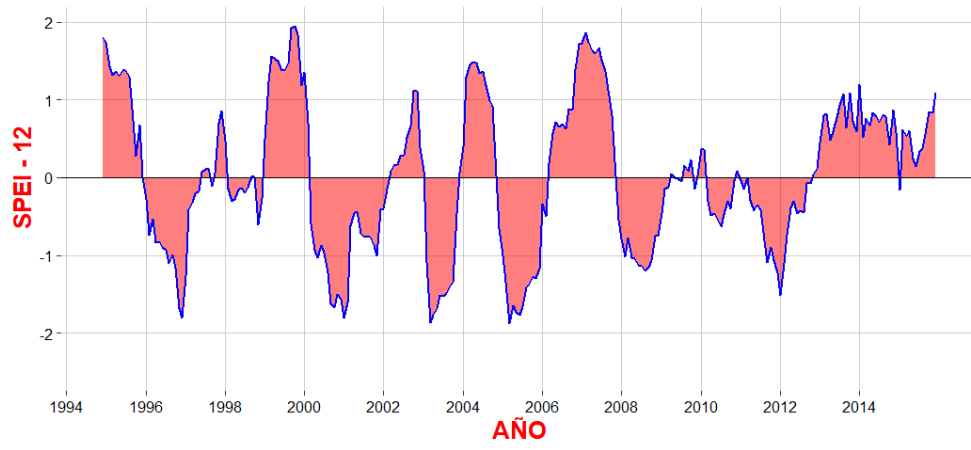
### SPEI- 6 meses



### SPEI- 9 meses



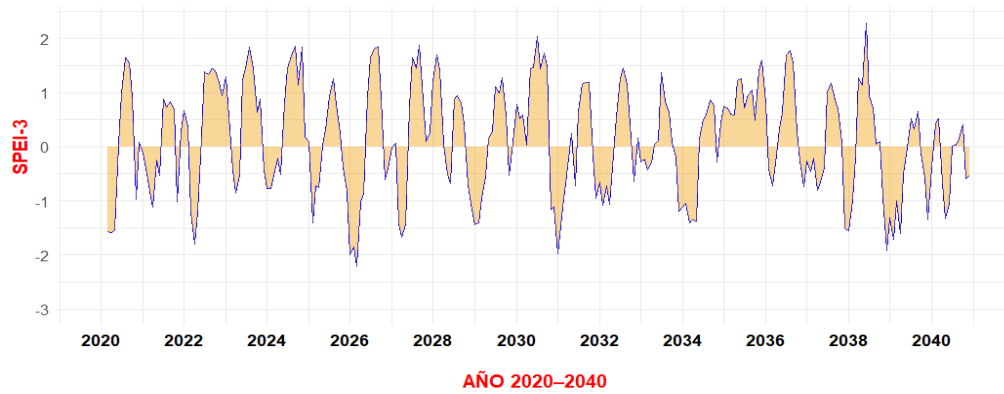
### SPEI- 12 meses



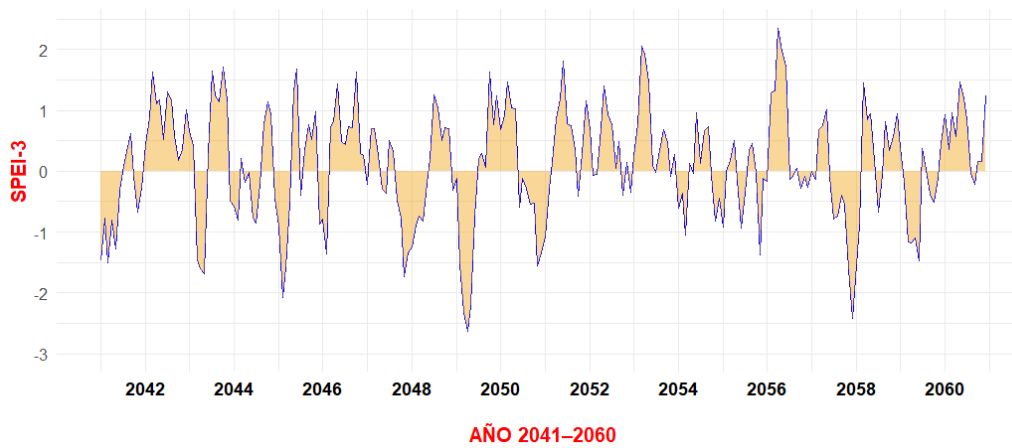
## Anexo 9. Resultados del SPEI en escalas temporales de 3 meses por región homogénea

### a. Región homogénea 1

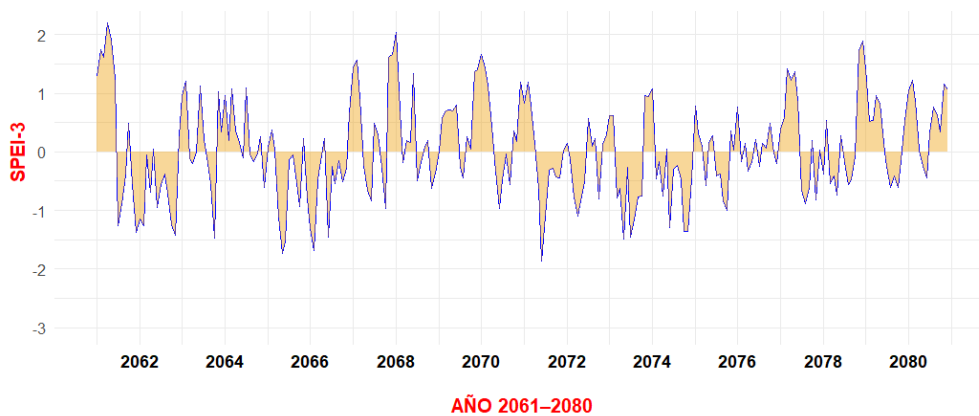
#### Año 2020 – 2040



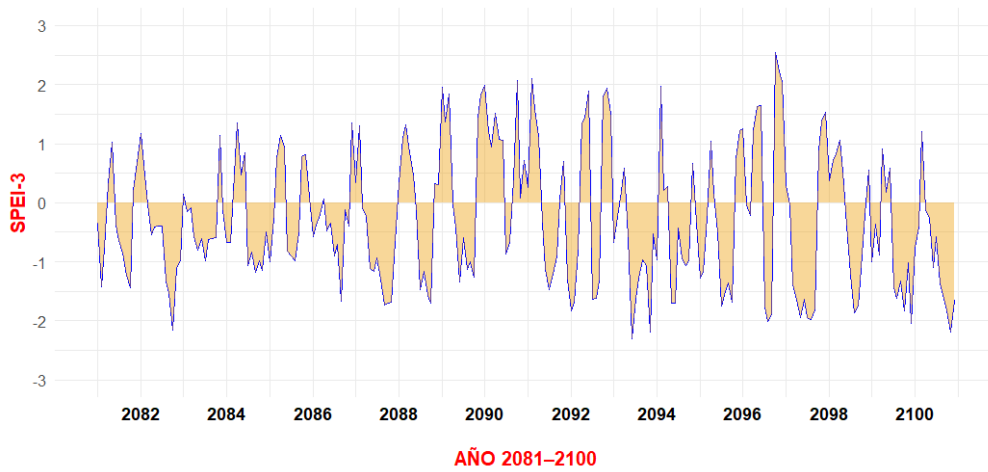
#### Año 2041 – 2060



#### Año 2061 – 2080

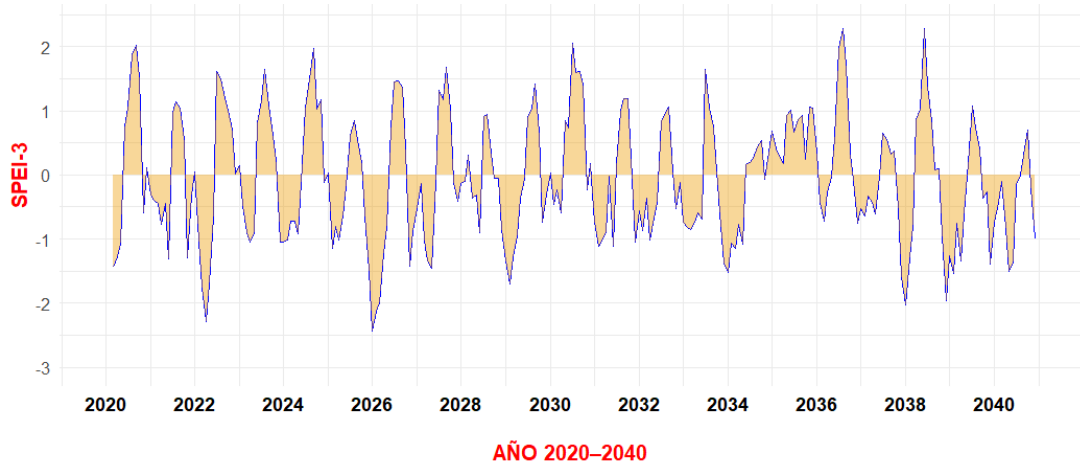


### Año 2081 – 2100

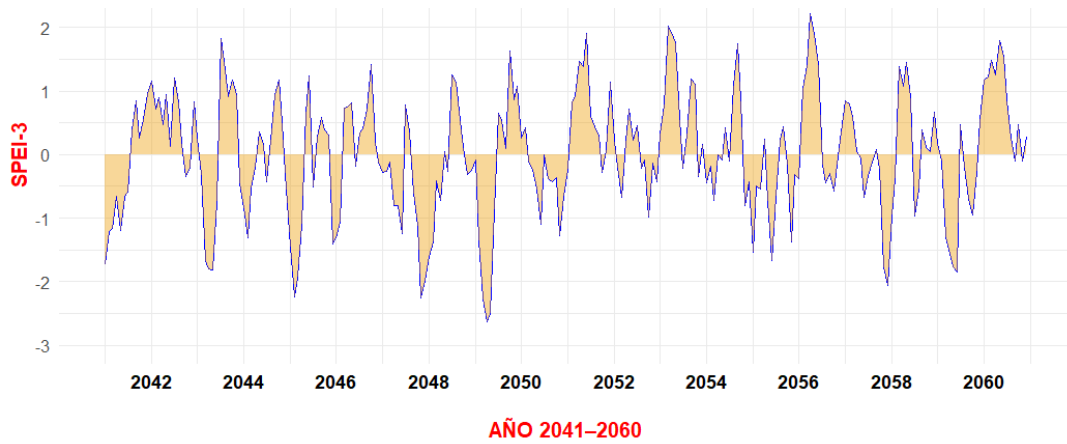


### b. Región homogénea 4

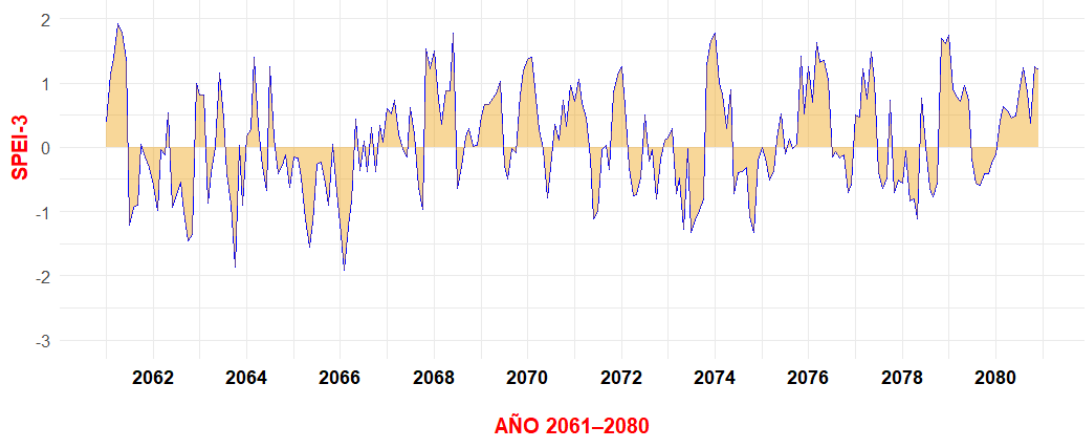
#### Año 2020 – 2040



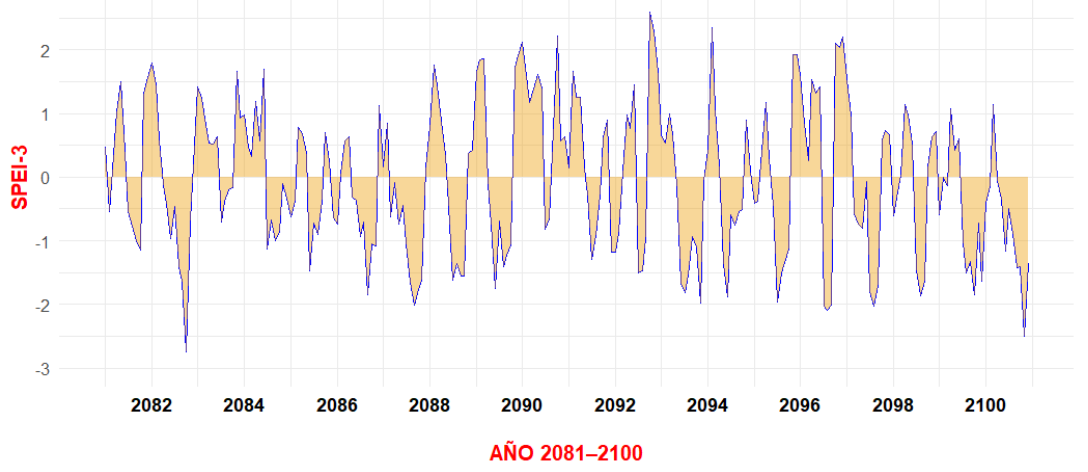
#### Año 2041 – 2060



### Año 2061 – 2080



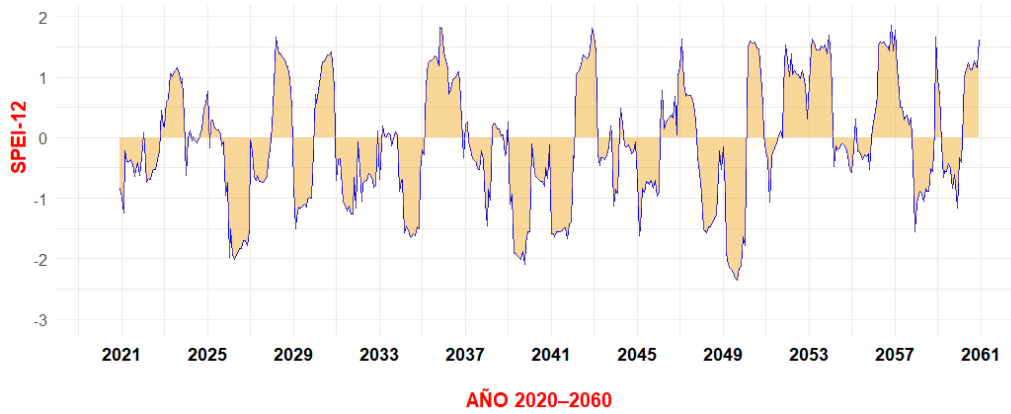
### Año 2081 – 2100



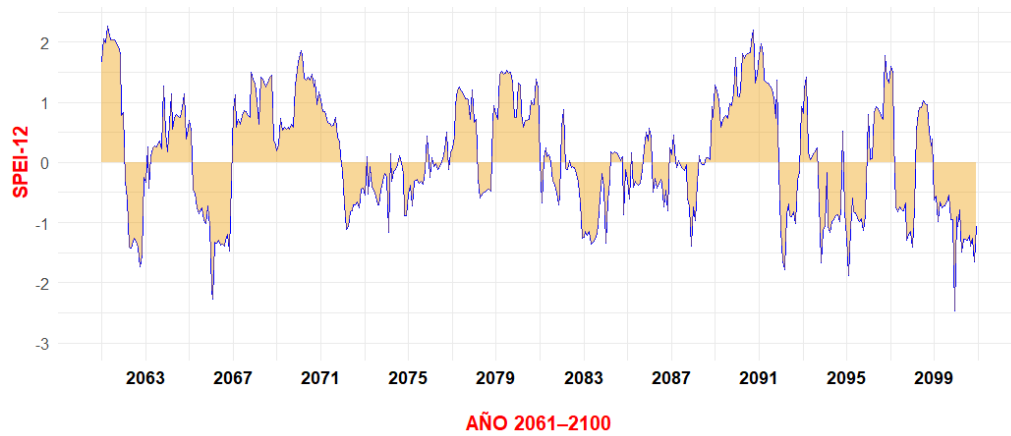
**Anexo 10.** Resultados del SPEI en escalas temporales de 12 meses por región homogénea

**a.** Región homogénea 1

**Año 2020 – 2060**

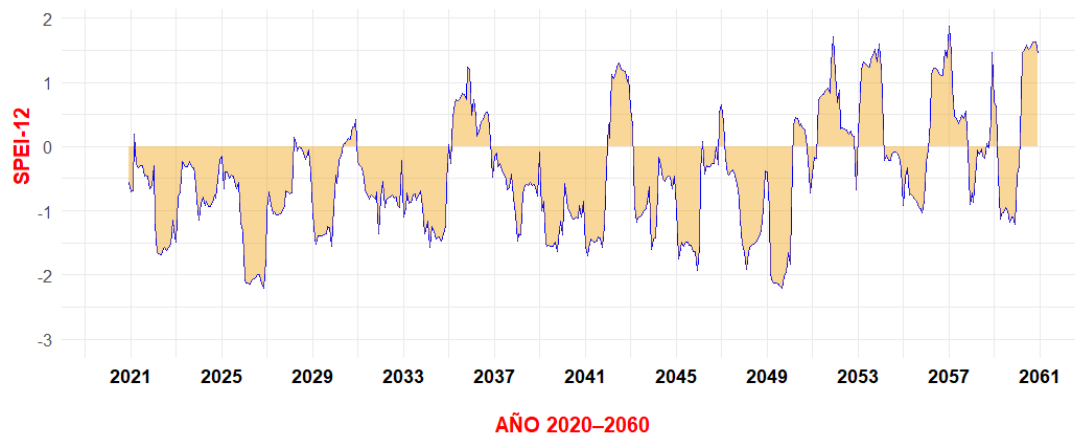


**Año 2061 – 2100**

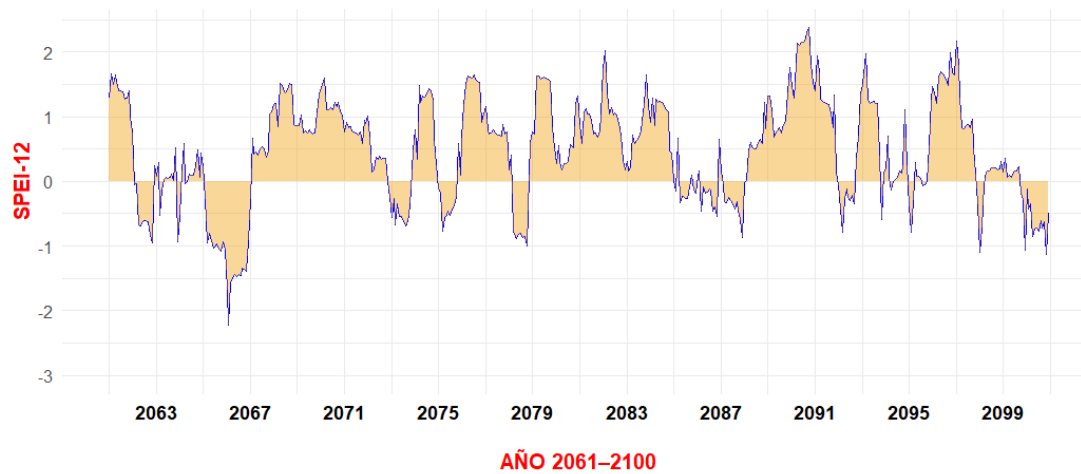


**b. Región homogénea 4**

**Año 2020 – 2060**



**Año 2061 – 2100**



## Anexo 11. Rutinas en R utilizadas para el procesamiento de datos

### a. Códigos en R para el cálculo del índice SPI en distintas escalas temporales.

```
# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
#TESIS: "EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE SEQUÍA EN LA CUENCA
#       DEL RIO CACHI MEDIANTE LOS MÉTODOS ESTADÍSTICOS
#       SPI Y SPEI, AYACUCHO-2024"
#AUTOR: Bach. CAROL SHEYLA MEDINA HUAMAN
#=====
# Eliminar variables y limpiar consola
rm(list=ls())
cat('\f')

# # Instalar paquetes
#install.packages('SPEI')

# Cargar librerías
require(raster)
require(readxl)
require(zoo)
require(naniar)
require(hydroTSM)
require(hydroGOF)
require(matrixStats)
require(rgdal)
require(writexl)
require(RColorBrewer)
require(reshape2)
require(ggplot2)
library(dplyr)
library(tidyr)
library(lattice)
library(SPEI)
library(writexl)

# Configurar directorio de trabajo
location <- 'D:/CURSOS_UNSCH/TESIS_4/RSTUDIO'
setwd(location)

# Leer base de datos
df <- read_xlsx('./DATA/OBS/SPI.xlsx', col_names=TRUE, sheet=5)
head(df)
```

```
#CARGAR FUNCIONES AUXILIARES
```

```
# #=====
#SPI para 1 mes
spi1 <- spi(df$prcp,1)
spi1
plot(spi1)
|
#SPEI para 3 meses
spi3 <- spi(CwBAL,3)
spi3
plot(spi3)

#SPEI para 6 meses
spi6 <- spi(CwBAL,6)
spi6
plot(spi6)

#SPEI para 9 meses
spei9 <- spi(CwBAL,9)
spei9
plot.spei(spei9)

#SPEI para 12 meses
spei12 <- spi(CwBAL,12)
spei12
plot.spei(spei12)
```

## b. Códigos en R para el cálculo del índice SPEI en distintas escalas temporales

```

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
# TESIS: "EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE SEQUÍA EN LA CUENCA
#       DEL RÍO CACHI MEDIANTE LOS MÉTODOS ESTADÍSTICOS
#       SPI Y SPEI, AYACUCHO-2024"
# AUTOR: Bach. CAROL SHEYLA MEDINA HUAMAN
#=====
# Eliminar variables y limpiar consola
rm(list=ls())
cat('\f')

# # Instalar paquetes
#install.packages('SPEI')

# Cargar librerías
require(raster)
require(readxl)
require(zoo)
require(naniar)
require(hydroTSM)
require(hydroGOF)
require(matrixStats)
require(rgdal)
require(writexl)
require(RColorBrewer)
require(reshape2)
require(ggplot2)
library(dplyr)
library(tidyr)
library(lattice)
library(SPEI)
library(writexl)

# Configurar directorio de trabajo
location <- 'D:/CURSOS_UNSCH/TESIS_4/RSTUDIO'
setwd(location)

# Leer base de datos
Datos <- read_xlsx('./DATA/OBS/SPEI.xlsx', col_names=TRUE, sheet=6) #cambiar hoja dependiendo region
head(Datos)
# View(Datos)

# Verificar nombres de columnas
colnames(Datos) <- make.names(colnames(Datos))
str(Datos) # Para revisar la estructura

# Definir latitud como el promedio de las estaciones de la región
lat_prom <- mean(c(-13.3111, -13.2679, -13.2121, -13.3152, -13.2577, -13.4306306, -13.3864, -13.1351))
#Region 1 = mean(c(-13.05547222, -13.08742222, -13.3886111, -13.2904028, -13.2185333))
#region 2 = mean(c(-13.168333, -13.0765, -12.9475))
#Region 3 = mean(c(-13.3475, -13.4133333))
#Region 4 = mean(c(-13.3111, -13.2679, -13.2121, -13.3152, -13.2577, -13.4306306, -13.3864, -13.1351))

#PET according to hargreaves
Datos$ETP_thor <- thornthwaite(Tave = rowMeans(Datos[, c("Tmax", "Tmin")], na.rm = TRUE),
                             lat = lat_prom, na.rm = TRUE)

#View(Datos)

#Balance
Datos$BAL <- Datos$Pp - Datos$ETP_thor

#CARGAR FUNCIONES AUXILIARES
#=====
#SPEI para 1 mes
spei1 <- spei(Datos$BAL,1)
spei1
plot(spei1)

#SPEI para 3 meses
spei3 <- spei(Datos$BAL,3)
spei3
plot(spei3)

#SPEI para 6 meses
spei6 <- spei(Datos$BAL,6)
spei6
plot(spei6)

#SPEI para 9 meses
spei9 <- spei(Datos$BAL,9)
spei9
plot(spei9)

#SPEI para 12 meses
spei12 <- spei(Datos$BAL,12)
spei12
plot(spei12)

```


**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS  
AGRARIAS**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Bach. CAROL SHEYLA MEDINA HUAMAN****R.D. N° 167-2025-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los once días del mes de julio del año dos mil veinticinco, siendo las dieciséis horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por la Dr. Jorge Edmundo Pastor Watanabe, M.Sc. David Jorge Alarcón Ataucusi como asesor, Ph.D. Sandra Del Águila Ríos y el Ing. Eduardo Pacori Quispe; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Evaluación del índice de sequía en la cuenca del río Cachi mediante los métodos estadísticos SPI y SPEI, Ayacucho-2024**, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrícola, presentado por la Bachiller **CAROL SHEYLA MEDINA HUAMAN**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

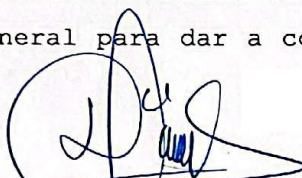
Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Jorge Edmundo Pastor Watanabe	16	15	16	16
M.Sc. David Jorge Alarcón Ataucusi	18	17	18	18
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos	17	16	17	17
Ing. Eduardo Pacori Quispe	17	17	17	17
<b>PROMEDIO GENERAL</b>				<b>17</b>

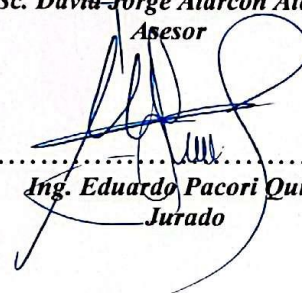
Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.

  
.....  
**Dr. Jorge Edmundo Pastor Watanabe**  
Presidente

  
.....  
**Ph.D. Sandra Del Águila Ríos**  
Jurado

  
.....  
**Mtro. Rodolfo Alca Mendoza**  
Secretario Docente

  
.....  
**M.Sc. David Jorge Alarcón Ataucusi**  
Asesor

  
.....  
**Ing. Eduardo Pacori Quispe**  
Jurado

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS  
AGRARIAS

## CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativisar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por R.D. N° 226-2025-UNSCH-FCA-D, de fecha 19 de agosto de 2025; hace constar que el trabajo titulado;

### **Evaluación del índice de sequía en la cuenca del río Cachi mediante los métodos estadísticos SPI y SPEI, Ayacucho-2024**

Autor : Carol Sheyla Medina Huaman

Asesor : David Jorge Alarcón Ataucusi

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de Tesis, aprobado mediante la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de veintiuno por ciento (**21 %**) de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

**Nota:** Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2735078859

Ayacucho, 25 de agosto de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ciencias Agrarias

Ing. Edgar Lorenzo Mancilla  
Coordinador de Control de originalidad de  
trabajo de Investigación y Tesis - FCA

# Evaluación del índice de sequía en la cuenca del río Cachi mediante los métodos estadísticos SPI y SPEI, Ayacucho-2024

*por* Carol Sheyla Medina Huaman

---

**Fecha de entrega:** 25-ago-2025 11:49a. m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2735078859

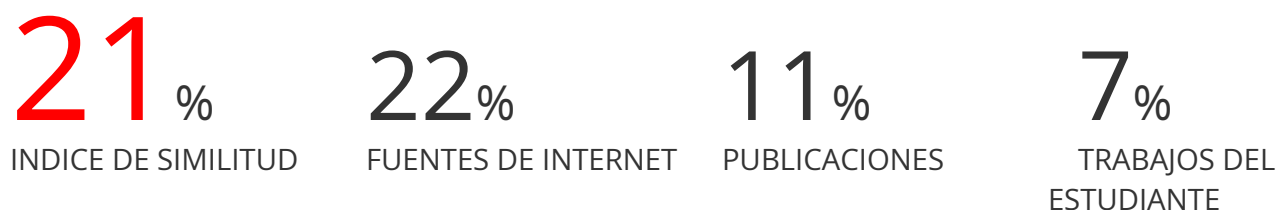
**Nombre del archivo:** TESIS\_CAROL\_MEDINA\_COMPLETO.pdf (9.19M)

**Total de palabras:** 76532

**Total de caracteres:** 264967

# Evaluación del índice de sequía en la cuenca del río Cachi mediante los métodos estadísticos SPI y SPEI, Ayacucho-2024

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	12%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
3	<a href="https://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
5	Ruperto Ortiz-Gómez, Julio C. Cardona-Díaz, Fidel A. Ortiz-Robles, Pedro Alvarado-Medellin. "Caracterización de las sequías mediante la comparación de tres índices multiescalares en Zacatecas, México", Tecnología y ciencias del agua, 2018 Publicación	1%
6	<a href="https://repositorio.untumbes.edu.pe">repositorio.untumbes.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%

7	colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
8	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
9	I. Orozco, A. I. Ramírez, F. Francés. "Modelación de los impactos del Cambio Climático sobre los flujos y almacenamientos en una cuenca de alta montaña", Ingeniería del agua, 2018 Publicación	<1 %
10	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
11	Fretelli Cristobal, Claudia Sofia. "Características de la lactancia materna en bebes de 1 a 6 meses con frenillo lingual alterado del Hospital Rosalia de Lavalle de Morales Macedo.", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2021 Publicación	<1 %
12	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante	<1 %

Submitted to uncedu

14

Trabajo del estudiante

<1 %

---

15

[repositorio.unjbg.edu.pe](http://repositorio.unjbg.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

16

[tesis.unap.edu.pe](http://tesis.unap.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

17

[eva-test.fing.edu.uy](http://eva-test.fing.edu.uy)

Fuente de Internet

<1 %

---

18

[www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

# Evaluación del índice de sequía en la cuenca del río Cachi mediante los métodos estadísticos SPI y SPEI, Ayacucho-2024

## Evaluation of the drought index in the Cachi river basin using the SPI and SPEI statistical methods, Ayacucho-2024

Carol Sheyla Medina Huaman<sup>1</sup>  
[carol.medina.21@unsch.edu.pe](mailto:carol.medina.21@unsch.edu.pe)

David Jorge Alarcón Ataucusi<sup>2</sup>  
[david.alarcon@unsch.edu.pe](mailto:david.alarcon@unsch.edu.pe)

Áreas de investigación : Medio Ambiente

Línea de investigación : Hidrología hidráulica, saneamiento, energía y cambio climático. Riego y drenaje.

### RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar el índice de sequía mediante los métodos estadísticos Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) durante el periodo de 1994-2015, y proyectar su comportamiento hasta el año 2100. Se utilizaron datos de precipitación observada de diez estaciones meteorológicas (SENAMHI y OPEMAN) y datos simulados del producto grillado RAIN4PE, complementados con series temporales adicionales para mejorar la cobertura espacial. En la primera etapa se analizaron las diferencias entre los datos observados y simulados mediante pruebas estadísticas como t-Student, F de Fisher, correlación de Pearson y el coeficiente NSE. Los resultados mostraron una alta correlación ( $R > 0.75$ ) y buen desempeño del producto RAIN4PE, validando su utilidad como fuente alternativa de datos. Luego, se caracterizó la sequía mediante el índice SPI en escala de 6 meses, identificando eventos de sequía moderados y severos, con mayor impacto en las zonas medias y bajas de la cuenca. Finalmente, el análisis del índice SPEI bajo el escenario RCP8.5 permitió proyectar el comportamiento futuro de las sequías, mostrando un incremento progresivo en frecuencia, duración e intensidad hacia finales del siglo XXI, principalmente en las zonas medias-altas. Los resultados constituyen una base sólida para la comprensión del comportamiento histórico y futuro de las sequías en la región, siendo fundamentales para la gestión eficiente de los recursos hídricos, la planificación territorial y el desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático.

### Palabras clave:

Sequía, SPI, SPEI, cambio climático, cuenca del río Cachi.

### ABSTRACT

The main objective of this research was to evaluate drought in the Cachi River Basin using the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) during the period 1994–2015, and to project its behavior up to the year 2100. Observed precipitation data from ten meteorological stations (SENAMHI and OPEMAN) were used, along with simulated data from the gridded product RAIN4PE, complemented by additional time series to improve spatial coverage. In the first stage, differences between observed and simulated data were analyzed using statistical tests such as t-Student, Fisher's F, Pearson's correlation, and the Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE). Results showed a high correlation ( $R > 0.75$ ) and good performance of RAIN4PE, validating its usefulness as an alternative data source. Subsequently, drought was characterized through the SPI at a 6-month scale, identifying moderate and severe drought events, with greater impact in the middle and lower zones of the basin. Finally, the analysis of SPEI under the RCP8.5 scenario projected a progressive increase in the frequency, duration, and intensity of droughts towards the end of the 21st century, mainly in the mid-upper areas. These results provide a solid basis for understanding both the historical and future dynamics of droughts in the region, serving as key inputs for efficient water resources management, territorial planning, and the development of climate change adaptation strategies.

### Keywords:

Drought, SPI, SPEI, climate change, Cachi River basin.

## I. INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno natural difícil de prever y controlar, ya que se desarrolla de manera gradual y, en muchos casos, no se percibe hasta que sus efectos ya son evidentes. Este evento climático puede generar grandes pérdidas económicas, afectar la producción agrícola y poner en riesgo la disponibilidad de agua para consumo humano. Diversos estudios han definido la sequía desde diferentes perspectivas; sin embargo, coinciden en describirla como un déficit prolongado de recursos hídricos que afecta tanto a la sociedad como a los ecosistemas (Marcos, 2001). A diferencia de otros fenómenos naturales, su evolución suele ser lenta y silenciosa, y sus consecuencias pueden prolongarse incluso después de haberse normalizado las condiciones hídricas (Changnon & Easterling, 1989).

En este contexto, la cuenca del río Cachi enfrenta un reto significativo, ya que la escasez hídrica podría alterar el equilibrio de sus ecosistemas y limitar la disponibilidad del recurso. Por ello, es necesario evaluar el comportamiento de la sequía en esta región, no solo para entender su dinámica histórica, sino también para mejorar la gestión del agua y planificar medidas de mitigación y adaptación. En este estudio se aplicaron dos índices estadísticos ampliamente utilizados en la evaluación de sequías: el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI). Ambos permitieron analizar la variabilidad temporal y espacial de la sequía en la cuenca y proyectar escenarios futuros considerando el impacto del cambio climático.

### Objetivo general

Evaluar el índice de sequía utilizando los métodos estadísticos SPI y SPEI durante el periodo comprendido entre 1994 y 2015 y proyectar las tendencias futuras hasta el año 2100 en la cuenca del río Cachi.

## Objetivos específicos

1. Identificar y analizar las diferencias entre los datos de precipitación observados en las estaciones meteorológicas y los datos simulados durante el período 1994-2015 en la cuenca del río Cachi.
2. Caracterizar la sequía mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), analizando su distribución espacial y temporal para una escala temporal específica en la cuenca del río Cachi.
3. Analizar el impacto del cambio climático en las características de las sequías futuras utilizando datos simulados por Modelos Climáticos Globales (GCM) mediante el Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) para escalas de tiempo corto y largo plazo en la cuenca del río Cachi.

## II. METODOLOGIA

### 2.1. Ubicación de la zona de estudio

#### 2.1.1. Ubicación política

Desde una perspectiva política, el área de estudio se localiza y comprende:

Departamento : Ayacucho (91%) y Huancavelica (9%).

Provincia : 4 provincias

Distrito : 23 distritos

Cuenca : cuenca hidrográfica del río Cachi

#### 2.1.2. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica del campo de investigación está ubicada en las coordenadas UTM WGS 84, zona 18 S – UTM:

Este : 526079.01 – 617004.49 m

Norte : 8502819.78 – 8582811.14 m

Cota : 2200 - 5200 m. s. n. m

#### 2.1.3. Ubicación hidrográfica

Según las unidades hidrográficas del Perú, la región de estudio se ubica en:

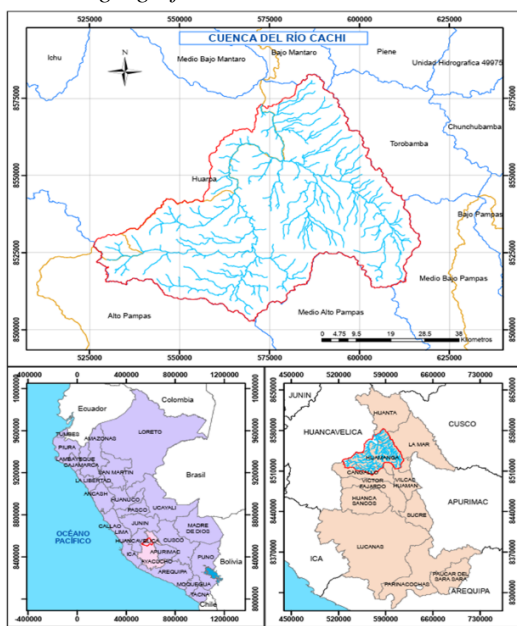
**Tabla 1**

*Ubicación hidrográfica del ámbito de estudio.*

Nivel	Nombre de la unidad hidrográfica	Código	Área (Km <sup>2</sup> )
Nivel 1	Región Hidrográfica Amazonas	4	6007483.30
Nivel 2	Cuenca Alto Amazonas	49	2240156.52
Nivel 3	Cuenca Ucayali	499	348423.44
Nivel 4	Cuenca del río Mantaro	4996	34363.18

**Figura 1**

*Ubicación geográfica del área de estudio.*



## 2.2. Materiales y equipos

### 2.2.1. Materiales

- Imágenes satelitales de ALOS PALSAR.
- Mapas del servidor GEO GPS PERÚ.
- Datos de estaciones meteorológicas (SENAMHI y OPEMAN).
- Datos de precipitación del producto RAIN4PE.
- Datos de las temperaturas máximas y mínimas del producto PISCO.
- Datos meteorológicos por Modelos Climáticos Globales.
- Materiales de escritorio.

### 2.2.2. Equipos

- Programa RStudio
- Programa ArcGIS 10.5
- Programa Hydraccess
- Programa Google Earth Pro
- Microsoft Word, Excel, etc.
- Programa Past4.03
- Laptop Core i7

## 2.3. Metodología

### 2.3.1. Delimitación del área de estudio

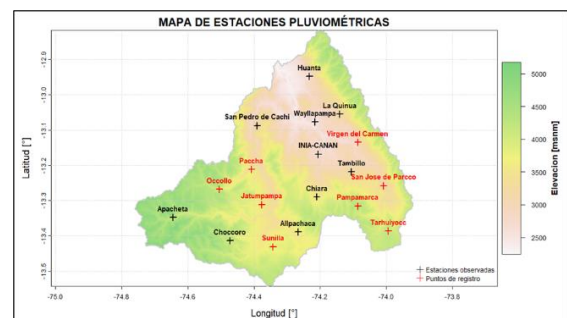
Se utilizó el Modelo Digital de Elevación (DEM) del satélite ALOS PALSAR y herramientas SIG (ArcGIS 10.5) para definir los límites de la cuenca del río Cachi. Se generaron capas de dirección y acumulación de flujo, así como parámetros geomorfológicos esenciales.

### 2.3.2. Recopilación y procesamiento de información climática

Para el análisis climático de la cuenca del río Cachi se recopiló registros de precipitación mensual (1994–2023) de SENAMHI y OPEMAN, complementados con información topográfica y geoespacial. Se utilizaron productos derivados como RAIN4PE (precipitación diaria agregada a mensual) y PISCO V1.1 (temperaturas máxima y mínima, resolución 0.1°), ambos en formato NetCDF. Asimismo, se incorporaron Modelos Climáticos Globales (1994–2100) bajo escenarios de cambio climático (CMIP5, RCP8.5), procesados en RStudio y ArcGIS, lo que permitió evaluar las variaciones espaciales y temporales del clima actual y futuro en la cuenca.

**Figura 2**

*Ubicación de estaciones meteorológicas*



### 2.3.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En esta etapa se realizó un análisis exploratorio con el objetivo de evaluar la consistencia y homogeneidad de la información climática. Este procedimiento fue fundamental para garantizar la calidad de los registros de precipitación y temperatura empleados en el análisis regional de sequías en la cuenca.

#### 2.3.3.1. Análisis exploratorio

Se empleó la técnica de diagramas de caja (Boxplot) para identificar valores atípicos en las series temporales. Según la regla de Tukey (Iglewicz & Hoaglin, 1993), los límites críticos se calculan como:

$$L_S = Q_3 + (Q_3 - Q_1) * 1.5$$

$$L_I = Q_1 - (Q_3 - Q_1) * 1.5$$

donde  $Q_1$  y  $Q_3$  corresponden al primer y tercer cuartil, respectivamente. Un valor  $x$  se considera atípico si:

$$\frac{x - Q_3}{Q_3 - Q_1} > L_S ; \frac{Q_1 - x}{Q_3 - Q_1} > L_I$$

Los valores detectados fueron contrastados con registros de estaciones adyacentes para decidir su exclusión o incorporación en análisis posteriores.

#### 2.3.3.2. Análisis de saltos

Los saltos se definen como cambios abruptos en las series hidrometeorológicas, ocasionados por factores naturales o intervenciones humanas (Villón, 2002). La identificación se realizó mediante:

- Revisión de información de campo (cambios de ubicación de estaciones o infraestructura).
- Evaluación visual de las series (precipitación vs. tiempo).
- Comparación con estaciones vecinas.

Posteriormente, la verificación estadística se efectuó mediante pruebas de hipótesis sobre la media y la varianza.

##### a. Evaluación y cuantificación

###### • Consistencia en la media

Se evaluó si las medias de dos periodos de la serie difieren estadísticamente. Para ello, se calcularon:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i ; S_1(x) = \left[ \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j ; S_2(x) = \left[ \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

El estadístico de prueba fue:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d}$$

$$S_d = S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} ; S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Si  $|t_c| \leq t_t$  (con  $\alpha=0.05$ ), las medias son estadísticamente iguales; de lo contrario, se considera la existencia de un salto.

###### • Consistencia de la desviación estándar

La homogeneidad de la dispersión se evaluó mediante la prueba F:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Donde:

Si:  $F_c \leq F_t$  (95%) entonces  $S_1(x) = S_2(x)$ , se considera que las desviaciones estándar son iguales estadísticamente.

Si:  $F_c > F_t$  (95%) entonces  $S_1(x) \neq S_2(x)$ , las desviaciones estándar son diferentes estadísticamente por lo tanto se considera a que existe salto.

###### • Corrección de los datos

Cuando las pruebas estadísticas indicaron la necesidad de ajustes, los datos fueron corregidos utilizando la siguiente transformación lineal:

$$X_{(t)} = \left[ \frac{X_t - \bar{X}_1}{S_1(x)} \right] * S_2(x) + \bar{X}_2$$

$$X_{(t)} = \left[ \frac{X_t - \bar{X}_2}{S_2(x)} \right] * S_1(x) + \bar{X}_1$$

donde  $X_t$  es el valor original y  $X_{(t)}$  el valor corregido.

#### 2.3.3.3. Estadísticas de comparación por pares

###### • Coeficiente de eficiencia

El coeficiente de eficiencia (CE), propuesto por Nash y Sutcliffe, se emplea para evaluar el ajuste de modelos hidrológicos. Su rango varía entre  $-\infty$  (ajuste deficiente) y 1 (ajuste perfecto).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

Donde:

- $n$  : Cantidad de observaciones.
- $P_i$ : Valores simulados o pronosticados.
- $O_i$ : Valores observados.

- $\bar{O}$ : Media de los valores observados.

El intervalo de interpretación es:

**Tabla 2**

Valores del coeficiente de Nash-Sutcliffe (CE).

Rango CE	Ajuste
< 0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

- **Coefficiente de correlación de Pearson (R)**

El coeficiente de correlación de Pearson cuantifica el grado de relación lineal entre dos variables, variando entre -1 y +1.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$$

La escala de interpretación es:

**Tabla 3**

Escala de correlación de Pearson

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0.9 a -0.99	Correlación negativa muy alta
-0.7 a -0.89	Correlación negativa alta
-0.4 a -0.69	Correlación negativa moderada
-0.2 a -0.39	Correlación negativa baja
-0.01 a -0.19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0.01 a 0.19	Correlación positiva muy baja
0.2 a 0.39	Correlación positiva baja
0.4 a 0.69	Correlación positiva moderada
0.7 a 0.89	Correlación positiva alta
0.9 a 0.99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

### 2.3.3.4. Reducción de escala de los datos estimados por los GCM

Los Modelos Climáticos Globales (CMIP5) presentan limitaciones de resolución para estudios locales, por lo que se aplicó el método estadístico Quantile Mapping con el fin de corregir sesgos y ajustar los cuantiles simulados a los observados, mejorando la representación de la media, la distribución y los valores extremos. El procedimiento comprendió la conversión de datos en formato NetCDF, la selección del punto de grilla más cercano a la cuenca del río Cachi, la extracción de la serie de precipitación y su posterior corrección, lo que permitió aumentar la confiabilidad de las proyecciones hidroclimáticas locales.

### 2.3.3.5. Sesgo porcentual (PBIAS)

El sesgo porcentual (PBIAS) mide la tendencia sistemática de los valores simulados respecto a los observados, siendo su valor óptimo 0. Valores negativos indican subestimación y positivos, sobreestimación. Se calcula como:

$$BIAS(\%) \text{ o } PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i}$$

Donde,  $S_i$  es la precipitación estimada por  $y$   $O_i$  la observada. Según Moriasi et al. (2007), los rangos de interpretación son:

**Tabla 4**

Rangos e interpretación del sesgo porcentual (PBIAS)

PBIAS	Interpretación modelo
$PBIAS < \pm 10$	Muy bueno
$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	Bueno
$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	Satisfactorio
$PBIAS \geq \pm 25$	Insatisfactorio

### 2.3.3.6. Formación de regiones homogéneas

La delimitación de regiones homogéneas se realizó en dos etapas. En la primera, las estaciones se agruparon considerando criterios fisiográficos (proximidad, altitud) y el método de Ward, aplicado a datos de precipitación promedio mensual (1994–2015) de 18 estaciones, con el fin de minimizar la varianza interna de los conglomerados. En la segunda etapa, se utilizó el Método del Vector Regional (MVR) mediante HYDRACCESS, que representa cada región con un vector promedio de sus estaciones, optimizando el ajuste entre series individuales y el índice regional. De acuerdo con Rau et al. (2017), la homogeneidad se valida si la desviación estándar de las diferencias respecto al VR es  $< 0.104$  y la correlación entre el VR y las estaciones es  $> 0.7$ .

### 2.3.3.7. Análisis de datos

Se utilizaron registros de precipitación de estaciones meteorológicas del SENAMHI y OPEMAN, complementados con datos de PISCO, RAIN4PE y simulaciones de Modelos Climáticos Globales (GCM). De acuerdo con Aliaga (1983), las series fueron homogenizadas mediante la detección y corrección de errores, así como el completado de datos faltantes, asegurando su consistencia para los análisis posteriores.

### 2.3.4. Estimación de los índices SPI y SPEI

Se calcularon los índices SPI (Standardized Precipitation Index) y SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) en escalas de 1, 3, 6, 9 y 12 meses.

- El SPI, basado únicamente en la precipitación, permitió identificar períodos de déficit o exceso de lluvia.
- El SPEI incorpora la Evapotranspiración Potencial (ETP), es una visión más completa de la sequía al considerar la demanda atmosférica de agua.

### 2.3.5. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP)

La ETP se calculó mediante el método de Thornthwaite, que relaciona la temperatura media mensual con el fotoperíodo. Este enfoque es útil en zonas con disponibilidad limitada de datos climáticos y constituye un insumo esencial para el cálculo del SPEI.

### 2.3.6. Validación de series de precipitación y simulaciones

Las series de precipitación observada y simulada fueron validadas mediante rutinas en R, aplicando indicadores estadísticos como:

- NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency)
- Coeficiente de correlación de Pearson (R)
- PBIAS (Sesgo porcentual)

Estas métricas permitieron cuantificar la capacidad de los datos simulados para reproducir las condiciones observadas y garantizar la robustez de las proyecciones.

### 2.3.7. Análisis e interpretación de los índices de sequía SPI y SPEI

Los resultados de SPI y SPEI se analizaron según:

- **Escalas temporales** → se identificó cuál índice representa con mayor precisión las sequías en distintos horizontes.
- **Espacio-temporalidad** → se evaluó la distribución espacial y temporal de sequías en la cuenca.
- **Escenarios futuros** → se analizaron las tendencias de sequías proyectadas por los GCM hacia el año 2100.

Se determinó que el SPEI en escalas largas refleja mejor la dinámica de sequías en la cuenca del río Cachi, aportando una base sólida para la gestión sostenible del recurso hídrico.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Caracterización del área de estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Cachi, con una superficie de 3603.48 km<sup>2</sup> y un perímetro de 358.96 km. Su altitud oscila entre 2242 y 5181 msnm, constituyendo un afluente del río Mantaro en la vertiente del Atlántico.

#### 3.1.1. Fuente de datos y periodo de estudio

El análisis se sustentó en registros de precipitación de estaciones meteorológicas del SENAMHI y OPEMAN, complementados con datos satelitales y de reanálisis: RAIN4PE (precipitación) y PISCO (temperatura máxima y mínima). La serie utilizada cubre el periodo enero de 1994 a diciembre de 2015, con resolución mensual.

#### 3.1.2. Distribución de datos en la cuenca del río Cachi

##### a. Estaciones meteorológicas

Se recopilaron registros de 10 estaciones meteorológicas distribuidas en la cuenca.

**Tabla 5**

*Posicionamiento de las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Cachi*

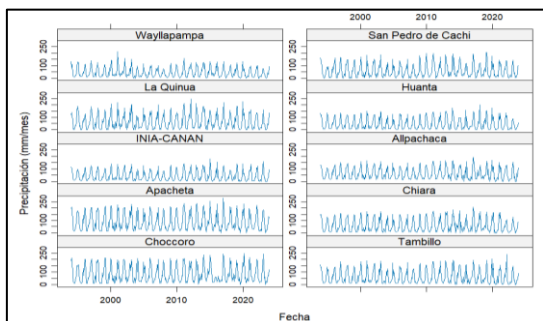
Posicionamiento de estaciones meteorológicas			
Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Wayllapampa	13° 4' 35.4"	74° 12' 59.4"	2470
San Pedro de Cachi	13° 5' 14.72"	74° 23' 26.4"	3247
La Quinoa	13° 3' 19.7"	74° 8' 29.7"	3215
Huanta	12° 56' 51"	74° 13' 59"	2627
INIA-CANAN	13° 10' 06"	74° 12' 22"	2735
Allpachaca	13°23'19"	74°16'00"	3550
Apacheta	13°20' 51"	74°38'44"	4150
Chiara	14°17'25.45"	74°12'39.64"	3400
Choccoro	13° 24' 48"	74° 28' 23"	4025
Tambillo	13° 13' 6.65"	74° 6' 22.69"	3250

##### b. Series temporales observadas

Se procedió a completar los datos pendientes utilizando técnicas de imputación y análisis de consistencia. Subsecuentemente, se originó la serie temporal de precipitaciones meteorológicas.

**Figura 3**

*Series de precipitación de las estaciones meteorológicas*



**c. Puntos de registros adicionales**

Dada la insuficiencia de la red pluviométrica para representar la variabilidad espacial, se definieron ocho estaciones virtuales o puntos de registro, ubicados estratégicamente para ampliar la cobertura y aprovechar la resolución de los datos satelitales.

**Tabla 6**

*Posicionamiento de los puntos de registro en la cuenca del río Cachi*

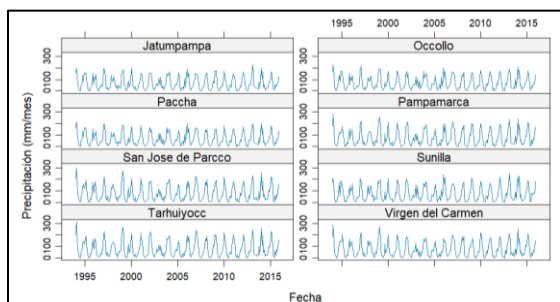
Posicionamiento de estaciones meteorológicas			
Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Jatumpampa	13°18'39.96"	74°22'38.28"	3743
Occollo	13°16'4.44"	74°30'17.64"	3862
Paccha	13°12'43.67"	74°24'29.88"	3357
Pampamarca	13°18'54.72"	74°5'10.32"	3959
San Jose de Parcco	13°15'27.72"	74°0'29.88"	3226
Sunilla	13°25' 50.27"	74°16'00"	3724
Tarhuiyocc	13°23' 11.04"	73°59'39.84"	3788
Virgen del Carmen	13°8' 6.36"	74°5'13.56"	2846

**d. Series temporales estimadas**

El producto RAIN4PE se utilizó para generar las series de precipitación en los ocho puntos de registro adicionales, cuya consistencia fue validada a partir de estudios previos.

**Figura 4**

*Series de precipitación en puntos de registro*



**3.1.3. Análisis exploratorio de datos**

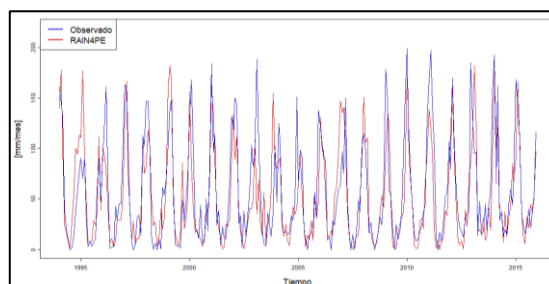
Durante el análisis exploratorio de datos, se aplicaron diagramas de caja para detectar valores atípicos en las series mensuales de precipitación. Aunque se identificaron posibles outliers en la estación pluviométrica, la comparación con estaciones cercanas confirmó que no correspondían a errores de medición. Por ello, no se descartaron registros.

**3.1.4. Validación del producto RAIN4PE**

La calidad del producto satelital RAIN4PE se evaluó mediante la comparación de series mensuales observadas y estimadas. En la estación San Pedro de Cachi, las secuencias temporales presentaron similitud en magnitud y tendencia, sin evidenciar saltos estadísticos.

**Figura 5**

*Serie temporal de precipitación observada y estimada por RAIN4PE.*



**A. Análisis de saltos en estaciones**

• **Consistencia en la media (t-Student)**

Se obtiene:  $|t_c| = 1.103066 \leq |t_t| = 1.960$  las presencias no presentan diferencias significativas.

• **Consistencia en la varianza (F de Fisher)**

$F_c = 1.17254 < F_t = 1.228$  (95%), entonces:  $S1(x) = S2(x)$ . Las desviaciones estándar son equivalentes.

**B. Estadísticas de comparación por pares**

Para la validación general se aplicaron criterios hidrológicos:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} = 0.594$$

Indica a un **ajuste bueno** entre los datos observados y estimados.

• **Coefficiente de Pearson (R)**

Se obtuvo:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} = 0.79$$

Refleja una **correlación positiva alta** entre los datos observados y simulados.

**Tabla 7**

*Resultados de validación estadística en estaciones de la cuenca*

Estación	T de Student	F de Fisher	NSE	R de Pearson
Wayllapampa	1.403	0.728	0.385	0.758
San Pedro de Cachi	1.103	1.173	0.594	0.788
La Quinua	1.021	1.224	0.578	0.776
Huanta	1.461	1.071	0.602	0.803
INIA-CANAN	3.093	0.658	0.314	0.781
Allpachaca	0.859	0.578	0.368	0.801
Apacheta	3.385	1.267	0.586	0.818
Chiara	0.046	1.014	0.600	0.799
Choccoro	1.195	1.077	0.576	0.786
Tambillo	0.887	0.875	0.550	0.795

Las pruebas estadísticas (t-Student y F de Fisher) evidenciaron que, en la mayoría de estaciones, no existen diferencias significativas entre las medias y varianzas de los datos observados y simulados. El coeficiente NSE varió entre 0.314 y 0.602, indicando un ajuste de moderado a bueno, mientras que el coeficiente de Pearson (0.758–0.818) reflejó una alta correlación temporal entre ambas series. Estos resultados confirman que RAIN4PE reproduce adecuadamente la precipitación mensual en la cuenca del río Cachi, respaldando su aplicación en estudios hidrológicos y de sequías en áreas con información limitada. En concordancia con lo reportado por Fernández et al. (2022), los hallazgos reafirman la solidez de RAIN4PE frente a otros productos satelitales, destacando su utilidad para la caracterización de eventos extremos y el análisis del cambio climático en la región.

### 3.1.5. Formación de regiones homogéneas

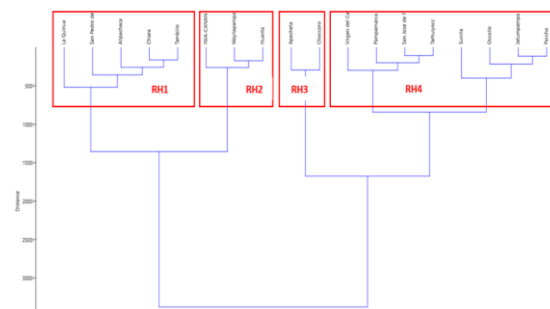
Se analizaron datos observados y estimados de precipitación (RAIN4PE) en 18 estaciones dentro de la cuenca, aplicando el Método del Vector Regional (MVR) en HYDRACCESS.

En una primera etapa, se aplicó el método de agrupación de Ward usando variables estandarizadas (precipitación media anual, altitud, latitud y longitud), se identificaron cuatro grupos preliminares:

- **Grupo 1:** La Quinua, San Pedro de Cachi, Allpachaca, Chiara, Tambillo.
- **Grupo 2:** Zona baja de la cuenca, con menor precipitación (INIA-CANAN, Wayllapampa, Huanta).
- **Grupo 3:** Estaciones de mayor altitud (Apacheta, Choccoro).
- **Grupo 4:** Estaciones restantes (Virgen del Carmen, Pampamarca, San José de Parcco, entre otras).

**Figura 6**

*Dendograma utilizando el método de Ward*



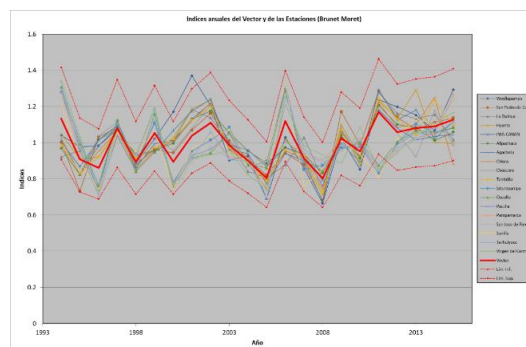
En una segunda etapa, el MVR evaluó la homogeneidad de los grupos mediante:

- Coeficiente de correlación (CC) entre estaciones y el vector regional.
- Desviación estándar de las desviaciones (DED).
- Suma de índices anuales para detectar inconsistencias.

El MVR evaluó coeficiente de correlación (CC), desviación estándar de desviaciones (DED) y la suma de índices anuales. Según Rau et al. (2017), se considera homogénea una región con  $DED < 0.104$  y  $CC > 0.7$ .

**Figura 7**

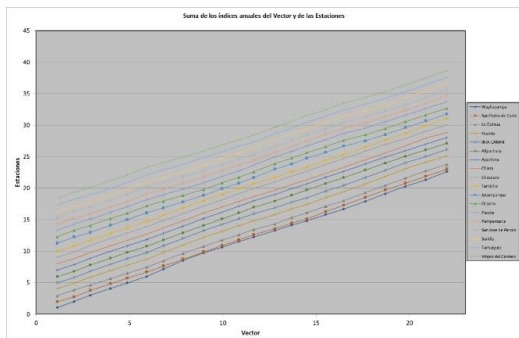
*Resultados de MVR para todas las*



La región 3 (Apacheta y Choccoro) mostró alta coherencia (DED = 0.076–0.081; CC = 0.727–0.750), confirmando su consistencia.

**Figura 8**

Suma de los índices anuales del vector y de las estaciones



Se definieron cuatro regiones homogéneas:

- **Región 1:** 5 estaciones (DED = 0.028–0.064; CC = 0.889–0.981).
- **Región 2:** 3 estaciones (DED = 0.032–0.053; CC = 0.954–0.977).
- **Región 3:** 2 estaciones (DED = 0.076–0.081; CC = 0.727–0.750).
- **Región 4:** 8 estaciones (DED = 0.035–0.064; CC = 0.916–0.972).

Como parte del análisis con el **Método del Vector Regional (MVR)**, se evaluaron los gráficos agregados de los índices anuales para el vector y cada estación:

- **Región 1:** No se evidencian cambios significativos de pendiente, lo que indica adecuada consistencia en la información registrada por las estaciones, descartando la necesidad de correcciones.
- **Región 2:** Las gráficas no presentan quiebres abruptos, lo que confirma la coherencia de los datos y respalda la validez de la agrupación.
- **Región 4:** Tampoco se observaron variaciones bruscas en las pendientes, demostrando consistencia y confiabilidad en la información, sin requerir ajustes adicionales.

### 3.1.6. Resultados del análisis de los indicadores de sequía en diferentes escalas temporales

Se aplicaron los índices SPI y SPEI en escalas de 1, 3, 6, 9 y 12 meses, utilizando datos de

1994–2015 para la cuenca del río Cachi, dividida en cuatro regiones homogéneas.

- **Escalas cortas (1–6 meses):** útiles para identificar sequías agrícolas, ya que el suelo responde rápidamente a anomalías de precipitación.
- **Escalas largas (9–12 meses):** reflejan mejor las sequías hidrológicas, vinculadas a caudales, embalses y aguas subterráneas.

#### 3.1.6.1. Análisis con el SPI

En escalas cortas (SPI-1 y SPI-3) el índice fluctúa alrededor de cero, mostrando alta variabilidad mensual. En escalas intermedias (SPI-6 y SPI-9) se observan señales claras de sequías agrícolas. El SPI-12 permitió identificar sequías multianuales:

- **Región 2 (seca):** evento más prolongado (20 meses, intensidad -2.29, severidad -30.61 en 2008–2009).
- **Región 3 (húmeda):** sequía severa de 19 meses (intensidad -2.31, severidad -29.92 en 2008–2009).
- **Región 4:** la más intensa a corto plazo (SPI-1 = -3.75 en 2000).
- **Región 1:** presentó sequías moderadas en comparación.

**Tabla 8**

Sequía SPI más severas del periodo 1994-2015

Región	SPI-escala	Duración (meses)	Intensidad	Severidad	Inicio	Fin
Región 1	SPI-1	2	-1.88	-2.99	01/03/2008	01/04/2008
	SPI-3	5	-1.93	-8.66	01/11/2003	01/03/2004
	SPI-6	6	-2.23	-11.55	01/01/2004	01/06/2004
	SPI-9	9	-2.19	-15.89	01/01/2004	01/09/2004
	SPI-12	12	-1.99	-16.28	01/04/2008	01/03/2009
Región 2	SPI-1	3	-1.96	-5.05	01/01/2005	01/03/2005
	SPI-3	6	-2.14	-9.61	01/08/2008	01/01/2009
	SPI-6	11	-2.07	-18.04	01/03/2008	01/01/2009
	SPI-9	17	-2.54	-26.17	01/03/2008	01/07/2009
Región 3	SPI-12	20	-2.29	-30.61	01/03/2008	01/10/2009
	SPI-1	2	-2.28	-3.38	01/03/2008	01/04/2008
	SPI-3	4	-2.09	-6.33	01/06/1998	01/09/1998
	SPI-6	7	-2.03	-10.72	01/11/2008	01/05/2009
	SPI-9	14	-2.37	-22.28	01/07/2008	01/08/2009
Región 4	SPI-12	19	-2.31	-29.92	01/04/2008	01/10/2009
	SPI-1	3	-3.75	-6.78	01/02/2000	01/04/2000
	SPI-3	4	-2.78	-9.85	01/01/2003	01/04/2003
	SPI-6	6	-2.83	-13.83	01/02/2003	01/07/2003
	SPI-9	8	-2.33	-16.09	01/02/2003	01/09/2003
	SPI-12	12	-1.93	-18.57	01/01/2005	01/12/2005

#### 3.1.6.2. Análisis con el SPEI

El SPEI, que incorpora temperatura y evapotranspiración, reflejó sequías más severas y prolongadas que el SPI.

- **Región 2:** evento más grave en SPEI-12, con 20 meses de duración (2008–2009), severidad -28.27.

- **Región 3:** sequía de 16 meses (2008–2009), severidad -24.40, además de eventos severos en 1994–1995.
- **Región 1 y 4:** registraron sequías moderadas, aunque en 2005 y 2011 se presentaron episodios significativos.

La coincidencia de sequías prolongadas en las regiones 2 y 3 durante 2008–2009 confirma una señal regional clara de escasez hídrica.

**Tabla 9**

*Sequía SPEI más severas del periodo 1994-2015*

Región	SPEI-escala	Duración (meses)	Intensidad	Severidad	Inicio	Fin
Región 1	SPEI-1	3	-1.53	-3.80	01/05/1997	01/07/1997
	SPEI-3	5	-1.95	-8.43	01/11/2003	01/03/2004
	SPEI-6	6	-2.06	-10.90	01/01/2004	01/06/2004
	SPEI-9	9	-2.11	-14.89	01/01/2004	01/09/2004
	SPEI-12	16	-1.76	-20.02	01/07/2008	01/10/2009
Región 2	SPEI-1	4	-1.65	-5.48	01/01/2005	01/04/2005
	SPEI-3	6	-1.83	-8.46	01/08/2008	01/01/2009
	SPEI-6	7	-2.05	-10.61	01/03/2005	01/09/2005
	SPEI-9	17	-1.76	-23.40	01/03/2008	01/07/2009
	SPEI-12	20	-1.91	-28.27	01/03/2008	01/10/2009
Región 3	SPEI-1	5	-2.17	-9.80	01/05/1994	01/09/1994
	SPEI-3	6	-2.67	-11.38	01/06/1994	01/11/1994
	SPEI-6	8	-2.82	-13.44	01/08/1994	01/03/1995
	SPEI-9	14	-1.86	-20.30	01/07/2008	01/08/2009
	SPEI-12	16	-1.85	-24.40	01/07/2008	01/10/2009
Región 4	SPEI-1	3	-2.14	-5.02	01/02/2000	01/04/2000
	SPEI-3	6	-1.67	-7.91	01/05/2011	01/10/2011
	SPEI-6	6	-2.18	-10.73	01/02/2003	01/07/2003
	SPEI-9	9	-1.72	-14.05	01/01/2005	01/09/2005
	SPEI-12	12	-1.87	-17.52	01/01/2005	01/12/2005

### 3.1.6.3. Correlación y selección de la escala óptima

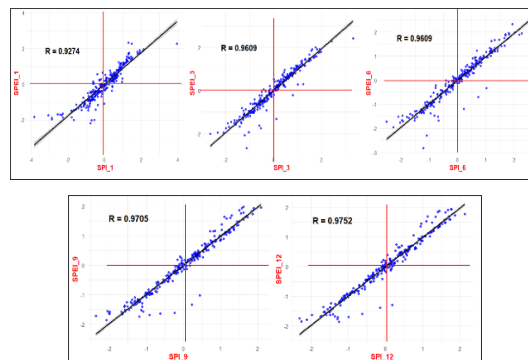
Se aplicó un análisis de correlación de Pearson entre los índices de sequía SPI y SPEI en escalas de 1, 3, 6, 9 y 12 meses para la región 3 de la cuenca del río Cachi (estaciones Apacheta y Choccoro). Los resultados mostraron que la asociación entre escalas aumenta con la longitud de la ventana: en el SPI, las correlaciones fueron de 0.82 (SPI-6 vs. SPI-9) y 0.88 (SPI-9 vs. SPI-12); en el SPEI, de 0.86 y 0.90, respectivamente. La correlación cruzada entre ambos índices superó 0.92 en todas las escalas, reflejando una fuerte coherencia en la representación de sequías.

La comparación evidenció que el SPI subestima la intensidad respecto al SPEI, dado que este último incluye el efecto combinado de precipitación y temperatura. En base a los resultados, se determinó que la escala de 6 meses es la más adecuada para el análisis, por su alta correlación con otras escalas, su capacidad de representar la humedad del suelo y su pertinencia en la evaluación de sequías

estacionales, en concordancia con las recomendaciones de la OMM y la NOAA.

**Figura 9**

*Coefficiente de correlación entre los índices de sequía SPI y SPEI diversas escalas temporales*



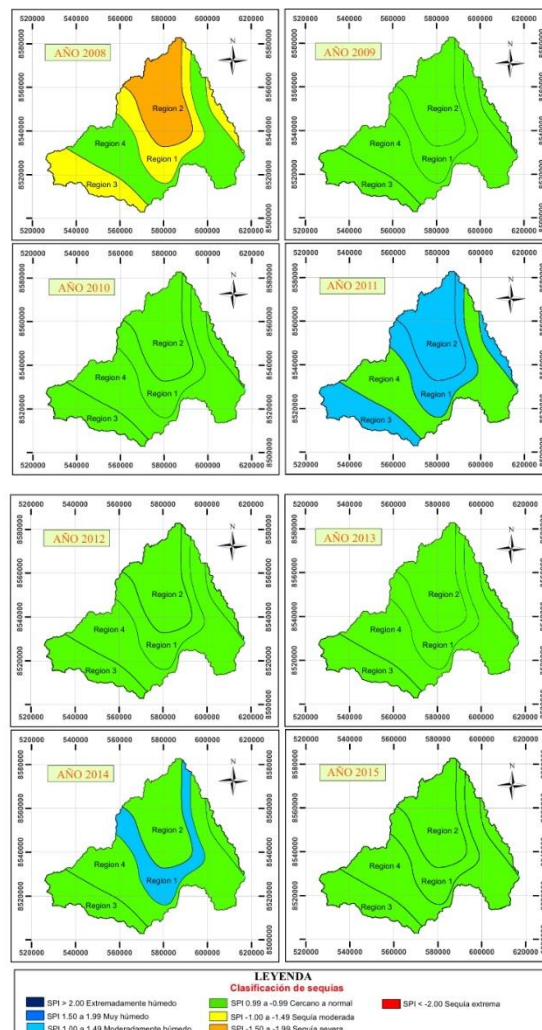
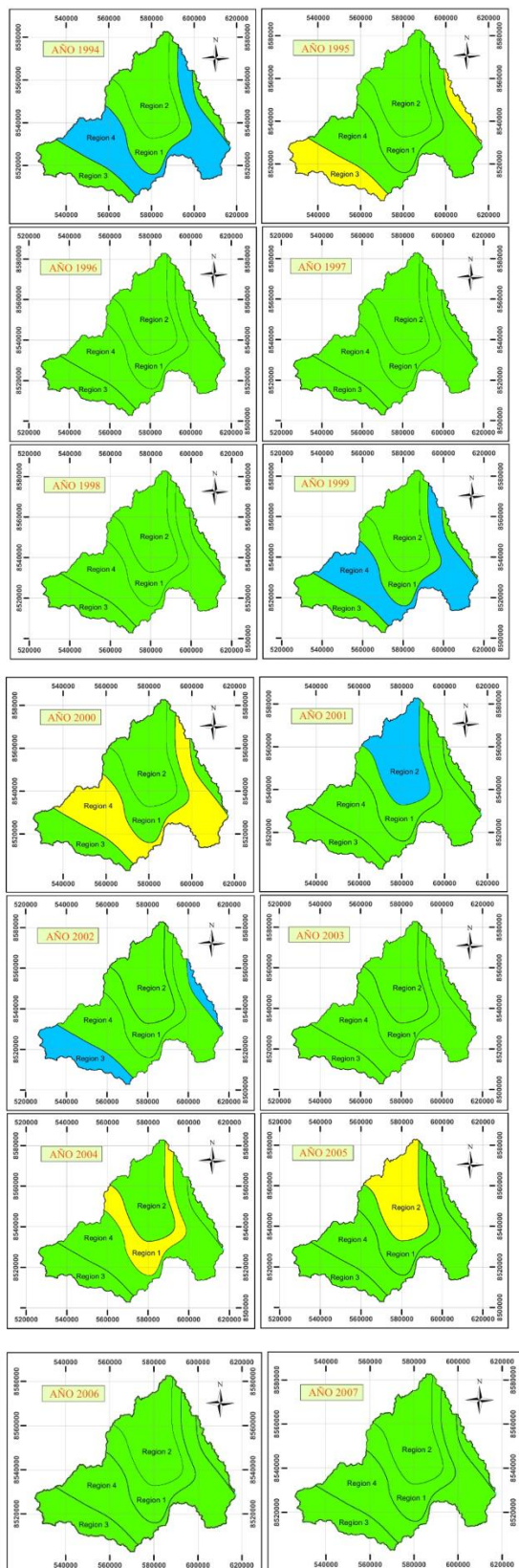
### 3.1.6.4. Análisis de la distribución espacial y temporal de las sequías con el SPI-6

En la Figura 18 se presentan los promedios anuales de la evolución temporal y la distribución espacial de las sequías en la cuenca del río Cachi, calculados con el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI-6) para el periodo 1994–2015. Los resultados muestran que el año 2008 fue el más crítico, con valores negativos en tres de las cuatro regiones homogéneas; en particular, la región 2 registró un valor de -1.50, evidenciando un déficit hídrico severo, mientras que la región 3 presentó condiciones de sequía moderada. De forma complementaria, en los años 2004 y 2005 también se identificaron eventos significativos, especialmente en el sector centro-sur de la cuenca, con efectos sobre la disponibilidad de agua para riego.

Estos hallazgos se corroboran con fuentes externas. El Monitor de Sequías del ONS-ANA reportó valores negativos del SPI-6 en gran parte del sur del país durante 2008, incluyendo la cuenca del río Cachi. Asimismo, las imágenes mensuales del SPI-6 disponibles en dicho portal confirman la ocurrencia de sequías moderadas a severas en esta región.

**Figura 10**

*Características de las sequías a lo largo de un marco temporal de seis meses anuales*



Estos resultados refuerzan la idea de que la cuenca del río Cachi es altamente vulnerable a la ocurrencia recurrente de sequías, incluso de intensidad moderada, las cuales podrían intensificarse bajo escenarios futuros de cambio climático. Esto coincide con estudios previos como el de Chaulagain et al. (2023), quienes reportaron una mayor frecuencia de eventos secos en zonas intermedias, influenciados por factores altitudinales y de cobertura vegetal.

### 3.1.6.5. Evaluación de la consistencia

Se utilizó el modelo CESM1-BGC bajo el escenario RCP8.5, considerado por el IPCC (2013) como el más pesimista, para proyectar la evolución climática de la cuenca del río Cachi. Los datos generados abarcan el periodo 1994–2100, incluyendo precipitación y temperaturas máximas y mínimas.

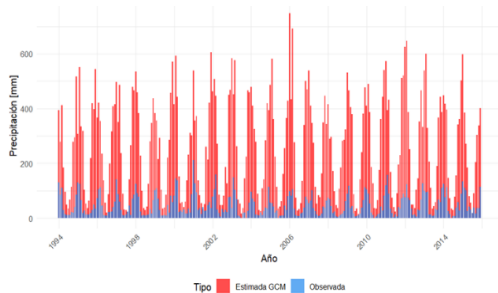
### Reducción de escala

Los GCM presentan sesgos por su baja resolución espacial, lo que genera sobrestimaciones o subestimaciones frente a los

valores observados. Para corregir este problema, se aplicó el método de Quantile Mapping, ajustando las proyecciones a los registros locales de la estación Wayllapampa. La Figura 21 evidencia que, sin corrección, las precipitaciones simuladas sobrestiman los valores observados, lo que confirma la necesidad de la reducción de escala.

### Figura 11

*Coefficiente de correlación entre los índices de sequía SPI y SPEI diversas escalas temporales*



Para verificar la validez de las series ajustadas se aplicó la estadística PBIAS, obteniéndose un valor de -5.36%, lo que se clasifica como “muy bueno” ( $PBIAS \leq \pm 10\%$ ). Esto confirma que los datos corregidos son consistentes con los observados

Asimismo, las series temporales de temperatura máxima y mínima corregidas presentaron un patrón muy similar al de los registros observados, lo que respalda la confiabilidad de la corrección aplicada.

### Análisis de consistencia

#### A. Consistencia en la media

Se compararon los datos observados y simulados en la estación Wayllapampa mediante la prueba t-Student.

Resultando:  $t_c = -0.019 \leq t_t = 1.960$  (95% de confianza).

Las medias son estadísticamente equivalentes, lo que confirma la coherencia entre los datos observados y simulados.

#### B. Consistencia en la desviación estándar

Se aplicó la prueba F de Fisher para comparar las varianzas:

Varianza observada:  $S_1^2 = 1574.539S12$

Varianza simulada:  $S_2^2 = 1594.563S22$

Resultando:  $F_c = 1.0127 < F_t = 1.225$  (95%).

Las desviaciones estándar son estadísticamente equivalentes; los datos no requieren corrección.

### C. Estadísticas de comparación por pares

- Coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE):  
 $NSE = 0.4379 \rightarrow$  Ajuste bueno (valores  $> 0.4$  se consideran aceptables).
- Coeficiente de correlación de Pearson (R):  
 $R = 0.7207 \rightarrow$  Correlación positiva alta entre datos observados y simulados.

### Alteraciones previstas en las características de la sequía vinculadas al cambio climático

El cambio climático incrementará la frecuencia, duración e intensidad de las sequías, con implicaciones directas en la seguridad hídrica y la gestión agrícola. Para evaluar estas alteraciones se aplicó el Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) en escalas de 3 meses (SPEI-3) y 12 meses (SPEI-12), a partir de proyecciones del modelo CESM1-BGC bajo el escenario RCP8.5 para el periodo 1994–2100. El SPEI-3 permitió caracterizar sequías agrícolas de corto plazo, mientras que el SPEI-12 reflejó impactos de largo plazo sobre embalses, caudales y aguas subterráneas.

### Cambios proyectados en las características de las sequías del periodo 2020 – 2100

#### a. Sequías a corto plazo (SPEI-3)

Las proyecciones indican que las sequías de corta duración se intensificarán en frecuencia y severidad a lo largo del siglo XXI.

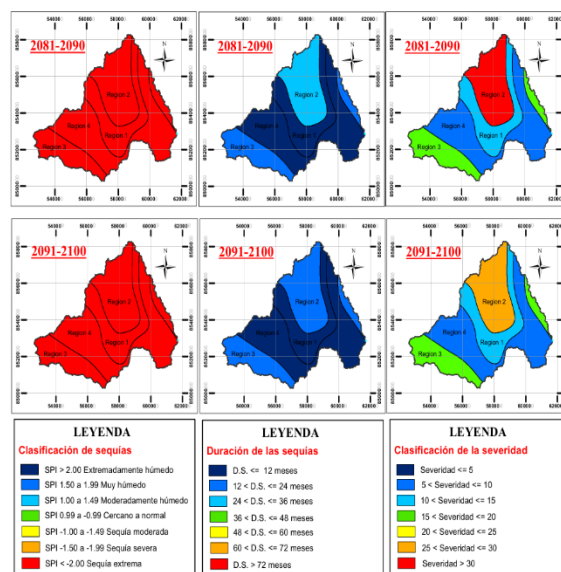
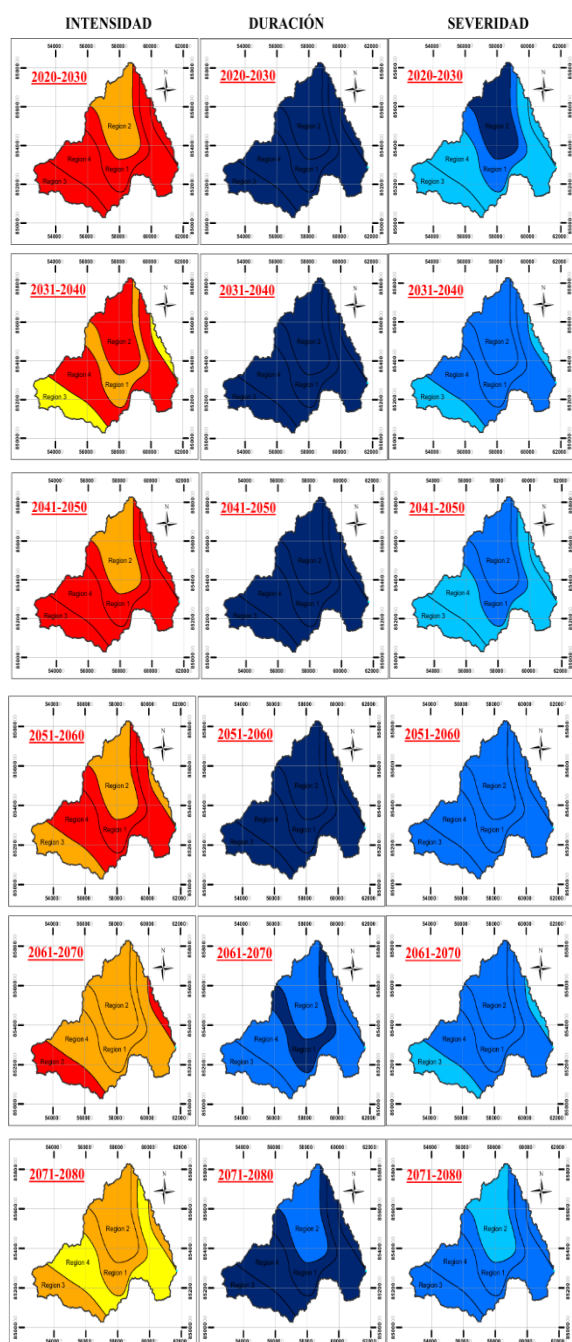
- **2020–2030:** primeras señales de sequías extremas en la región 3 (-2.0) y región 4. La región 2 muestra eventos intermitentes.
- **2031–2040:** la región 1 presenta sequía muy seca (-1.97), mientras que la región 4 alcanza condiciones extremas.
- **2041–2050:** sequía extrema en región 3 (-2.17) y región 1 (-2.11). La región 2 modera su intensidad.
- **2051–2060:** región 1 y 4 permanecen en condición extremadamente seca, aunque la región 3 reduce su severidad.
- **2061–2070:** la región 2 incrementa duración de sequías, mientras la región 3 retoma alta

severidad.

- **2071–2080:** sequías persistentes con severidad en región 2 (-1.60).
- **2081–2090:** región 2 registra el evento más crítico, con duración mayor a 30 meses y severidad extrema.
- **2091–2100:** persisten sequías intensas, con la región 2 experimentando un evento prolongado de 22 meses.

**Figura 12**

*Características proyectadas de las sequías de corto plazo (SPEI-3)*



### b. Sequías a largo plazo (SPEI-12)

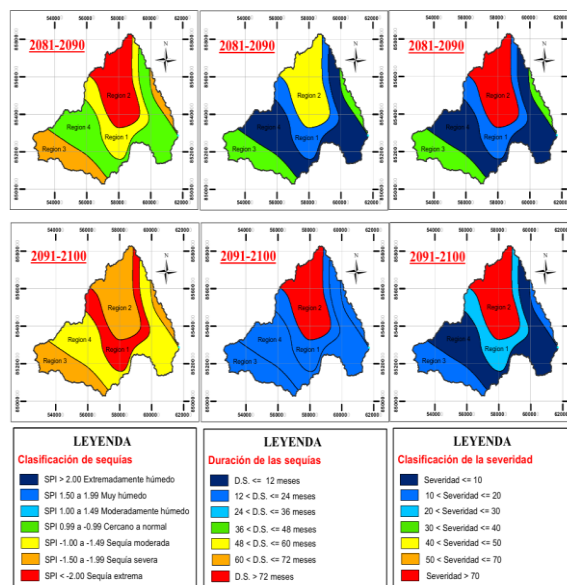
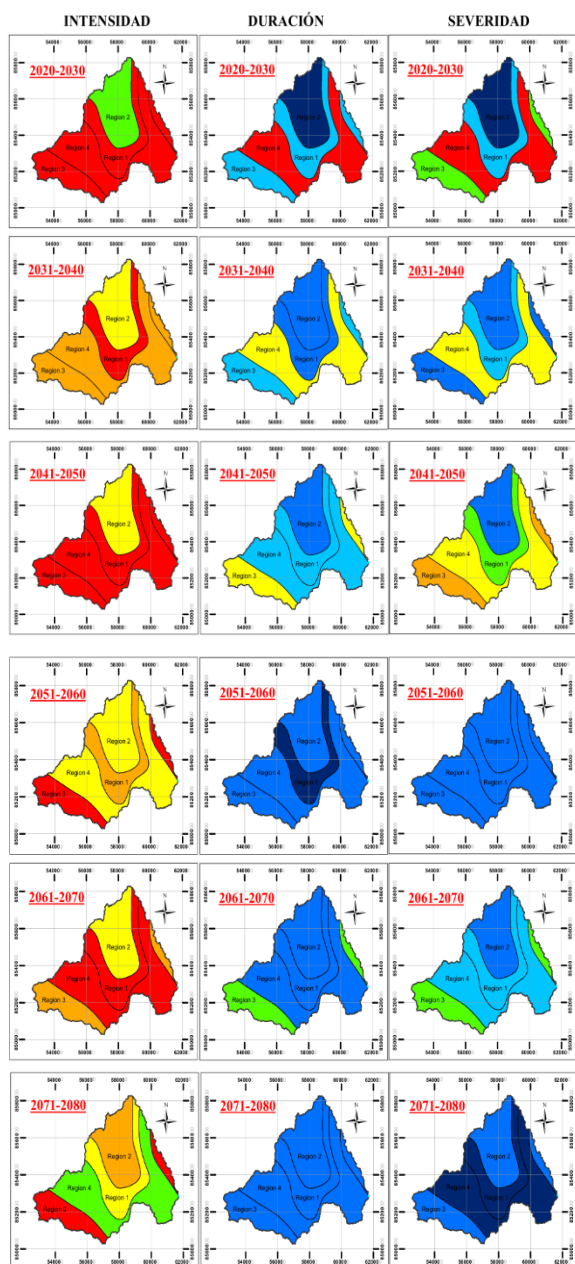
El análisis del SPEI-12 bajo el escenario RCP8.5 muestra que las sequías a largo plazo se intensificarán en duración y severidad a lo largo del siglo XXI, con variaciones según regiones homogéneas.

- **2020–2030.** Todas las regiones presentan indicios de sequías intensas, destacando la región 3 (-2.44) y la región 4 (-2.20) en condición extremadamente seca, mientras la región 2 apenas inicia procesos secos.
- **2031–2040.** La región 1 mantiene condiciones extremas con eventos de hasta 24 meses, mientras las regiones 3 y 4 se ubican en categoría muy seca. La región 2 empieza a mostrar sequías moderadas de 12 a 24 meses.
- **2041–2050.** Se alcanza un punto crítico: las regiones 1 y 3 registran valores < -2.20 (extremadamente secas), con un evento de hasta 60 meses en la región 3. Las regiones 2 y 4 presentan sequías entre moderadas y extremas.
- **2051–2060.** La región 3 continúa en categoría extrema y la región 1 reduce levemente su intensidad. Las regiones 2 y 4 se mantienen en condición moderada con eventos de 12 a 24 meses.
- **2061–2070.** Las regiones 1 y 4 vuelven a caer por debajo de -2.20 (extremas). La región 3 se mantiene muy seca y la región 2 conserva sequías moderadas.

- **2071–2080.** La región 2 presenta la sequía más prolongada del análisis, alcanzando -2.43 con hasta 60 meses de duración. La región 1 se mantiene en nivel moderado, mientras que las regiones 3 y 4 fluctúan entre muy secas y cercanas a lo normal.
- **2091–2100.** Se proyectan condiciones extremas; la región 1 alcanza la sequía más severa (-2.46) con 24 meses, la región 2 registra el evento más prolongado (>70 meses), mientras que las regiones 3 y 4 presentan sequías persistentes de categorías muy secas y moderadas.

**Figura 13**

*Características proyectadas de las sequías de largo plazo (SPEI-12)*



El análisis del SPEI-3 y SPEI-12 proyecta para la cuenca del río Cachi un incremento en la frecuencia, severidad y duración de las sequías a lo largo del siglo XXI, con eventos extremos (< -2.0) y prolongados (> 60 meses), lo que representa un riesgo para la seguridad hídrica, agrícola y pecuaria.

Estas proyecciones se explican por el aumento de la temperatura media y la mayor evapotranspiración potencial, factores que intensifican tanto las sequías agrícolas (SPEI-3) como las hidrológicas (SPEI-12). Resultados similares han sido reportados en el valle del Mantaro (Ruedas et al., 2023), confirmando una tendencia regional hacia condiciones más áridas bajo el escenario RCP8.5.

En este contexto, la gestión de los recursos hídricos deberá priorizar medidas como el desarrollo de infraestructuras de almacenamiento, la implementación de riego tecnificado y la promoción del uso eficiente del agua, considerando además el impacto del crecimiento poblacional sobre la disponibilidad del recurso.

#### IV. CONCLUSIONES

1. El producto grillado RAIN4PE mostró alta correlación con los datos observados ( $R = 0.758-0.818$ ) y un desempeño aceptable en la simulación de precipitaciones ( $NSE = 0.314-0.602$ ), validando su aplicación como fuente alterna de información climática en ausencia de registros observados.

2. La caracterización de sequías mediante el SPI a 6 meses puso en evidencia eventos moderados y severos, principalmente en las zonas medias y bajas de la cuenca, destacando la influencia de la altitud y el régimen de precipitaciones.
3. El análisis del SPEI bajo escenarios de cambio climático proyectó una tendencia creciente en frecuencia, duración y severidad hacia finales del siglo XXI. A corto plazo (SPEI-3) prevé un aumento en la recurrencia de sequías agrícolas de corta duración, mientras que a largo plazo (SPEI-12) se anticipan eventos prolongados y extremos, propios de sequías hidrológicas.

## V. REFERENCIAS

- Aliaga, V. (1983). *Hidrología estadística*. En McGrawill (McGrawill).
- Changnon, S. A., & Easterling, W. E. (1989). *Measuring drought impacts: the Illinois case*. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 25(1), 27–42. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1989.tb05663.x>.
- Chaulagain, D., Aroca, O. F. M., Same, N. N., Yakub, A. O., Nsafon, B. E. K., Suh, D., Triolo, J. M., & Huh, J.-S. (2023). *Extreme dry and wet events in the Pacific region of Colombia estimated in the 21st century based on the Standardized Precipitation Index and CORDEX climate projections*. Atmosphere, 14(2), 260. <https://doi.org/10.3390/atmos14020260>
- Fernandez, C., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lobanova, A., Vega, F., Lavado, W., Santini, W., Aybar, C., & Bronstert, A. (2022). *A Novel High-Resolution Gridded Precipitation Dataset for Peruvian and Ecuadorian Watersheds: Development and Hydrological Evaluation*. 309–336. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0285.1>.
- Iglewicz, B., & Hoaglin, D. (1993). *How to detect and handle outliers* (Vol. 16).
- Marcos, Ó. (2001a). *Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación*. Investigaciones Geográficas, 26, 59–80. <https://doi.org/https://doi.org/10.14198/INGEO2001.26.06>.
- Moriasi, D., Arnold, J., Liew, M., Bingner, R., Harmel, R., & Veith, T. (2007). *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. En Transactions of the ASABE (Vol. 50, Número 3).
- Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Melo, P., Dewitte, B., Frappart, F., Lavado, W., & Felipe, O. (2017). *Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast*. International Journal of Climatology, 37(1), 143–158. <https://doi.org/10.1002/JOC.4693>.
- Ruedas, D. P. R. A., Popli, K., Guerra, L. S., & Madaki, S. G. (2023). *Spatio-temporal drought assessment using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) over Mantaro Valley, Peru*. Revista de Investigaciones Altoandinas, 25(3). <https://doi.org/10.18271/ria.2023.525>.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). *A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index*. Journal of Climate, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
- Villón, M. (2002). *Hidrología* (Segunda Edición).