

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**USO DE SPI, SPEI Y VCI PARA CARACTERIZAR SEQUÍAS  
HISTÓRICAS Y SUS PROYECCIONES FUTURAS EN  
CANDARAVE, TACNA**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. Raúl Vicente Huarahuara Toma**

**Bach. Arlette Ninoska Silva Borda**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**TACNA – PERÚ**

**2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“USO DE SPI, SPEI Y VCI PARA CARACTERIZAR SEQUÍAS HISTÓRICAS Y  
SUS PROYECCIONES FUTURAS EN CANDARAVE, TACNA”

Tesis sustentada y aprobada el día 20 de diciembre de 2024 estando integrado  
el Jurado Calificador por:

PRESIDENTE

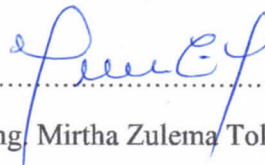
:



Dr. Ing. Victor Yapuchura Platero

SECRETARIO

:



Mgs. Ing. Mirtha Zulema Toledo Rosales

VOCAL

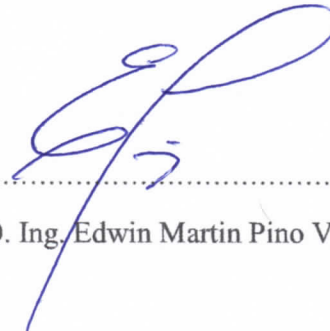
:



Mgs. Ing. Julia Cleila Laura Quispe

ASESOR DE TESIS

:



Ph.D. Ing. Edwin Martin Pino Vargas


## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Ph.D. Ing. Edwin Martin Pino Vargas**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N°804-2023-FIAG/UNJBG de la tesis denominada : “ **USO DE SPI, SPEI Y VCI PARA CARACTERIZAR SEQUÍAS HISTÓRICAS Y SUS PROYECCIONES FUTURAS EN CANDARAVE, TACNA**“ presentado por el Bachiller Raúl Vicente Huarahuara Toma y Bachiller Arlette Ninoska Silva Borda , para optar el título profesional de Ingeniero Civil, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual , considerando que según la revisión, evaluación de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión , evaluación y análisis realizado a través del software Antiplagio **TURNITIN** cuenta con el nivel de similitud cuyo porcentaje es 5%, por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis , la cual está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivo para su obtención de título profesional



Firma de Asesor  
DNI N°: 00486621



Raúl V. Huarahuara Toma



Arlette N. Silva Borda

Nombre y Apellido del Asesor: Ph.D. Ing. Edwin Martin Pino Vargas

ORCID 0000-0001-7432-4364

## **DEDICATORIA**

A Dios, mis padres, hermano y los docentes que me apoyaron durante mi formación personal y académica, también a los ingenieros que me ayudaron a sobresalir y explorar más, sobre la carrera de ingeniería civil en el ámbito laboral.

**Bach. Raúl Vicente Huarahuara Toma**

Dedicado a Dios, a mi familia, por su apoyo incondicional y a las personas que me han brindado su cariño y apoyo en este camino.

**Bach. Arlette Ninoska Silva Borda**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por forjarnos como profesionales.

A nuestras familias por su apoyo incondicional.

A la Msc. Ing. Ana Cruz Baltuano, por su invaluable respaldo tanto técnico como emocional, por su dedicación y generoso apoyo continuo en la búsqueda de mejorar el producto durante el desarrollo de esta investigación.

Al Ph.D Ing. Edwin Martin Pino Vargas , asesor de la presente tesis por su inmensa labor en todo el tiempo de asesoramiento , para lograr grandes resultados.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xxi
RESUMEN.....	xxvi
ABSTRACT.....	xxvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.1 Identificación del problema.....	5
1.2 Formulación del problema .....	9
1.2.1 Problema principal .....	9
1.2.2 Problemas específicos .....	9

1.3 Justificación del problema.....	10
1.3.1 Justificación teórica.....	10
1.3.2 Justificación social .....	10
1.3.3 Justificación práctica .....	10
1.4 Importancia de la investigación.....	11
1.5 Definición de los objetivos.....	11
1.5.1 Objetivo general .....	11
1.5.2 Objetivos específicos.....	12
1.6 Formulación de la hipótesis.....	12
1.6.1 Hipótesis general .....	12
1.6.2 Hipótesis específicas .....	12
1.7 Variables.....	13
1.7.1 Caracterización de variables.....	13
1.8 Alcances y limitaciones.....	14
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	15

2.1 Antecedentes .....	15
2.1.1 Antecedentes internacionales .....	15
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	21
2.1.3 Antecedentes locales .....	27
2.2 Bases teóricas .....	30
2.2.1 Análisis de calidad de la data observada .....	30
2.2.1.1 Test de tendencia .....	30
2.2.1.1.1 Prueba Mann – Kendall .....	30
2.2.1.1.2 Correlación de Pearson .....	32
2.2.1.1.3 Regresión lineal simple .....	32
2.2.1.2 Test de homogeneidad y consistencia .....	33
2.2.1.2.1 Análisis de doble masa .....	33
2.2.1.2.2 Método de Pettitt .....	35
2.2.1.3 Completación y extensión de datos .....	36
2.2.1.3.1 Software Climatol .....	36

2.2.2 Indicadores de sequía .....	37
2.2.2.1 Índice de precipitación estandarizada (SPI) .....	37
2.2.2.2 Índice de precipitación y evapotranspiración estandarizada (SPEI) .....	42
2.2.2.3 Índice de condición vegetativa (VCI) .....	45
2.2.3 Proyecciones futuras considerando cambio climático .....	48
2.2.3.1 Proyecto de intercomparación de modelos acoplados fase 6 (CMIP6).....	48
2.2.3.2 Trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP).....	49
2.2.3.3 Conjunto de datos de proyección climática de alta resolución basado en CMIP6 para Perú y Ecuador: BASD-CMIP6-PE .....	51
2.3 Definición de términos .....	54
<b>CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>57</b>
3.1 Ámbito de estudio .....	57
3.1.1 Ubicación política .....	57
3.1.2 Ubicación geográfica.....	58
3.2 Tipo y diseño de investigación.....	58

3.2.1 Tipo de investigación .....	58
3.2.2 Diseño de investigación .....	58
3.3 Unidad de análisis .....	59
3.4 Población y/o muestra de estudio.....	59
3.4.1 Población.....	59
3.4.2 Muestra.....	59
3.4.2.1 Características hidrometeorológicas de Candarave.....	59
3.4.2.1.1 Temperatura.....	59
3.4.2.1.2 Precipitación.....	60
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	62
3.5.1 Técnicas de recolección de datos .....	62
3.5.2 Instrumentos de recolección de datos.....	63
3.5.2.1 Obtención de data meteorológica.....	63
3.5.2.2 Recopilación de datos climáticos históricos.....	63
3.5.2.3 Modelos climáticos y proyecciones futuras .....	64

3.5.2.4 Imágenes satelitales.....	64
3.5.2.5 Revisión de documentación histórica.....	64
3.5.3 Técnicas de análisis e interpretación de la información.....	64
3.5.3.1 Comparación con datos observacionales.....	65
3.5.3.2 Análisis de proyecciones futuras.....	65
3.5.3.3 Presentación gráfica de resultados .....	65
3.5.4 Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas ..	65
3.6 Materiales e instrumentos.....	66
3.6.1 Información geográfica .....	66
3.6.2 Información meteorológica de precipitación.....	68
3.6.3 Información meteorológica de temperatura .....	69
3.6.4 Instrumentos.....	69
3.7 Tratamiento y análisis de datos .....	69
3.7.1 Flujo de trabajo.....	70
3.7.2 Sintetización de métodos.....	71

3.7.3 Análisis de consistencia de la información .....	73
3.7.3.1 Análisis de doble masa .....	73
3.7.4 CMIP6 downscaled y ajustado por sesgo .....	76
3.7.5 Multi model ensemble .....	76
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS .....</b>	<b>78</b>
4.1 Calidad de la data meteorológica disponible para el uso de los índices de sequía.....	78
4.2 Caracterización de las sequías históricas (1980 – 2022).....	81
4.2.1 Resultados del SPI.....	81
4.2.2 Resultados del SPEI .....	101
4.2.3 Resultados del VCI.....	122
4.3 Caracterización de las sequías futuras utilizando el modelo climático (CMIP6) y el escenario Climático SSP3-7.0.....	135
<b>CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>154</b>
5.1 Calidad de la data meteorológica disponible para el uso de los índices de sequía.....	154

5.2 Caracterización de las sequías históricas utilizando el SPI, SPEI y VCI (1980 – 2022).....	155
5.2.1 Caracterización histórica aplicando el SPI escala 3, 6 y 9 meses .....	155
5.2.2 Caracterización histórica aplicando el SPEI escala 3, 6 y 9 meses.....	158
5.2.3 Caracterización de sequías aplicando el VCI escala 1 mes.....	162
5.3 Caracterización de las sequías futuras utilizando el modelo climático (CMIP6) y el escenario climático SSP3-7.0.....	166
CONCLUSIONES .....	177
RECOMENDACIONES .....	179
BIBLIOGRAFÍA .....	181
ANEXOS .....	194

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Análisis de doble masa .....	34
<b>Figura 2</b> Escenarios de las SSP: Cinco desafíos socioeconómicos en mitigación y adaptación .....	50
<b>Figura 3</b> Flujo de trabajo para la caracterización y proyección de sequías .....	70
<b>Figura 4</b> Curva de doble masa de la estación Aricota en el periodo 1980 – 2022.....	73
<b>Figura 5</b> Curva de doble masa de la estación Cairani en el periodo 1980 – 2022.....	74
<b>Figura 6</b> Curva de doble masa de la estación Candarave en el periodo 1980 – 2022.....	75
<b>Figura 7</b> Resultados del SPI escala de 3 meses en la estación meteorológica de ARICOTA (1980-2022). .....	83
<b>Figura 8</b> Resultados del SPI escala de 6 meses en la estación Meteorológica Aricota (1980-2022).....	85

<b>Figura 9</b> Resultados del SPI escala de 9 meses en la estación meteorológica Aricota (1980-2022).....	87
<b>Figura 10</b> Resultados del SPI escala de 3 meses en la estación meteorológica de Candarave.....	89
<b>Figura 11</b> Resultados del SPI escala de 6 meses en la estación meteorológica Candarave.....	91
<b>Figura 12</b> Resultados del SPI escala de 9 meses en la estación meteorológica Candarave.....	93
<b>Figura 13</b> Resultados del SPI escala de 3 meses en la estación meteorológica Cairani.....	95
<b>Figura 14</b> Resultados del SPI escala de 6 meses en la estación meteorológica Cairani.....	97
<b>Figura 15</b> Resultados del SPI escala de 9 meses en la estación meteorológica Cairani.....	99
<b>Figura 16</b> Resultados del SPEI 3 en la estación meteorológica de Aricota Nota. Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio). .....	102
<b>Figura 17</b> Resultados del SPEI 6 en la estación meteorológica de Aricota .....	104

<b>Figura 18</b> Resultados del SPEI 9 en la estación meteorológica de Aricota .....	107
<b>Figura 19</b> Resultados del SPEI 3 en la estación meteorológica de Candarave.....	109
<b>Figura 20</b> Resultados del SPEI 6 en la estación meteorológica de Candarave.....	111
<b>Figura 21</b> Resultados del SPEI 9 en la estación meteorológica de Candarave.....	113
<b>Figura 22</b> Resultados del SPEI 3 en la estación meteorológica de Cairani. Nota. Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio). ....	115
<b>Figura 23</b> Resultados del SPEI 6 en la estación meteorológica de Cairani. Nota. Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio). ....	118
<b>Figura 24</b> Resultados del SPEI 9 en la estación meteorológica de Cairani. .....	120
<b>Figura 25</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Dic 1989 – Feb 1990 en la provincia de Candarave .....	123
<b>Figura 26</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Nov 1991 – Oct 1992 en la provincia de Candarave .....	124

<b>Figura 27</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Feb 1996 – Nov 1996 en la provincia de Candarave .....	125
<b>Figura 28</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Oct 1997 – Dic 1997 en la provincia de Candarave .....	126
<b>Figura 29</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Mar 1998 – Nov 1998 en la provincia de Candarave .....	127
<b>Figura 30</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Nov 2009 – Ene 2010 en la provincia de Candarave .....	128
<b>Figura 31</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Jun 2010 – Dic 2010 en la provincia de Candarave .....	129
<b>Figura 32</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Jul 2011 – Nov 2011 en la provincia de Candarave .....	130
<b>Figura 33</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Nov 2015 – Ene 2016 en la provincia de Candarave .....	131
<b>Figura 34</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Ago 2020 – Nov 2020 en la provincia de Candarave .....	132
<b>Figura 35</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Mar 2021 – Dic 2021 en la provincia de Candarave .....	133

<b>Figura 36</b> Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Ene 2022 – Sep 2022 en la provincia de Candarave .....	134
<b>Figura 37</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-3 meses en la estación meteorológica de Aricota. ....	136
<b>Figura 38</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-6 meses en la estación meteorológica de Aricota. ....	137
<b>Figura 39</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-9 meses en la estación meteorológica de Aricota. ....	138
<b>Figura 40</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-3 meses en la estación meteorológica de Candarave. ....	139
<b>Figura 41</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-6 meses en la estación meteorológica de Candarave. ....	140
<b>Figura 42</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-9 meses en la estación meteorológica de Candarave. ....	141
<b>Figura 43</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-3 meses en la estación meteorológica de Cairani.....	142
<b>Figura 44</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-6 meses en la estación meteorológica de Cairani.....	143

<b>Figura 45</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-9 meses en la estación meteorológica de Cairani.....	144
<b>Figura 46</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-3 meses en la estación meteorológica de Aricota. ....	145
<b>Figura 47</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-6 meses en la estación meteorológica de Aricota. ....	146
<b>Figura 48</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-9 meses en la estación meteorológica de Aricota. ....	147
<b>Figura 49</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-3 meses en la estación meteorológica de Candarave. ....	148
<b>Figura 50</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-6 meses en la estación meteorológica de Candarave. ....	149
<b>Figura 51</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-9 meses en la estación meteorológica de Candarave. ....	150
<b>Figura 52</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-3 meses en la estación meteorológica de Cairani.....	151
<b>Figura 53</b> Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-6 meses en la estación meteorológica de Cairani.....	152

**Figura 54** Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-9 meses en la estación meteorológica de Cairani..... 153

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Categorización de la sequía basada en los valores SPI .....	39
<b>Tabla 2</b> Resumen del cálculo del SPI.....	40
<b>Tabla 3</b> Clasificación SPEI.....	45
<b>Tabla 4</b> Categorías del VCI: Rangos de valores y sus clasificaciones asociadas .....	47
<b>Tabla 5</b> Modelos utilizados del BAS-CMIP6-PE ajustados por sesgo y reducidos estadísticamente bajo la trayectoria económica SSP3-7.0. ....	53
<b>Tabla 6</b> Valores máximos y mínimos de temperatura registrados en las estaciones meteorológicas de la provincia de Candarave, periodo 1980 – 2022..	60
<b>Tabla 7</b> Precipitación mensual promedio registrada en las estaciones meteorológicas de la provincia de Candarave, periodo 1980 – 2022 .....	61
<b>Tabla 8</b> Valores máximos de precipitación registrados en las estaciones meteorológicas de la provincia de Candarave, periodo 1980 – 2022 .....	62
<b>Tabla 9</b> Periodos críticos de sequía identificados por SPI y SPEI (1980-2022) .....	67
<b>Tabla 10</b> Sintetización de métodos para la presente investigación .....	71

<b>Tabla 11</b> Resumen de la calidad de los datos de precipitación (1980 – 2022) en la provincia de Candarave .....	79
<b>Tabla 12</b> Resumen de la calidad de los datos de temperatura máxima (1980 – 2022) en la región de Candarave.....	79
<b>Tabla 13</b> Resumen de la calidad de los datos de temperatura mínima (1980 – 2022) en la región de Candarave.....	80
<b>Tabla 14</b> Descripción de las estaciones meteorológicas principales en la Provincia de Candarave.....	82
<b>Tabla 15</b> Resumen clasificación sequia escala SPI -3, Estación Meteorológica Aricota. ....	84
<b>Tabla 16</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -6, Estación meteorológica Aricota.....	86
<b>Tabla 17</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -9, Estación meteorológica Aricota.....	88
<b>Tabla 18</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -3, Estación meteorológica Candarave.....	90
<b>Tabla 19</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -6, Estación meteorológica Candarave.....	92

<b>Tabla 20</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -9, Estación meteorológica Candarave.....	94
<b>Tabla 21</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -3, Estación M. Cairani.....	96
<b>Tabla 22</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -6, Estación Meteorológica Cairani.....	98
<b>Tabla 23</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -9, Estación Meteorológica Cairani.....	100
<b>Tabla 24</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -3, Estación Meteorológica Aricota. ....	103
<b>Tabla 25</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -6, Estación Meteorológica Aricota. ....	105
<b>Tabla 26</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -9, Estación Meteorológica Aricota. ....	108
<b>Tabla 27</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -3, Estación Meteorológica Candarave. ....	110
<b>Tabla 28</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -6, Estación Meteorológica Candarave. ....	112

<b>Tabla 29</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -9, Estación Meteorológica Candarave. ....	114
<b>Tabla 30</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -3, Estación Meteorológica Cairani.....	116
<b>Tabla 31</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -6, Estación Meteorológica Cairani.....	119
<b>Tabla 32</b> Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -9, Estación Meteorológica Cairani.....	121
<b>Tabla 33</b> Cuadro resumen de sequías extremas periodo 2023-2100 aplicando el SPI escala 3 meses. ....	166
<b>Tabla 34</b> Cuadro Resumen de sequías Extremas periodo 2023-2100 aplicando el SPEI escala 3 meses.....	168
<b>Tabla 35</b> Cuadro Resumen de sequías Extremas periodo 2023-2100 aplicando el SPI escala 6 meses. ....	169
<b>Tabla 36</b> Cuadro Resumen de sequías Extremas periodo 2023-2100 aplicando el SPI escala 9 meses. ....	173
<b>Tabla 37</b> Cuadro Resumen de sequías Extremas periodo 2023-2100 aplicando el SPEI escala 9 meses.....	175

<b>Tabla 38</b> Precipitación total mensual (mm) – Estación Aricota, relleno	
.....	194
<b>Tabla 39</b> Precipitación total mensual (mm) – Estación Cairani, relleno	
.....	196
<b>Tabla 40</b> Precipitación total mensual (mm) – Estación Candarave, relleno	
.....	198
<b>Tabla 41</b> Temperatura máxima media mensual (°C) – Estación Aricota, relleno.....	200
<b>Tabla 42</b> Temperatura máxima media mensual (°C) – Estación Cairani, relleno.....	202
<b>Tabla 43</b> Temperatura máxima media mensual (°C) – Estación Candarave, relleno.....	204
<b>Tabla 44</b> Temperatura mínima media mensual (°C) – Estación Aricota, relleno.....	206
<b>Tabla 45</b> Temperatura mínima media mensual (°C) – Estación Cairani, relleno.....	208
<b>Tabla 46</b> Temperatura mínima media mensual (°C) – Estación Candarave, relleno.....	210

## RESUMEN

La investigación abordó fundamentalmente la aplicación de índices de sequía para caracterizar tanto las históricas como también sus proyecciones futuras, se trabajó con la data observada (precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima) por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI en el periodo de 1980 hasta 2022, el lugar donde se realizó la investigación es en la Provincia de Candarave, Perú. Se utilizaron tres índices de evaluación de sequías ampliamente reconocidos: el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) y el Índice de Condición de Vegetación (VCI).

Se realizó las proyecciones futuras con modelos climáticos del CMIP6 y se optó por el escenario climático SSP3-7.0, del resultado de las proyecciones futuras se utilizó el SPI y SPEI para caracterizar las sequías futuras en el periodo de 2023 a 2100.

*Palabras Clave:* Características de sequía; SPI (Índice de Precipitación Estandarizado); SPEI (Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración); NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada); VCI (Índice de Condición de Vegetación); cambio climático; CMIP6; SSP3-7.0; Candarave; Perú

## ABSTRACT

The research primarily focused on the application of drought indices to characterize both historical data and their future projections. Observed data (precipitation and maximum temperature) from the National Meteorology and Hydrology Service of Peru – SENAMHI were utilized for the period from 1980 to 2022. The research took place in the province of Candarave, Peru. Three widely recognized drought assessment indices were employed: the Standardized Precipitation Index (SPI), the Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI), and the Vegetation Condition Index (VCI).

Future projections were conducted using climate models from CMIP6, and the SSP3-7.0 climate scenario was chosen. From the results of the future projections, SPI and SPEI were used to characterize future droughts in the period from 2023 to 2100.

*Keywords:* Drought characteristics; SPI (Standardized Precipitation Index); SPEI (Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index); NDVI (Normalized Difference Vegetation Index); VCI (Vegetation Condition Index); climate change; CMIP6; SSP3-7.0; Candarave; Peru.

## INTRODUCCIÓN

Las sequías a nivel mundial son fenómenos climáticos extremos asociados a la variabilidad espaciotemporal de los regímenes de precipitación y tienen profundos impactos en los sistemas naturales y socioeconómicos. Estos peligros naturales suponen una amenaza para la seguridad hídrica y la producción de alimentos, causan daños a la propiedad, pérdida de vidas y desplazamiento de comunidades, y afectan a una amplia gama de servicios ecosistémicos. Ante esto es relevante caracterizar sequías históricas y sus proyecciones futuras en áreas de cultivo utilizando índices de sequía ya que así podrá con los resultados realizar una gestión de recursos hídricos a fin de cuidar la producción agrícola ya que para una región altoandina es la base de fuente de ingresos, además de la preocupación de la disponibilidad hídrica que determina en gran medida su desarrollo económico, así como también su nivel de competitividad.

Para realizar una adecuada recolección de datos de las 3 estaciones meteorológicas de la Provincia de Candarave, en un periodo de 43 años (1980 – 2022) y así como también su tratamiento de datos, se establece métodos estadísticos pertinentes como: Prueba Mann – Kendall, Correlación de Pearson, Regresión lineal simple. Esto requiere realizar un trabajo de gabinete para evaluar el comportamiento de los datos históricos para posteriormente realizar la aplicación de los índices de sequía mediante los métodos teóricos establecidos de cada uno.

Dos de los índices de sequía son el índice de Precipitación Estandarizada (SPI) y el Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) ya que no usan muchas variables y son más prácticas. Por esta razón, se aplicó estos índices en la investigación, ya que permitieron evaluar las características de la sequía en términos de tiempo y espacio en áreas propensas a este fenómeno. El SPI se basa únicamente en la precipitación, mientras que el SPEI utiliza tanto la precipitación como la temperatura. Estos se gestionan mediante criterios de tiempo a diferentes escalas en meses para identificar eventos secos y húmedos, pero son sensibles a las tendencias y pueden subestimar o sobreestimar eventos en escalas de tiempo cortas.

Por otro lado, debido a la falta de datos consistentes en cantidad y calidad para un análisis a largo plazo de variables relacionadas con la sequía, se utilizó el enfoque de sensores remotos para obtener una perspectiva dinámica sobre la distribución de las sequías. En este sentido, los índices de vegetación, como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Condición de la Vegetación (VCI) nos proporcionaron detalles espaciales y se utilizaron para monitorear variables relacionadas con la sequía desde una perspectiva climática, así como para evaluar y cuantificar los impactos de la sequía en los ecosistemas.

Si bien es la base de esta investigación fue caracterizar las sequías históricas a través de la data observada, también se abordó la proyección futura de las sequías

en el área de estudio por medio de modelos climáticos, los cuales son instrumentos importantes que nos permiten comprender y prever cómo el clima puede cambiar en el futuro. Cabe mencionar que para realizar las proyecciones futuras se utilizó el conjunto de datos de proyección climática de alta resolución basado en CMIP6 para Perú y Ecuador: BASD-CMIP6-PE generado por el SENAMHI con el modelo climático S, esto nos ayudó a obtener simulaciones futuras de precipitación y temperatura bajo un determinado escenario climático SSP3-7.0 el cual supone una vía de desarrollo social en la que las políticas se centran cada vez más en cuestiones de seguridad nacional y regional.

Esta investigación está dividida en cinco capítulos.

En el Capítulo I se describe el problema de estudio mediante el planteamiento y formulación de las interrogantes adoptadas, la justificación resalta la importancia del problema a estudiar el cual considera: teórica, social y práctica, los objetivos, general y específicos definen el rumbo de la investigación y se proponen las hipótesis de acuerdo a los objetivos planteados.

En el Capítulo II se detallan los antecedentes de la investigación a nivel internacional, nacional y local, las bases teóricas de referencia que se emplea para esta investigación, así como la definición de los conceptos más pertinentes y utilizados.

En el Capítulo III se enmarca la metodología empleada, ámbito de estudio, el tipo y diseño de investigación, población y muestra que se estudió, asimismo las técnicas, instrumentos, tratamiento y análisis de datos.

En el Capítulo IV se muestran los resultados de la calidad de data del periodo (1980 – 2022) de las 3 estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Candarave a través de los métodos estadísticos y posteriormente se muestra la caracterización de sequías históricas con el SPI, SPEI y VCI, al igual que las sequías proyectadas.

En el Capítulo V se expone la discusión de resultados de la calidad de data, caracterización de sequías históricas y proyectadas.

Finalmente se plantean las conclusiones del estudio y se proponen algunas recomendaciones.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Identificación del problema**

El clima mundial está experimentando un calentamiento, y los fenómenos climáticos extremos (temperaturas elevadas, tormentas de lluvias y sequías) los cuales ocurren con mayor frecuencia. La sequía, que puede perdurar por largos periodos, es el desastre meteorológico más devastador. En las últimas décadas, la sequía ha causado un impacto profundo en el medio ambiente y en las economías a nivel global. En particular, en las regiones áridas y semiáridas, la sequía severa constituye una amenaza persistente para la subsistencia de la sociedad (Eslamian & Eslamian, 2017).

A nivel internacional, los índices de sequía se han utilizado ampliamente para monitorear y caracterizar los eventos de sequía (Hasan et al., 2023). Para ello, los científicos especializados en sequías y clima han elaborado varios índices de sequía (Lee et al., 2017). Los datos de entrada varían o algunos coinciden de un índice a otro y, de manera similar, los índices caracterizan diferentes tipos de sequías. Para identificar sequías meteorológicas, se usa el índice de precipitación estandarizado (SPI) y el índice de evapotranspiración de precipitación estandarizada (SPEI) (Vélez-nicolás et al., 2022). En estudios agrícolas y ecológicos, los investigadores de sequía normalmente utilizan el índice de

condición de la vegetación (VCI) para un enfoque más dinámico (Liang et al., 2021). El efecto de las sequías se intensifica con el pasar del tiempo, si es que no existiera un método preciso para detectarla, predecirla y poder lograr mitigar los impactos en la sociedad. Ante dicha problemática, la influencia prolongada de un evento de sequía a través de la historia exige a los que realizan este tema de investigación el objetivo de caracterizar y proyectar eventos de sequía mediante métodos matemáticos (SPI y SPEI), métodos GIS (Sistema de Información Geográfica) y Teledetección (VCI), para realizar gestiones hídricas en beneficio en favor de la población y del bienestar de los ecosistemas, abarcando tanto animales como plantas.

En ese contexto Zhao et al. (2022), resalta la importancia que tiene caracterizar las sequías específicamente en su investigación para la población de Tailandia, puesto que generan graves problemas en las exportaciones agrícolas, asimismo generan presiones por la carencia de suministros alimenticios que estas pudieran generar, ante esta problemática surgió la necesidad de la investigación.

Concordante con ello L. Wang et al. (2022a) , menciona que las sequías se originan a causa del calentamiento global, lo que ha generado el incremento de los cambios en el ciclo del agua, ante esto se ha suscitado una reorganización global de los recursos hídricos a varias escalas, perjudicando así, la probabilidad y frecuencia de eventos hidrológicos extremos, particularmente en los desastres por

desbordamientos y estiajes. Por consiguiente, las sequías son unos de los desastres climáticos más peligrosos que afectan a la sociedad, que históricamente se ha ido considerándose un foco de investigación descuidado en el campo de la climatología y la hidrología, el mismo que, en la medida que se aumenten futuras investigaciones, permitirá tomar mejores decisiones como sociedad.

A nivel nacional, SENAMHI (2016) precisa que la sequía viene a ser uno de los desastres naturales más importantes en el Perú porque ocasiona enormes mermas económicas sobre todo en el sector agrícola; no obstante, es un tema poco estudiado y con poco enfoque de investigación científica. La escasez de los recursos hídricos a causa del cambio climático se produce a nivel nacional y ha alterado de manera lenta los ciclos hidrológicos, donde se ve que las infraestructuras hidráulicas en temporadas de estiaje son afectadas, así como también las altas temperaturas provocan que la vegetación sea más susceptible a incendios forestales.

Por esta razón, surge el problema de demanda de acceso a agua en la población para diferentes actividades económicas referidas a ganadería y agricultura para pueblos rurales ya que son el sustento de la mayoría de familias (Rascón et al., 2021).

En el ámbito local, de acuerdo a Pino-Vargas et al. (2022), en Tacna el evento histórico de lluvia del 21 de febrero de 2020 en la Quebrada del Diablo, nos menciona que dicho fenómeno es atribuible al incremento de la temperatura

superficial del mar frente a las costas de Tacna durante los días previos a esa fecha. Y que, respecto a los incrementos de precipitación registrado en la ciudad de Tacna, se atribuye a la corta distancia de la ciudad de Tacna a la zona costera. Por ello que, a pesar de la ausencia de información registrada de precipitaciones en la Quebrada del Diablo, se optó aplicar el análisis espacio temporal de la información registrada en la ciudad de Tacna (pluviómetro JORGE BASADRE) y productos satelitales como IMERG y CHIRPS. Esto nos da a entender la importancia de considerar el cambio climático como una principal causante de estos desastres naturales.

Platero Huanca (2020), menciona en su tesis, que la disponibilidad del recurso hídrico ha disminuido y al 2009, ante ello el Ministerio de Agricultura declaró agotados los recursos hídricos superficiales de la Cuenca del río Locumba, dentro de la cual afecta a la Provincia de Candarave. De igual manera, la escasez de agua afecta a las principales actividades económicas de la Provincia de Candarave las cuales están relacionadas con la ganadería y la agricultura de productos como orégano, maíz, papa y alfalfa. a la agricultura y a la ganadería, puesto que la dotación recibida de recurso hídrico no es la misma que antes, debido a que el yacimiento minero Toquepala, perteneciente a la empresa Southern Perú Cooper Corporation, consume las aguas superficiales y subterráneas de mejor calidad y extrae más de lo autorizado (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2011).

Bajo este escenario, surge la necesidad de analizar las sequías históricas y considerando el cambio climático en la provincia de Candarave, ya que permitirá estimar la probabilidad de ocurrencias de periodos de sequías y ayudar con esta información a la población de Candarave para que puedan adoptar medidas de adaptación y correctivas respecto a la eficiente gestión del agua, aportando de esta forma al conocimiento científico respecto al área de climatología e hidrología.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema principal**

¿Cómo se caracterizan las sequías históricas y sus proyecciones futuras utilizando índices de sequía en Candarave, Tacna?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es la calidad de la data meteorológica disponible para el uso de los índices de sequía en la provincia de Candarave, Tacna?
- b) ¿Cómo se caracterizan las sequías históricas en la provincia de Candarave, Tacna, mediante los índices SPI, SPEI y VCI?
- c) ¿Cómo se caracterizan las sequías futuras en la provincia de Candarave, Tacna, utilizando los índices de sequía, a partir de las proyecciones generadas con el modelo climático CMIP6 y el escenario climático SSP3-7?

### **1.3 Justificación del problema**

#### **1.3.1 Justificación teórica**

La justificación teórica de esta investigación es la selección de los índices de sequía SPI, SPEI y VCI, junto con los modelos climáticos del proyecto CMIP6 bajo el escenario SSP3-7.0, debido a que dichos índices estandarizados son los más usados para caracterizar sequías. Se brindarán conceptos de aplicación y la manera de cálculo para proyectar las características de sequía en la región de Candarave y así poder contribuir al enriquecimiento de la literatura científica hidrológica-meteorológica.

#### **1.3.2 Justificación social**

Si bien la combinación de SPI, SPEI y VCI con las proyecciones climáticas del escenario SSP3-7.0 del CMIP6 nos va permitir tener una evaluación consistente de la variabilidad climática histórica y sus proyecciones futuras los cuales ayudaran en el ámbito social a prevenir y gestionar los recursos hídricos para poder lograr de alguna forma mitigar el impacto de las sequías proyectadas a futuro tomando en cuenta las históricas.

#### **1.3.3 Justificación práctica**

Los resultados ayudaran a formular informes técnicos que contengan estrategias para la gestión del recurso hídrico en la zona. Conocer cómo se han

presentado y cómo se podrían presentar las sequías en un futuro permitirá desarrollar medidas más efectivas para enfrentar este fenómeno, reduciendo el impacto negativo en la agricultura y conservación de ecosistemas en Candarave.

Por tales razones, se considera esencial llevar a cabo el estudio actualmente titulado *“USO DE SPI, SPEI Y VCI PARA CARACTERIZAR SEQUÍAS HISTÓRICAS Y SUS PROYECCIONES FUTURAS EN CANDARAVE, TACNA”*.

#### **1.4 Importancia de la investigación**

Al revisar la información sobre la provincia de Candarave, se comprende que es de suma importancia analizar las sequías, ya que su principal fuente de ingresos proviene de la agricultura y la ganadería, y estas actividades dependen en gran medida de la tendencia de lluvia y de un adecuado manejo del agua. Es importante destacar que el agua es un elemento indispensable para la sociedad en general. Por otro lado, se encontró una escasez de información bibliográfica actualizada sobre investigaciones relacionadas con esta región.

#### **1.5 Definición de los objetivos**

##### **1.5.1 Objetivo general**

Caracterizar las sequías históricas y sus proyecciones futuras utilizando índices de sequía en Candarave, Tacna.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- a) Determinar la calidad de la data meteorológica disponible para el uso de los índices de sequía en la provincia de Candarave, Tacna.
- b) Caracterizar las sequías históricas en la provincia de Candarave, Tacna utilizando los índices SPI, SPEI y VCI.
- c) Caracterizar las sequías futuras en la provincia de Candarave empleando índices de sequía basados en proyecciones generadas con el modelo climático CMIP6 y el escenario climático SSP3-7.

## **1.6 Formulación de la hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis general**

Los índices de sequía permitirán caracterizar las sequías históricas y sus proyecciones futuras en Candarave, Tacna.

### **1.6.2 Hipótesis específicas**

- a) Se determinará la calidad de la data meteorológica disponible en la Provincia de Candarave para aplicar los índices de sequía.
- b) Los índices SPI, SPEI y VCI permitirán caracterizar las sequías históricas en la provincia de Candarave, Tacna.

- c) Las proyecciones generadas con el modelo CMIP6 y el escenario SSP3-7 permiten identificar las características de las sequías futuras en la Provincia de Candarave, Tacna.

## **1.7 Variables**

Índices de sequía y caracterización de las sequías históricas y las proyecciones futuras.

### **1.7.1 Caracterización de variables**

Variable independiente: SPI, SPEI y VCI

*Dimensiones:* Índices de sequías atmosféricas, índices de anomalías de precipitación, índices de aridez, índices recursivos, índices obtenidos por teledetección.

*Indicadores:* Sequías excepcionales, sequías extremas, sequías severas, sequías moderadas, anormalmente seco, condiciones normales o húmedas.

Variable dependiente: Caracterización de las sequías históricas y las proyecciones futuras

*Dimensiones:* Magnitud, duración y frecuencia.

*Indicadores:* Déficit de disponibilidad de hídrica; temporalidad; la cantidad de veces que ocurren en un periodo.

## **1.8 Alcances y limitaciones**

Se tiene como alcance, que los resultados obtenidos en esta investigación conciernen en el aporte para la toma de decisiones sobre la gestión hídrica en Candarave, ya que al ser cabecera de la cuenca Locumba existe el riesgo de pérdidas ambientales como ecosistemas, tanto también como recursos de flora y fauna dentro de la región.

Por otro lado, como importante limitación se tiene la poca disponibilidad de datos históricos confiables sobre precipitación y temperatura debido a que el error humano existe en las estaciones meteorológicas convencionales esto afecta la precisión de los análisis y proyecciones. También no se contaron con muchas estaciones meteorológicas o registros históricos completos, estos limitaron la comprensión de las sequías pasadas y futuras.

El satélite Landsat 5 proporciona imágenes satelitales para el periodo comprendido entre el 01/01/1985 y el 31/12/2011, mientras que el Landsat 8 cubre del 01/01/2013 al 31/12/2022,

Otra limitación son los modelos climáticos del CMIP6 pueden presentar cierta incertidumbre y sesgo en las proyecciones, especialmente a escalas regionales.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Pei et al. (2020a) en su artículo científico “*Análisis comparativo de la sequía indicada por el SPI y el SPEI en diversas escalas de tiempo en Mongolia interior, China*”, sostiene que la aplicación de índices de sequías utilizando el índice de precipitación estandarizada (SPI) y el índice de evapotranspiración y precipitación estandarizada (SPEI) son utilizados, por ser muy eficientes y prácticos para caracterizar sequías usando pocas variables, por ello se realizó el análisis comparativo en la Región Mongolia Interior de la República de China donde se analizaron datos de precipitación y temperatura de 102 estaciones meteorológicas en escalas de 1, 3, 6 y 12 meses. Los resultados indicaron que, con el aumento de la escala temporal las variaciones del SPI y SPEI se volvieron más consistentes, aunque persistieron ligeras diferencias en variación y continuidad ante eso las características de la sequía identificadas por SPI y SPEI mostraron variaciones espaciales significativas en diferentes escalas temporales, no obstante en escalas más largas, las tendencias de sequía en Mongolia Interior presentaron distribuciones espaciales más coherentes, mientras que, en escalas más cortas, las diferencias entre SPI y SPEI fueron más pronunciadas por ende se concluyó que el SPEI demostró

ser más adecuado que el SPI para el monitoreo de sequías también que la adaptabilidad de estos índices puede variar según el periodo y la región, lo cual necesita un análisis más detallado en el futuro.

Esta investigación referenciada aporta esencialmente para verificar como se relacionan los índices (SPI y SPEI) que se aplican para esta investigación y cómo funcionan a través de las escalas elegidas.

Zambrano et al. (2016) en su artículo científico “*Dieciséis años de evaluación de la sequía agrícola de la región del Biobío en Chile utilizando un índice de condición de vegetación (VCI) de resolución de 250 m*”, mencionó que el uso del índice de condición vegetativa permite monitorear las condiciones de crecimiento de la vegetación a gran escala espacial, por ello en la Región de Biobío en Chile donde se evaluó la sequía agrícola en tierras de cultivo donde se aplicó el Índice de Condición de la Vegetación (VCI), de esta manera, se lograron identificar variaciones temporales y espaciales en la vegetación asociadas al estrés hídrico por déficit de lluvia. Para esta región, el VCI se obtuvo con una resolución espacial de 250 m para el período 2000 – 2015 se usó el producto del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) específicamente MOD13Q1 el cual tiene 500 metros de resolución espacial. El VCI se evaluó para áreas verdes destinadas a cultivo aplicando la cobertura terrestre denominada MCD12Q1 versión 5.1 y se comparó con el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) in situ en escalas de

tiempo de 1 a 6 meses de 26 estaciones meteorológicas. Se concluyó que el SPI de 3 meses (SPI-3), calculado para la temporada de crecimiento modificada (noviembre – abril), tuvo correlación de Pearson más alta con los valores del VCI, con una correlación general de 0,63 y entre 0,40 y 0,78 para las unidades administrativas. Estos resultados indicaron una respuesta de la vegetación a muy corto plazo al déficit de precipitaciones en septiembre, reflejada en la vegetación en noviembre, explicando en gran medida la variación del estrés vegetativo. Y para el periodo evaluado de 16 años, se identificaron las temporadas 2007/2008, 2008/2009 y 2014/2015 como los tres eventos de sequía más importantes en la Región del Biobío, coincidiendo con las emergencias por sequía declaradas por el gobierno regional. Se utilizaron estudios futuros para asociar los valores de detección remota observados en alta resolución (250 m) con el rendimiento medido de los cultivos, para identificar respuestas más detalladas de los cultivos individuales.

La mencionada investigación nos ayuda a contemplar como el SPI guarda relación con el índice de condición vegetativa en temporadas y que el SPI de escala 3 meses es la que guarda más correlación dándonos a entender que se podría considerar dicha escala además de la escala 6.

Mathbout et al. (2023) en su artículo Científico *“Proyecciones de las características de la sequía basadas en escenarios de cambio climático CMIP6 en*

*Siria*”, redactó que existen numerosos estudios que ya han aprovechado los conjuntos multi-modelo CMIP6 ( Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados ), para investigar los cambios climáticos, proyectando consistentemente una mayor intensidad y frecuencia de climas extremos a medida que las temperaturas globales continuaban aumentando, este caso de estudio se centró precisamente en la predicción de las características de la sequía en el país de Siria, analizando su duración, frecuencia e intensidad. Para el estudio se utilizaron 13 modelos de la base de datos CMIP6, aplicando dos escenarios SSP (Trayectorias Socioeconómicas Compartidas) distintos. La investigación comparó estos modelos con los datos climáticos mensuales observados de CRU (Climatic Research Unit) TS v4.06 y ERA 5, así como con los resultados del conjunto del modelo CMIP6 para el período de referencia 1970-2000, se concluyó que las proyecciones de sequía tienen resultados de mayores valores de gravedad, frecuencia y duración especialmente en la zona norte y noreste de Siria, incluso con mitigación climática agresiva. Se destacó la necesidad urgente de medidas de mitigación y adaptación, así como una mejor planificación de recursos hídricos, debido a los efectos duraderos de la sequía en la recuperación de los ecosistemas (Mathbout et al., 2023b).

Se apreció la funcionabilidad y eficiencia de usar datos del CMIP6 ya que arrojan buenos resultados de predicciones a través de la data histórica de la base de datos del ERA 5 y CRU TSv4.06 para un periodo de 30 años además de usar las

SSP que son escenarios de cambios socioeconómicos globales proyectados hasta 2100.

Wang L, et al. (2022), en su artículo Científico “*Análisis de los Cambios Futuros de Sequía Meteorológica en la Cuenca del Río Amarillo bajo el Cambio Climático*”, donde se analizaron las características de la sequía meteorológica aplicadas en la cuenca del río Amarillo, utilizando el índice SPEI para caracterizar sequías futuras, durante el período 2015-2100. Para corregir sesgos sistemáticos en los datos de salida de los Modelos Climáticos Globales (GCM), se empleó el método de corrección de sesgo diario (DBC) basado en el mapeo de cuantiles, que ha demostrado ser un método efectivo.

Los resultados indican que se esperaba un aumento en la precipitación en la cuenca del río Amarillo para periodos futuros. Específicamente, el escenario SSP585 mostró la tendencia de crecimiento más significativa, con una tasa de aumento de 1,5 mm/año. Bajo el escenario SSP126, se observó una tendencia gradualmente creciente en la sequía meteorológica de la cuenca del río Amarillo. Aunque la tendencia de sequía mostró una disminución en los escenarios SSP245 y SSP585, la intensidad de la sequía aumentará de manera más significativa en comparación con el escenario SSP126. Por lo tanto, fue necesario tomar medidas para prevenir la ocurrencia de eventos de sequía extrema en el futuro (Wang et al., 2022a)

Además, se identificó una variación espacial significativa en la sequía meteorológica para los diferentes escenarios y periodos de emisión. En el futuro medio del escenario SSP126, se pronosticó un aumento significativo en la frecuencia de sequía en la meseta de Loess. Por otro lado, en el futuro medio del escenario SSP585, se espera una mejora evidente en la frecuencia y duración de la sequía en el área de conservación de agua en los tramos superiores del río Amarillo

Este estudio nos proporcionó evidencia sobre la variabilidad espacial de las sequías en relación con los escenarios planteados y destaca la importancia de utilizar los factores climáticos de los Modelos Climáticos Globales (GCM) para relacionar y justificar los cambios en la precipitación. Estos hallazgos son fundamentales para comprender y abordar los impactos del cambio climático en la sequía meteorológica en la cuenca del río Amarillo ya que además la lectura ayuda a comprender como interpretar los valores obtenidos a partir de los Modelos Climáticos Globales.

Liang et al. (2021), en su artículo científico "*Análisis basado en VCI sobre las variaciones espaciotemporales de la sequía primaveral en China*", evaluaron las condiciones de sequía vegetativa primaveral en China utilizando el Índice de Condición de la Vegetación (VCI) entre 1981 y 2015. Los resultados mostraron que la sequía vegetativa primaveral, es frecuente en China, con diferencias geográficas notables influenciados por los monzones. Las regiones sur y norte, muy afectadas

por los monzones, presentaron una alta frecuencia de sequías, mientras que las regiones del noroeste y Qinghai-Tíbet, menos afectadas, mostraron una frecuencia menor.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Rascón et al. (2021) en su artículo "*Eventos secos y húmedos en poblaciones andinas del norte del Perú: un estudio de caso de Chachapoyas, Perú*", se evaluó eventos secos y húmedos en Chachapoyas entre 1981 y 2019 utilizando los índices SPI y SPEI. Estos índices se calcularon en una estación meteorológica para escalas de tiempo de 3, 6, 12 y 24 meses. Los resultados que se obtuvieron fue que se tuvo una consistencia notable para escalas de 12 y 24 meses, detectando una sequía extrema en 1993, mientras que las escalas de 3 y 6 meses identificaron una sequía severa en el mismo año y en la última década, aumentaron los eventos húmedos extremos, clasificando a Chachapoyas entre "sequía moderada" y "humedad moderada" se concluyó que los índices SPI y SPEI mostraron una alta correlación y resultados estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ) y en sus resultados se recomendaron que el SPI y SPEI son herramientas valiosas para la gestión ambiental y económica por parte de los gobiernos locales y regionales.

Integrar los hallazgos y la metodología del estudio de esta investigación en nuestra investigación ayuda a comprender el comportamiento del uso del SPI y SPEI en la zona norte del Perú, además de proporcionar un marco comparativo

histórico y justificar el uso de índices de sequía como el SPI, SPEI para la evaluación y gestión de eventos climáticos extremos en la Provincia de Candarave, Tacna.

Fernandez-Palomino et al. (2024), en su artículo científico “*Conjunto de datos de proyección climática de alta resolución basado en CMIP6 para Perú y Ecuador: BASD-CMIP6-PE*”, donde se presentó el conjunto de datos climáticos BASD-CMIP6-PE, que ofrece información de alta resolución (1d, 10 km) sobre proyecciones climáticas para Perú y Ecuador, dicho conjunto de datos está basado en las proyecciones CMIP6 ya ajustadas al sesgo y estadísticamente reducidas de 10 modelos climáticos globales (GCM), con simulaciones históricas (1850-2014) y proyecciones futuras (2015-2100) de precipitación y temperatura (mínima, media y máxima), bajo tres modelos socioeconómicos compartidos (SSP1-2.6, SSP3-7.0 y SSP5-8.5). La metodología empleada para generar los datos climáticos BASD-CMIP6-PE utilizó un enfoque de corrección de sesgo y reducción estadística de escala (BASD: Mejores Datos Científicos Disponibles) que mantiene las tendencias climáticas. Se evaluó el desempeño del BASD mediante la comparación con datos de observación y modelos hidrológicos en cuencas fluviales de Perú y Ecuador durante el periodo histórico. Los resultados mostraron que el método BASD disminuyó significativamente los sesgos entre las simulaciones de los modelos de circulación general (GCM) del CMIP6 y los datos observados, mejorando las representaciones estadísticas a largo plazo, tanto en valores promedio como

extremos, así como en los patrones estacionales. Se concluyó que los valores obtenidos hacen que el BASD-CMIP6-PE sea una herramienta confiable para evaluar los impactos climáticos regionales en la agricultura, los recursos hídricos y los fenómenos hidrológicos extremos. El conjunto de datos ajustado no solo mejora la representación estadística a largo plazo, sino que también es adecuado para simular caudales medios, bajos y altos en las cuencas de Perú y Ecuador. Este conjunto de datos BASD-CMIP6-PE es un recurso valioso para la investigación, ya que proporciona datos climáticos de alta resolución ajustados y confiables, fundamentales para el análisis de los impactos del cambio climático en las regiones de Perú y Ecuador. Se utilizará estos datos para modelar y evaluar con mayor precisión cómo el cambio climático podría afectar la agricultura, la disponibilidad de recursos hídricos y los eventos hidrológicos extremos, proporcionando una base sólida y detallada para tus estudios y conclusiones.

Zuñiga (2021) , en su tesis doctoral titulada *“Impactos del cambio climático sobre las sequías en la cuenca Río Tambo-Perú, bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5”*, donde se analizó las sequías meteorológicas utilizando el método (SPI) y (SPEI) para la cuenca del Río Tambo, utilizando 38 estaciones pluviométricas (22 reales y 16 simuladas) para los periodos de 1981-2005 y 2006 – 2099, La metodología aplicada se basa en un análisis exploratorio detallado de los datos pluviométricos, con el fin de evaluar la confiabilidad y consistencia de la información meteorológica disponible. Tras este proceso inicial de verificación, se

procede a rellenar los datos faltantes mediante el uso del método de vector regional, el cual permite generar una estación representativa que refleja las características de una región homogénea en términos climáticos. Los resultados de este estudio indican que los índices climáticos fueron comparados para intervalos de 6 y 12 meses, y se observaron similitudes en la ocurrencia de sequías durante los años 2049 a 2051 bajo los escenarios climáticos proyectados RCP45 y RCP85.

A partir de este análisis, se concluye que el SPI (Índice de Precipitación Estandarizado) identificó otro posible evento de sequía, aunque de menor severidad y duración, en la parte alta de la cuenca, atribuible a las temperaturas más bajas que se registran en esta zona. Esto sugiere que, en regiones húmedas, el uso del SPEI (Índice de Precipitación Estandarizada y Evapotranspiración) como indicador de sequía ofrece resultados comparables a los obtenidos mediante el SPI. Sin embargo, en áreas caracterizadas por un clima semiárido y temperaturas elevadas, el SPEI podría proporcionar una representación más precisa de las condiciones observadas, debido a que en estas zonas la evapotranspiración desempeña un rol fundamental en los balances hídricos, lo que intensifica la Intensidad estimada de los periodos secos, haciendo que el SPEI sea más adecuado para capturar estos fenómenos en contextos climáticos específicos.

Este antecedente, ayuda a comprender y evidenciar que la data de las estaciones meteorológicas se les deben realizar procesos para completar data

faltante y poder realizar un proceso homogenización de data la cual es importante ya que no se podrían generar buenos resultados sin este procedimiento, se muestra la importancia de realizar proyecciones futuras para ver cómo va actuando en los diferentes escenarios climáticos del CMIP5, además de interactuar con el SPI y SPEI para analizar sequías a futuro con los datos proyectados los cuales son parte de nuestros objetivos para caracterizar sequías en la Provincia de Candarave, Tacna.

Montes (2023), en su tesis titulada *“Estimación de índices de sequía en la cuenca del Río Ichu utilizando datos generados por teledetección, Huancavelica, 2019”* la investigación tuvo como objetivo determinar la estimación de índices de sequía utilizando datos generados por teledetección en la cuenca del Río Ichu, con las metodologías de los índices SPI y SPEI analizados a diferentes escalas de tiempo, que estos fueron evaluados a través de salidas de precipitación y temperatura máxima mínima mensuales provenientes por precipitación satelital PISCOp elaborados por SENAMHI – Perú, utilizando las metodologías del índice SPEI para las escalas de tiempo a corto y largo plazo, para evaluar los cambios en las características de la sequía, para validar los datos provenientes de Modelos Climáticos Globales previamente se realizó una reducción de escala estadística de los datos por (Bias Correction) con el fin de comparar y validar la precipitación simulada por (GCM) con la precipitación estimada por PISCOp, los resultados han sido también evaluados y validados de acuerdo al estadístico Nash-Sutcliffe , dando un valor de 0.82 que califica como ajuste excelente y con la correlación de Pearson

llegando al valor de 0.906 que califica de una correlación positiva muy alta, de esta manera se validó la tercera hipótesis planteada en su tesis .

En esta investigación se puede apreciar el aporte sobre obtención de datos meteorológicos a través de la teledetección como DATA PISCOp, también se hace mención sobre el proceso de realizar el Bias Correction para comparar y validar los datos simulados por GCM.

Arana Ruedas et al. (2023) en su artículo científico *“Evaluación Espacio-Temporal de Sequías Usando el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y Evapotranspiración (SPEI) en el Valle del Mantaro, Perú”*, donde su principal objetivo fue elaborar una evaluación espacio-temporal de la sequía en el Valle del Mantaro para proporcionar información sobre los eventos locales de cambio climático en la región de los Andes Tropicales Peruanos (ATP).

Para alcanzar su objetivo, se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI), reconocido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). El SPEI permitió analizar la variabilidad climática en el Valle del Mantaro, considerando tanto la precipitación como la evapotranspiración. Se recopilaron y analizaron datos de varias estaciones meteorológicas en el área, evaluando el comportamiento de la sequía en términos de frecuencia, severidad y duración. Los resultados del estudio demostraron que casi todas las estaciones meteorológicas del Valle del Mantaro evidencian un claro calentamiento a lo largo

de los años, aunque solo dos de las seis estaciones mostraron una disminución en la precipitación. El análisis espacio-temporal reveló que aproximadamente el 30% de los eventos analizados fueron sequías. Todas las estaciones dentro del valle presentaron comportamientos similares en términos de características de sequía, aunque con diferentes frecuencias máximas según la escala temporal. Se recomendó continuar el seguimiento de las estaciones con menor disponibilidad de datos, realizar análisis comparativos con diferentes métodos de evaluación de sequías y estudiar la correlación entre las sequías y eventos climáticos como el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y otros eventos como inundaciones.

Esta investigación nos proporciona una metodología sustentada para identificar patrones climáticos y analizar tendencias de sequía. Pudiéndose comparar los resultados con los del Valle del Mantaro para entender similitudes y diferencias en los Andes Tropicales Peruanos. Además, el uso de índices reconocidos (SPI y SPEI) fortalece nuestra investigación. Finalmente, ayuda para el seguimiento y mitigación de sequías en Candarave, basándose en las prácticas utilizadas en el estudio del Valle del Mantaro.

### **2.1.3 Antecedentes locales**

Pino-Vargas et al., (2022), en su artículo científico *“Impactos del cambio climático y la variabilidad en la Precipitación y caudales máximos en la quebrada del Diablo, Tacna, Perú”*, el cual nos detalla que su objetivo es analizar los efectos

potenciales del cambio climático y la variabilidad en la precipitación máxima, la temperatura y el régimen hidrológico en la quebrada del Diablo, Tacna, Perú, así mismo la metodología utilizada incluye la corrección de sesgos y reducción de escala de las variables meteorológicas mediante la técnica de mapeo de quintiles, la modelación hidrológica, la evaluación de dos escenarios de emisión y su efecto sobre los caudales máximos del arroyo, los resultados de precipitación y temperatura diaria de quince modelos climáticos regionales se utilizaron para los escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5 de estos se concluye a partir de los resultados del conjunto multi-modelo que para el promedio anual máximo la precipitación tiene probabilidad de aumento a más del 30% para el período 2021-2050 en relación con el período 1981-2005. Asimismo, como se esperaba, los caudales máximos podrían incrementarse en 220% y 154% para los escenarios RCP4.5 para los años 2021-2050 y 2051-2080, respectivamente, y 234% y 484% para los escenarios RCP8.5 y para el plazo 2021-2050 y 2051-2080, y respecto del valor histórico registrado, se incrementó la probabilidad de eventos tanto de inundaciones y daños en las poblaciones ubicadas aguas abajo. Lo cual ayuda a la investigación a considerar los escenarios que usaron y la temporalidad descrita para los diferentes escenarios y tomar dichos valores históricos en consideración.

Sotelo (2019) en su tesis titulada “*Análisis de vulnerabilidad de riesgo por cambio climático en la cuenca Caplina – Tacna*” con el objetivo de determinar la vulnerabilidad de riesgo de la cuencas, se lograron identificaron peligros y se

realizó la investigación analizando los diferentes factores y sus respectivas ponderaciones que influyen en su susceptibilidad (Social, Económica y Ambiental); para ello, se aplicó la metodología de los factores geomorfológicos, fisiográficos, geológicos, uso actual del suelos, precipitación, pendiente, radiación solar, humedad relativa, temperatura y cobertura vegetal; todos estos fueron desarrollados a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde se concluyó que la cuenca es representada por 4 niveles de peligro y vulnerabilidad (Muy Alto, Alto, Medio y Bajo). La mencionada investigación respecto a los datos debe ser tomados para permitir un mejor manejo de los recursos hídricos en la región y ayuda a esta investigación a tener en cuenta los factores de riesgo en las cuencas.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Análisis de calidad de la data observada

#### 2.2.1.1 Test de tendencia

##### 2.2.1.1.1 Prueba Mann – Kendall

La prueba de Mann-Kendall (MK) es una prueba bien establecida que no se ve afectada por valores atípicos y no requiere que los datos tengan una distribución normal. Para investigar las fluctuaciones en series temporales hidrometeorológicas, ha sido ampliamente utilizada en muchos estudios (Ashraf et al., 2023). El valor del estadístico S de la prueba MK es:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i), \text{ donde } \text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{si } x_j - x_i > 0 \\ 0; & \text{si } x_j - x_i = 0 \\ -1; & \text{si } x_j - x_i < 0 \end{cases}$$

Donde “n” denota el número de valores, la función “**sgn**” acepta los valores de -1, 0 y 1; si  $x_j < x_i$ ,  $x_j = x_i$  y  $x_j > x_i$  respectivamente.  $x_j$  y  $x_i$  son los valores de datos sucesivos de series temporales a lo largo del tiempo k y j.

Los valores positivos de S indican una tendencia ascendente en la serie temporal, mientras que los valores negativos indican una tendencia a la baja. Suponiendo un tamaño de muestra de  $n > 10$ , la prueba se realiza con una distribución normal ( $\sigma^2 = 1$ ), una media de 0, y probabilidades (E) y varianza (Var), como se muestra a continuación (Ashraf et al., 2023).

si:  $E [S] = 0$ ;

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18}$$

Donde “q” es el número de grupos vinculados, que son observaciones con el mismo valor, pero excluyen las posiciones de números de rango únicos, y  $t_p$  representa el número de valores en el pésimo grupo.

Sin embargo, esta secuencia resumida puede omitirse si los datos no contienen grupos emparejados.

La siguiente ecuación se utiliza para calcular el valor estadístico estandarizado Z MK después de modificar la varianza Var (S).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{si } S < 0 \\ 0, & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{si } S > 0 \end{cases}$$

Para calcular el grado de variación, los valores consistentes de Z se distribuyen normalmente, con una varianza de 1 y una media de 0. El estadístico de prueba Z se emplea para examinar la hipótesis nula (H0). Las series de datos muestran tendencias significativas si Z es mayor que  $Z \alpha/2$ . El valor Z calculado se

compara con la tabla de distribución normal mediante una prueba de dos colas con un nivel de significancia del 10 %.

### 2.2.1.1.2 Correlación de Pearson

La correlación de Pearson, es una medida estadística que cuantifica la relación lineal entre dos variables continuas. Fue desarrollada por el estadístico Karl Pearson. El coeficiente de correlación de Pearson se denota generalmente por la letra  $r$  y se calcula con la siguiente fórmula (Urrutia-Mosquera, 2016):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})^2) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

### 2.2.1.1.3 Regresión lineal simple

La regresión lineal simple constituye una herramienta estadística fundamental para explorar la interacción entre dos o más variables. Su utilidad radica en la capacidad de generar modelos que posibilitan la predicción del comportamiento de una variable dependiente en función de una o más variables independientes. Estas últimas, también conocidas como variables predictivas, son cruciales en la formulación de hipótesis teóricas o en la exploración de relaciones aún no establecidas (Urrutia-Mosquera, 2016).

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$\widehat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_x^2} = \frac{S_y}{S_x} R$$

Donde:

$S_{xy}$  : *Covarianza entre x e y*

$S_x$  : *Desviación estándar de x*

$S_y$  : *Desviación estándar de y*

$R$  : *Coefficiente de correlación de Pearson*

Esta metodología adquiere un valor crucial en el contexto de la completación de datos, donde se empleará como método para complementar nuestra propia serie temporal con los datos proporcionados por PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations). A través de este enfoque, buscamos aplicar los modelos teóricos preexistentes, con el fin de ofrecer una primera aproximación al comportamiento de las variables en estudio.

### **2.2.1.2 Test de homogeneidad y consistencia**

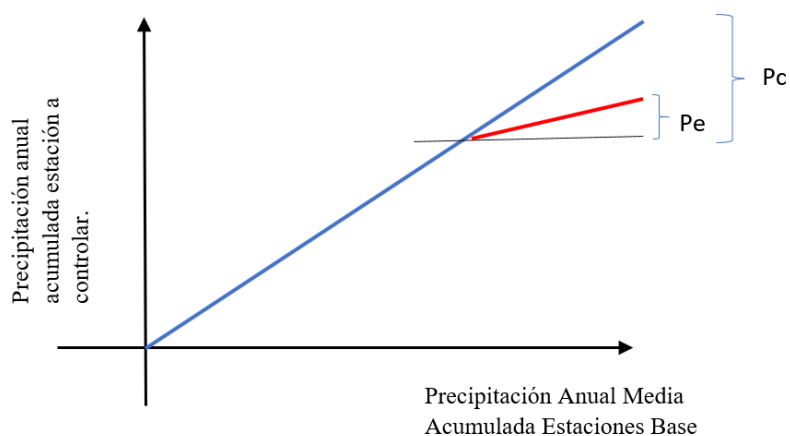
#### **2.2.1.2.1 Análisis de doble masa**

El método de doble masa según Urrutia-Mosquera (2016), verifica la homogeneidad de datos de precipitación comparando la precipitación acumulada de una estación con el promedio acumulado de estaciones vecinas. Se grafica la

precipitación acumulada de la estación en estudio contra la media acumulada de las estaciones base. Una línea recta en la gráfica indica datos consistentes y homogéneos. Si la pendiente cambia, sugiere errores en los datos que requieren corrección. Este método asegura que los registros meteorológicos sean precisos y confiables, permitiendo ajustes cuando se detectan inconsistencias.

### Figura 1

#### *Análisis de doble masa*



*Nota.* Fuente (Urrutia-Mosquera, 2016).

Donde:

Pc: Representa la precipitación correcta o real, que se obtiene de las estaciones base.

Pe: Representa la precipitación estimada o medida en la estación que estamos controlando.

El factor de corrección se calcula como el cociente entre la precipitación correcta (Pc) y la precipitación estimada (Pe). Este factor, denotado como K1, se utiliza para ajustar los valores medidos.

#### 2.2.1.2.2 Método de Pettitt

Prueba no paramétrica, que se basa en rangos y hace caso omiso de la normalidad de la serie, utilizado para detectar cambios en una serie temporal, como un cambio de nivel o una ruptura. Es especialmente útil para analizar datos climáticos o hidrológicos, donde puede haber un cambio en la media de la serie debido a fenómenos naturales o actividades humanas. A continuación, se muestra la ecuación para calcular el estadístico de Pettitt (Guajardo-Panes et al., 2017):

$$K = \max_t \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N \text{sgn}(x_i - x_j) ; \text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & \text{si } x_i > x_j \\ 0, & \text{si } x_i = x_j \\ -1, & \text{si } x_i < x_j \end{cases}$$

- Considerando una serie temporal de datos:  $x_1, x_2 \dots x_n$
- N: cantidad de datos.
- K: Este es el estadístico de Pettitt, representa la Intensidad del cambio más significativo en la serie de datos.

- $max_t$ : Significa que para cada punto  $t$  en la serie temporal, se calcula la siguiente expresión y luego seleccionamos el valor más grande entre todos ellos.
- $\sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N sgn(x_i - x_j)$ : para un punto  $t$  específico, sumamos todos los posibles pares de diferencias entre los valores de la serie de datos antes y después de  $t$ .

### 2.2.1.3 Completación y extensión de datos

#### 2.2.1.3.1 Software Climatol

CLIMATOL es un software especializado en la depuración y homogeneización de datos climatológicos, desarrollado para su integración en el entorno del paquete estadístico R. Su versatilidad y naturaleza de código abierto lo convierten en una herramienta adaptable a diversas plataformas y entornos de trabajo.

Este software ofrece una amplia gama de funcionalidades destinadas a mejorar la calidad de los datos climáticos. Destaca su capacidad para comparar cada serie de datos con una serie de referencia, estimada a partir de un promedio de las demás series, lo que garantiza una comparación precisa y robusta entre ellas.

Proporciona herramientas para la inspección gráfica de los datos y la detección de posibles anomalías, como errores puntuales, saltos en las medias y tendencias. Utiliza pruebas paramétricas para detectar eficientemente estas

anomalías, ofreciendo una base sólida para la depuración y homogeneización de los datos climatológicos.

Además de identificar y corregir errores, CLIMATOL puede ayudar en la interpolación y completación de datos faltantes, especialmente en series temporales de precipitación. Esto es crucial para mantener la integridad y continuidad de las series temporales de datos climáticos, facilitando su uso en diversas aplicaciones, como investigaciones científicas, estudios ambientales y planificación de recursos hídricos.

## **2.2.2 Indicadores de sequía**

### **2.2.2.1 Índice de precipitación estandarizada (SPI)**

El SPI es una herramienta ampliamente utilizada para evaluar y supervisar las condiciones de sequía, ofreciendo una medida estandarizada y cuantitativa de las desviaciones en la precipitación en un período de tiempo específico (Tsesmelis et al., 2021). Puede aplicarse en varias escalas temporales y espaciales y es de gran utilidad en regiones donde la precipitación es la principal fuente de suministro de agua. El SPI ha encontrado aplicaciones en diversos sectores, incluyendo la agricultura, la hidrología y la gestión de recursos hídricos (Fassouli et al., 2021). Su ventaja principal radica en su capacidad para calcularse utilizando únicamente datos de precipitación, los cuales suelen estar fácilmente disponibles en muchas regiones, lo que lo convierte en una herramienta económica y conveniente para evaluar

condiciones de sequía, especialmente en áreas donde otros datos meteorológicos como temperatura y evapotranspiración pueden ser escasos o no confiables (Fassouli et al., 2021).

Además, el SPI es flexible y estandarizado, permitiendo su cálculo en diferentes escalas temporales, lo que posibilita la captura de distintos tipos de eventos de sequía, desde sequías a corto plazo hasta sequías prolongadas (Wagesho & Claire, 2016).

Esta versatilidad también facilita la comparación de la severidad y frecuencia de las sequías en diversas regiones y períodos de tiempo. El SPI se destaca por su simplicidad, flexibilidad y confiabilidad en la detección de eventos de sequía (Guttman, 1999).

El SPI resulta útil para monitorear tanto períodos secos como húmedos en diferentes escalas temporales, lo que facilita la identificación de diversos tipos de sequía, como la meteorológica e hidrológica, y permite la comparación de condiciones climáticas en regiones con diferentes regímenes hidrológicos (Karavitis et al., 2011). Entonces el SPI, basado en un enfoque probabilístico de las precipitaciones, es una herramienta poderosa y bien establecida para describir los patrones y la gravedad de la sequía.

Se considera una sequía cuando el índice toma consistentemente valores negativos o iguales a la unidad, y su Intensidad se mide mediante la suma de los

valores del indicador a lo largo de un período de sequía. valores mayores a 2.00 indican períodos extremadamente húmedos, mientras que valores menores a -2.00 indican sequías extremas, con valores entre -0.99 y 0.99 representando condiciones aproximadamente normales como se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Categorización de la sequía basada en los valores SPI*

<b>Valor SPI</b>	<b>Clasificación</b>
<b>SPI &gt; 2.0</b>	Extremadamente Húmedo
<b>1.50 &lt; SPI ≤ 2.00</b>	Muy Húmedo
<b>-1.00 &lt; SPI ≤ 1.50</b>	Moderadamente Húmedo
<b>-1 &lt; SPI ≤ 1.00</b>	Normal
<b>-1.5 &lt; SPI ≤ -1.00</b>	Moderadamente Seco
<b>-2 &lt; SPI ≤ -1.5</b>	Severamente Seco
<b>SPI ≤ -2.0</b>	Extremadamente Seco

*Nota.* Fuente (Mckee et al., 1993)

Interpretación del SPI: Los valores del SPI pueden ser interpretados de la siguiente manera:

- SPI positivo: Indica condiciones de exceso de precipitación en comparación con la media histórica.
- SPI negativo: Indica condiciones de sequía, donde los valores más negativos representan sequías más intensas.

- SPI cercano a cero: Indica precipitación cercana a la media histórica.

Clasificación de la sequía: Los valores del SPI se pueden clasificar en categorías para caracterizar la intensidad de la sequía o el exceso de lluvia. Estas categorías pueden variar según las escalas de tiempo y la región, pero comúnmente incluyen términos como "seco", "moderadamente seco", "extremadamente seco", "húmedo", "muy húmedo", etc.

El SPI se calcula ajustando una función de densidad de probabilidad a la distribución de frecuencia de lluvia como una suma fuera del intervalo de tiempo de interés. Este proceso se realiza por separado para cada mes o escala de tiempo de la serie temporal de datos de lluvia y para cada ubicación en el intervalo. Luego, cada función de densidad de probabilidad se transforma dentro de la distribución normal estándar. Según (Thom, 1958), los datos de precipitación climática siguen una distribución gamma que es una de las distribuciones que ocurren con más frecuencia en el campo de la hidrología técnica. Es una distribución asimétrica positiva definida sólo para los valores positivos de la variable como a continuación se resume en la Tabla 2:

## **Tabla 2**

*Resumen del cálculo del SPI*

<b>Gamma SPI</b>	<b>Expresión Matemática</b>
------------------	-----------------------------

---

Función de Densidad de

probabilidad; donde  $\beta$  y  $\alpha$  y  
son los parámetros de forma y  
escala, respectivamente.

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}, x > 0$$

---

$\Gamma(\alpha)$  es la Función Gamma.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

---

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se  
pueden estimar de la siguiente  
manera.

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A}, \beta = \frac{\bar{X}}{\alpha}$$

---

Donde  $n$  es el número de  
observaciones y  $\bar{x}$  representa  
la precipitación promedio.

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

---

Después de estimar los  
coeficientes, la función de  
densidad de probabilidad se  
integra con respecto a  $x$ .

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx$$

---

Sustituyendo  $t$  por  $x/\beta$

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

---

Como la función gamma no  
está definida para  $x = 0$ , existe  
la posibilidad de valores cero

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

(Probabilidad acumulada, en la que  $q$  es  
probabilidad cero)

---

Dado que “ $q$ ” es la  
probabilidad de  $x=0$ , es decir,  
la frecuencia de ocurrencia de  
 $x=0$  en todas las series  
observadas. Cuando son  
transformadas en la función de  
distribución estandarizada

*SPI*

$$= \begin{cases} -\left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}, 0 < H(x) \leq 0.5 \\ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}, t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1 - H(x))^2}\right)}, 0.5 < H(x) \leq 1 \end{cases}$$

Donde las constantes corresponden a:  $c_0 = 2.515517$ ,  $c_1 = 0.802853$ ,  $c_2 = 0.010328$ ,  $d_1 = 1.432788$ ,  $d_2 = 0.189269$  y  $d_3 = 0.001308$

---

---

normal, el SPI se expresa  
como:

---

*Nota.* Elaboración propia

### 2.2.2.2 Índice de precipitación y evapotranspiración estandarizada (SPEI)

El SPEI fue propuesto a partir del SPI por (Vicente-Serrano et al., 2010) en 2010, basado en el principio de balance hídrico, el SPEI utiliza la diferencia entre precipitación (P) y evapotranspiración potencial (PET) como condición de entrada para evaluar las condiciones secas y húmedas de la zona.

Vicente-Serrano et al. (2010) proporcionó una descripción completa y detalles de cálculo de la teoría SPEI. El balance clima-agua se calculó de la siguiente manera:

$$D_i = P - PET_i$$

Dónde “ $D_i$ ” es el déficit de humedad (mm) en el mes “i”,  $P_i$  es la precipitación (mm) en el mes “i”, y “ $PET_i$ ” es la evapotranspiración potencial (mm) en el mes “i”. La PET se estima según el método de Penman-Monteith o el Método de Hargreaves (Pei et al., 2020b).

Los valores de “ $D_i$ ” se resumen en diferentes escalas de tiempo:

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} P_{n-1} - (PET)_{n-1}$$

Donde  $k$  es la escala de tiempo mensual y  $n$  es el número de cálculos.

Para ajustar la serie de datos establecida se utilizó una función de densidad de probabilidad log-logística de tres parámetros, la fórmula fue la siguiente:

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

Dónde  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$  son parámetros de escala, forma y origen, respectivamente.

Así, la función de distribución acumulativa de una escala de tiempo determinada quedó dada por:

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

El SPEI se puede obtener fácilmente como los valores estandarizados de  $F(x)$ , el SPEI se calcula como:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}$$

Dónde:

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \text{ para } P \leq 0.5$$

$$P = 1 - f(x)$$

$$C_0 = 2.515517$$

$$C_1 = 0.802853$$

$$C_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

Y “P” es la probabilidad de exceder un valor “Di “determinado,

$P = 1 - F(x)$ . Si  $P > 0.5$ , entonces “P “es reemplazado por “ $1 - P$ ” y se invierte el signo del SPEI resultante (Aranda, 2018).

Utilizando ambos índices (SPEI y SPI), se puede observar y comparar si los periodos de sequía están influenciados por aumentos de temperatura en periodos en los que no hay grandes cambios en las precipitaciones.

El SPEI, por sus características, es un índice especialmente utilizado en estudios relacionados con el efecto del calentamiento global sobre la sequía y el seguimiento de sequías (Politi et al., 2022). La clasificación del SPEI es similar a la del SPI debido a que ambos índices se basan en desviaciones estándar. Tanto el SPI como el SPEI normalizan los datos de precipitación o temperatura a través de la desviación estándar (Vicente-Serrano et al., 2010). Esto significa que los valores

negativos indican condiciones más secas que el promedio, mientras que los valores positivos indican condiciones más húmedas que el promedio. Las categorías de sequía se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Clasificación SPEI*

<b>Valor SPEI</b>	<b>Clasificación</b>
<b><math>SPEI \leq -2</math></b>	Extremadamente Seco
<b><math>-2.0 &lt; SPEI \leq -1.5</math></b>	Muy Seco
<b><math>-1.5 &lt; SPEI \leq -1.0</math></b>	Moderadamente Seco
<b><math>-1.0 &lt; SPEI \leq 1.0</math></b>	Normal
<b><math>-1.0 &lt; SPEI \leq -1.5</math></b>	Moderadamente Húmedo
<b><math>-1.5 &lt; SPEI \leq 2.0</math></b>	Muy Húmedo
<b><math>SPEI &gt; 2.0</math></b>	Extremadamente Húmedo

*Nota.* Fuente (Santini et al., 2023)

### 2.2.2.3 Índice de condición vegetativa (VCI)

El Índice de condición vegetativa (VCI) es una herramienta utilizada para evaluar la salud y la vitalidad de la vegetación en una región específica (Orimoloye et al., 2022). Este índice se calcula mediante la medición de la reflectancia de la vegetación en diferentes bandas espectrales, como el infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (Red), a partir de imágenes de satélite o sensores terrestres (Mupepi & Matsa, 2023).

El VCI se basa en el principio de que la vegetación sana refleja la luz de manera diferente en estas bandas espectrales en comparación con áreas no vegetadas o con vegetación estresada.

Para calcular el índice de condición vegetativa (VCI), se utiliza un índice de vegetación comúnmente conocido como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). El NDVI se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

Donde:

- NIR (Infrarrojo Cercano) es la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano.
- Red es la reflectancia en la banda del rojo.
- El NDVI produce valores que varían en un rango de -1 a 1:

Entonces:

- Valores cercanos a 1 indican una vegetación saludable y densa.
- Valores cercanos a 0 suelen representar suelos o cuerpos de agua.
- Valores negativos indican áreas sin vegetación.

La interpretación del NDVI implica que los valores más altos se asocian con una mayor cantidad de vegetación y una mejor salud vegetativa, mientras que los

valores más bajos sugieren una menor cantidad de vegetación o vegetación estresada.

El VCI utiliza el NDVI como base y a menudo implica comparar los valores de NDVI a lo largo del tiempo para evaluar las tendencias en la condición de la vegetación. Esto es particularmente útil para el monitoreo de cultivos agrícolas, la gestión de recursos naturales y la evaluación de la salud de los ecosistemas.

A continuación, se muestra el procedimiento de cálculo del VCI:

$$VCI = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

Un VCI más bajo indica una condición de sequía y estrés en la vegetación, como se puede apreciar en la tabla 4 (Liang et al., 2021).

**Tabla 4**

*Categorías del VCI: Rangos de valores y sus clasificaciones asociadas*

<b>Valores de VCI (%)</b>	<b>Clasificación</b>
<b><math>0 &lt; VCI &lt; 20</math></b>	Extremadamente seco
<b><math>20 \leq VCI &lt; 40</math></b>	Seco
<b><math>40 \leq VCI &lt; 60</math></b>	Condición normal
<b><math>60 \leq VCI &lt; 80</math></b>	Buena condición
<b><math>VCI \geq 80</math></b>	Condición óptima

*Nota.* Fuente (Senhorelo et al., 2023)

### **2.2.3 Proyecciones futuras considerando cambio climático**

#### **2.2.3.1 Proyecto de intercomparación de modelos acoplados fase 6 (CMIP6)**

El Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados (CMIP) es un programa fundamental para el diseño y la distribución de simulaciones climáticas, siendo un componente esencial en las evaluaciones nacionales e internacionales del cambio climático. Sus principales productos son los Modelos de Circulación General (GCM), gestionados y distribuidos por el Earth System Grid Federation (ESGF) con información estandarizada y de acceso público (Eyring et al., 2016). El uso de GCM en la investigación climática ha aumentado gracias al progreso computacional y al mayor entendimiento de los procesos climáticos, siendo esencial para la toma de decisiones sobre mitigación y adaptación al cambio climático. Sin embargo, antes de utilizar los modelos, es crucial evaluar su capacidad para representar características específicas del sistema climático mediante métricas de desempeño que estimen sus capacidades y limitaciones. Las evaluaciones a escala regional son especialmente importantes debido a la creciente demanda de proyecciones climáticas a nivel local (Rahman & Pekkat, 2024).

El objetivo de CMIP es comprender mejor el cambio climático pasado, presente y futuro en un contexto multimodelo. El CMIP realiza comparaciones periódicas de proyecciones climáticas modelos producidas por diferentes grupos de modelización climática en todo el mundo. Para ello, considera escenarios

alternativos de futuras emisiones y cambios de uso del suelo. Los escenarios incluidos en CMIP6 incorporan distintas trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) y forzamiento radiactivo adicional debido a las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero para el siglo XXI (Viloria et al., 2023).

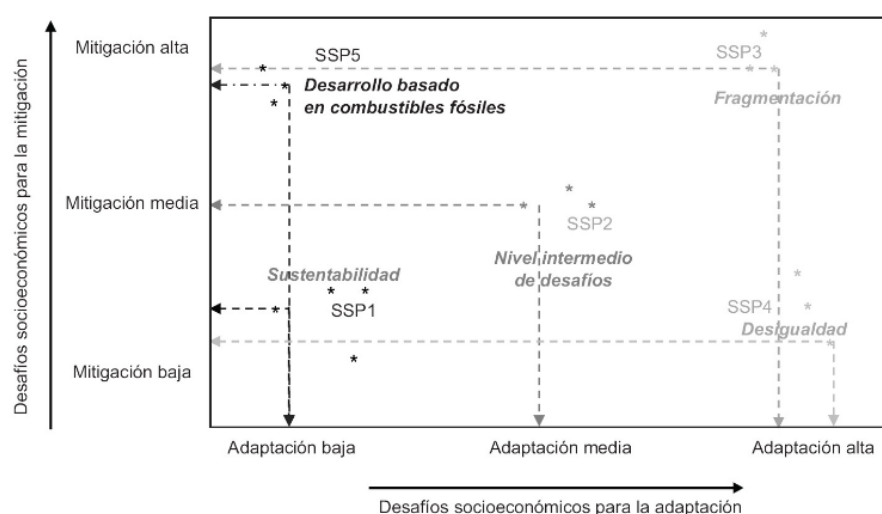
### **2.2.3.2 Trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP)**

Las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) describen futuros posibles del desarrollo socioeconómico y sus desafíos para la mitigación y adaptación al cambio climático. Utilizan narrativas y datos cuantitativos para considerar la evolución económica, la desigualdad, y los cambios demográficos y tecnológicos. Las SSP no incluyen efectos del cambio climático ni políticas climáticas, centrándose en escenarios integrados que combinan supuestos socioeconómicos y ambientales (Escoto Castillo et al., 2017).

Las narrativas de las SSP se dividen en dos dimensiones: desafíos socioeconómicos para la adaptación y retos para la mitigación. Esto genera escenarios que representan condiciones socioeconómicas y ambientales plausibles, ilustrados en un espacio de desafíos con cinco tipos de escenarios posibles (Escoto Castillo et al., 2017).

## Figura 2

*Escenarios de las SSP: Cinco desafíos socioeconómicos en mitigación y adaptación*



*Nota.* Extraído de (Escoto Castillo et al., 2017).

Según la Figura 2, se puede explicar que la Trayectoria Socioeconómica Compartida 1 (SSP1) describe un escenario de "sustentabilidad" con bajos desafíos de mitigación y adaptación, caracterizado por bajo crecimiento poblacional, alto crecimiento económico, altos niveles de educación, buena gobernabilidad, globalización, cooperación internacional, desarrollo tecnológico y conciencia ambiental. En contraste, la SSP3 presenta un escenario de "fragmentación" con altos desafíos, caracterizado por alto crecimiento poblacional, bajo desarrollo

económico, bajos niveles de educación, regionalización y poca conciencia ambiental.

En cuanto el escenario SSP4, con una narrativa de "desigualdad", muestra avances tecnológicos en países desarrollados, pero con beneficios no equitativos, resultando en altos desafíos para la adaptación. El SSP5, aunque optimista en crecimiento económico y desarrollo humano, enfrenta altos desafíos de mitigación debido a la alta dependencia de combustibles fósiles y baja conciencia ambiental. Las trayectorias SSP1 y SSP5 son relativamente optimistas, mientras que SSP3 y SSP4 son más pesimistas. La SSP2 se encuentra en un punto intermedio entre SSP1 y SSP3.

El escenario SSP3-7.0 supone una vía de desarrollo social en la que las políticas se centran cada vez más en cuestiones de seguridad nacional y regional. El nacionalismo y los conflictos regionales relegan los asuntos globales a un segundo plano. La inversión en educación y desarrollo tecnológico disminuye y la desigualdad aumenta. Este escenario supone un forzamiento radiactivo adicional de  $7 \text{ W/m}^2$  para el año 2100 (Viloria et al., 2023).

### **2.2.3.3 Conjunto de datos de proyección climática de alta resolución basado en CMIP6 para Perú y Ecuador: BASD-CMIP6-PE**

Este conjunto de datos se basa en las proyecciones climáticas del CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) y ha sido ajustado para corregir sesgos y

reducido estadísticamente utilizando datos de 10 Modelos Climáticos Globales (GCM) con una resolución espacial de 1° aproximadamente 10 km, diseñado para los países de Perú y Ecuador por Fernandez-Palomino et al. (2024) .

De esta investigación se detalla el Periodo de Simulación que es un conjunto de datos que incluye simulaciones históricas como proyecciones futuras:

- Simulaciones históricas: 1850-2014.
- Proyecciones futuras: 2015-2100.

Se incluyen variables climáticas como precipitación, temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima y Escenarios Socioeconómicos de ésta última se consideran 3 vías socioeconómicas compartidas (SSP):

- SSP1-2.6: Escenario de sostenibilidad.
- SSP3-7.0: Escenario de desarrollo regional desigual.
- SSP5-8.5: Escenario de desarrollo basado en combustibles fósiles.

El método de ajuste de sesgo y reducción de escala estadística (BASD) utilizado para generar BASD-CMIP6-PE se enfoca en preservar las tendencias climáticas observadas. Este método incluye los siguientes pasos:

- Ajuste de sesgo: Corrección de sesgos sistemáticos en las simulaciones de los GCM comparándolos con datos de observación.

- Reducción de escala estadística: Aplicación de técnicas estadísticas para ajustar los datos a una escala espacial más fina (10 km).
- Evaluación del Desempeño

El desempeño del método BASD se evaluó mediante:

El BASD reduce significativamente los sesgos entre las simulaciones CMIP6-GCM y los datos de observación.

Mejóro las representaciones estadísticas a largo plazo, incluyendo valores medios, extremos y patrones estacionales.

Las simulaciones ajustadas fueron adecuadas para modelar el caudal de los ríos, mostrando precisión en diferentes condiciones de flujo (medio, bajo y alto).

### **Tabla 5**

*Modelos utilizados del BAS-CMIP6-PE ajustados por sesgo y reducidos estadísticamente bajo la trayectoria económica SSP3-7.0.*

<b>ítem</b>	<b>Modelos CMIP 6</b>	<b>Asignación</b>
1	EC-Earth3	r1i1p1f1
2	IPSL-CM6A-LR	r1i1p1f1
3	UKESM1-0-LL	r1i1p1f1
4	CNRM-CM6-1	r1i1p1f1
5	CNRM-ESM2-1	r1i1p1f1
6	MIROC6	r1i1p1f1
7	GFDL-ESM4	r1i1p1f1
8	MRI-ESM2-0	r1i1p1f1
9	MPI-ESM1-2-HR	r1i1p1f1
10	CanESM5	r1i1p1f1

Nota. El conjunto de datos *BASD-CMIP6-PE* está disponible en <https://www.pik-potsdam.de/data/doi10.5880PIK.2023.001/>

### 2.3 Definición de términos

- Sequía meteorológica

Es un período de tiempo con precipitación significativamente por debajo del promedio registrado para una región específica, lo que lleva a un déficit en el suministro de agua (Eslamian & Eslamian, 2017).

- Sequía agrícola

Se refiere a una condición en la cual la humedad del suelo es insuficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos en un momento específico de su ciclo de crecimiento, afectando la producción agrícola (Eslamian & Eslamian, 2017).

- Sequía hidrológica

Evento que ocurre cuando hay una reducción significativa en las reservas de agua (ríos, embalses, acuíferos) debido a un período prolongado de déficit de precipitación (Eslamian & Eslamian, 2017).

- Evapotranspiración potencial (PET)

Es la cantidad de agua que se evaporaría y transpiraría si la humedad del suelo fuera suficiente, considerando las condiciones climáticas (Santini et al., 2023).

- Bias adjustment (Ajuste de sesgo)

Es una técnica utilizada para corregir las desviaciones sistemáticas (sesgos) en las salidas de modelos climáticos comparándolas con observaciones históricas (Bouramdane, 2023).

- Downscaling (Reducción de escala).

Es el proceso de tomar datos de modelos climáticos globales y transformarlos a una resolución espacial más fina que sea más útil para evaluaciones locales o regionales (Xu et al., 2023).

- Riesgo de sequía

La probabilidad de ocurrencia de una sequía en un período de tiempo específico y sus potenciales impactos negativos en el medio ambiente, la economía y la sociedad (Charusombat & Niyogi, 2011).

- Modelo climático global (GCM)

Herramientas matemáticas que simulan la circulación de la atmósfera y los océanos de la Tierra para proyectar cambios climáticos futuros (Li et al., 2024).

- Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Es un indicador crucial en la teledetección por satélite para evaluar el crecimiento de la vegetación. Se ha aplicado ampliamente para monitorear los cambios dinámicos de la vegetación (Yang et al., 2024).

- Cambio Climático

Alteraciones a largo plazo en los patrones de temperatura y precipitación de la Tierra, principalmente debido a las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación (Abara et al., 2020).

- Escenarios Socioeconómicos Compartidos (SSP)

Son escenarios desarrollados para describir posibles futuros de desarrollo socioeconómico que pueden influir en las emisiones de gases de efecto invernadero y en la vulnerabilidad al cambio climático (Yang & Cui, 2019).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Ámbito de estudio**

El ámbito de estudio elegido para la presente investigación fue la provincia de Candarave, precisamente se evaluó los datos en el periodo de (1980 -2022) respecto a las estaciones meteorológicas de : Aricota , el cual tiene un código 117054 , latitud  $17^{\circ}19'44.9''S$  , longitud  $70^{\circ}14'14.3W$  , Altitud 2850 msnm ; Candarave el cual tiene un código 117019 , latitud  $17^{\circ}16'3.9''S$ , longitud  $70^{\circ}15'19.3W$ , Altitud 3415 msnm ; Cairani el cual tiene un código 117030 , latitud  $17^{\circ}16'52.35''S$ , longitud  $70^{\circ}21'45.67W$ , Altitud 3386 msnm.

##### **3.1.1 Ubicación política**

La provincia de Candarave se encuentra en el departamento de Tacna. Contando con los siguientes límites:

Norte : Provincia de Mariscal Nieto, del departamento de Moquegua.

Este : Provincia de El Collao, del departamento de Puno.

Sur : Provincia de Tarata.

Oeste : Provincia de Jorge Basadre.

### **3.1.2 Ubicación geográfica**

Ubicado al norte del departamento de Tacna, la provincia se encuentra limitado por las siguientes coordenadas:

Latitud sur :  $16^{\circ} 45' - 17^{\circ} 30'$

Longitud oeste :  $70^{\circ} 00' - 70^{\circ} 35'$

## **3.2 Tipo y diseño de investigación**

### **3.2.1 Tipo de investigación**

En cuanto a la metodología, este trabajo de investigación será realizado considerando el tipo aplicado, que según Dissanayake (2016) se refiere a la investigación diseñada para abordar preguntas específicas que tienen aplicaciones directas a la sociedad. Este enfoque es vital para aplicar la teoría a desafíos actuales de la comunidad y los sectores productivos, en particular para abordar las sequías históricas y sus proyecciones futuras en Candarave, Tacna.

### **3.2.2 Diseño de investigación**

Así también, corresponde a un diseño no experimental que se define como la investigación que se realiza sin manipular las variables y no varían en forma intencional como indica Sesabo (2024), por ende, se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para su análisis.

Y es de corte longitudinal según Delgado y Llorca (2004), donde explican que un estudio longitudinal representa datos a lo largo del tiempo en puntos o periodos, para hacer análisis respecto al cambio o transición en las medidas.

### **3.3 Unidad de análisis**

Sequías históricas y futuras en la provincia de Candarave.

### **3.4 Población y/o muestra de estudio**

#### **3.4.1 Población**

Para el presente trabajo de investigación se consideró como población a las provincias de las zonas altoandinas de Tacna.

#### **3.4.2 Muestra**

Para el presente trabajo de investigación se consideró como muestra a la provincia de Candarave.

##### **3.4.2.1 Características hidrometeorológicas de Candarave**

###### **3.4.2.1.1 Temperatura**

En las estaciones meteorológicas de Candarave, las temperaturas más altas suelen registrarse durante los meses de verano (diciembre a marzo). Por ejemplo, en la estación de Aricota, el valor máximo alcanzó 22.1 °C en enero, febrero y marzo de 1983. En contraste, las temperaturas mínimas se suelen observar en

invierno (junio a septiembre); en la estación de Cairani, se reportó una mínima de  $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  en julio de 1986. Estas variaciones, detalladas en la

Tabla 6, reflejan las características climáticas propias de la región.

**Tabla 6**

*Valores máximos y mínimos de temperatura registrados en las estaciones meteorológicas de la provincia de Candarave, periodo 1980 – 2022*

<b>Estación</b>	<b>Temperatura máxima (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Temperatura mínima (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Pico de temperatura máxima</b>	<b>Pico de temperatura mínima</b>
<b>Aricota</b>	22.1	-0.3	Enero, febrero, Marzo de 1983	Julio de 1981, Julio de 2010
<b>Cairani</b>	18.2	-0.4	Enero de 2015	Julio de 1986
<b>Candarave</b>	20.1	-0.03	Enero de 2010	Junio de 2022

*Nota.* Elaboración propia.

#### **3.4.2.1.2 Precipitación**

En las estaciones meteorológicas de Candarave, las precipitaciones más altas suelen registrarse durante los meses de verano (diciembre a marzo), coincidiendo con la temporada de lluvias. Durante este periodo, febrero presenta los valores más elevados, con un promedio máximo de 64.76 mm en la estación de Candarave (ver Tabla 7). De manera similar, en las estaciones de Cairani y Aricota, los promedios para febrero son de 41.44 mm y 37.01 mm, respectivamente.

**Tabla 7**

*Precipitación mensual promedio registrada en las estaciones meteorológicas de la provincia de Candarave, periodo 1980 – 2022*

<b>Precipitación mensual promedio</b>	<b>Aricota (mm)</b>	<b>Cairani (mm)</b>	<b>Candarave (mm)</b>
Enero	30.87	40.12	55.69
Febrero	37.01	41.44	64.76
Marzo	18.61	19.8	30.72
Abril	1.14	1.68	2.71
Mayo	0.36	0.54	0.41
Junio	0.35	0.51	0.81
Julio	0.49	0.8	1.25
Agosto	0.25	0.39	0.52
Setiembre	0.27	0.8	0.89
Octubre	0.58	0.86	1.1
Noviembre	0.87	0.7	2.19
Diciembre	10.58	11.26	16.39

*Nota.* Elaboración propia.

El evento más significativo ocurrió en febrero de 2001, cuando se registraron los máximos históricos de precipitación: 228.2 mm en la estación de Candarave, 156.27 mm en Cairani y 129.7 mm en Aricota (ver Tabla 8).

Estos valores extremos reflejan los picos de lluvias que pueden darse durante eventos climáticos extraordinarios, como El Niño.

En contraste, los meses de invierno (junio a septiembre) se caracterizan por precipitaciones mínimas. En agosto, por ejemplo, la estación de Aricota registró tan solo 0.25 mm de promedio, un claro indicativo del clima semiárido de la región andina, donde la disponibilidad de agua es muy estacional.

### **Tabla 8**

*Valores máximos de precipitación registrados en las estaciones meteorológicas de la provincia de Candarave, periodo 1980 – 2022*

<b>Estación</b>	<b>Precipitación máxima (mm)</b>	<b>Pico de precipitación máxima</b>
<b>Aricota</b>	129.7	Febrero de 2001
<b>Cairani</b>	156.27	Febrero de 2001
<b>Candarave</b>	228.2	Febrero de 2001

*Nota.* Elaboración propia.

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

### **3.5.1 Técnicas de recolección de datos**

En virtud de la necesidad de asegurar la integridad y representatividad de los datos, se planteó la implementación de una técnica de selección de muestra basada en una revisión de la data de las estaciones meteorológicas disponibles. Esta medida se adoptó en virtud de las limitaciones identificadas en la disponibilidad de

datos históricos completos en el periodo de interés. Dada la heterogeneidad en la calidad y exhaustividad de los registros meteorológicos entre estaciones, se consideró imperativo realizar una revisión visual para descartar aquellas estaciones que no cumplen con los requisitos de completitud temporal. Este proceso de descarte resultó esencial para preservar la validez y representatividad de la muestra, dado que la omisión de estaciones con datos incompletos mitiga el riesgo de sesgos en la selección aleatoria de la muestra. Por ende, la inspección ocular de las estaciones meteorológicas se presentó como una estrategia necesaria para garantizar la robustez y coherencia de la selección de muestra en el marco de esta investigación climatológica.

### **3.5.2 Instrumentos de recolección de datos**

#### **3.5.2.1 Obtención de data meteorológica**

Se redactó una solicitud dirigida al decanato para la obtención de datos meteorológicos de las tres estaciones de Candarave, con el objetivo de que esta fuera remitida al SENAMHI para su respectiva respuesta (ver anexos).

#### **3.5.2.2 Recopilación de datos climáticos históricos**

Se adquirieron datos climáticos históricos de las estaciones meteorológicas relevantes en la provincia, lo cual permitió evaluar patrones climáticos pasados.

### **3.5.2.3 Modelos climáticos y proyecciones futuras**

Se utilizaron modelos climáticos para generar proyecciones futuras, recopilando datos de dichos modelos para períodos específicos y comparándolos con los registros históricos obtenidos.

### **3.5.2.4 Imágenes satelitales**

Se emplearon imágenes satelitales para analizar la vegetación y otros indicadores ambientales relevantes, contribuyendo así a la caracterización de sequías en la región.

### **3.5.2.5 Revisión de documentación histórica**

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva que incluyó la revisión de documentos históricos, informes meteorológicos antiguos y otras fuentes escritas, obteniendo información valiosa sobre eventos climáticos registrados en el pasado.

### **3.5.3 Técnicas de análisis e interpretación de la información**

Se llevó a cabo la caracterización de las sequías históricas utilizando los índices de sequía SPI, SPEI y VCI, procesando los datos con el software "R Studio". Durante este análisis, se detectaron patrones relacionados con la intensidad, frecuencia y duración de los periodos de sequías más relevantes según los índices planteados, lo que permitió identificar eventos críticos de manera detallada.

### **3.5.3.1 Comparación con datos observacionales**

Se compararon los resultados obtenidos mediante los índices climáticos con observaciones y registros climáticos locales, lo que permitió validar la capacidad de los índices para caracterizar sequías.

### **3.5.3.2 Análisis de proyecciones futuras**

Se evaluaron las proyecciones futuras en base a los modelos climáticos, identificando posibles cambios en la frecuencia e intensidad de las sequías.

### **3.5.3.3 Presentación gráfica de resultados**

Se utilizaron gráficos y visualizaciones para presentar de manera efectiva los resultados del análisis, facilitando su interpretación para audiencias diversas.

### **3.5.4 Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas**

Para probar y demostrar las hipótesis planteadas se sometieron pruebas teóricas. Consistiendo en contrastar la información obtenida de periodos de sequía con los registros que presenta el SENAMHI. Asimismo, para evaluar la calidad de los datos, se realizó el tratamiento de los datos mediante la aplicación de diversas pruebas, incluyendo la prueba de homogeneidad, que se llevó a cabo utilizando los métodos de Pettit, Buishand y la prueba de homogeneidad estándar normal. Para evaluar la tendencia de los datos, se aplicó la prueba T de Student, mientras que la consistencia se analizó mediante el método de doble masa.

### **3.6 Materiales e instrumentos**

Los materiales y softwares empleados para la realización de la investigación son:

- Información geográfica
- Información meteorológica (precipitación y temperatura)
- Softwares

#### **3.6.1 Información geográfica**

Para obtener las imágenes satelitales necesarias para la caracterización de las sequías, se utilizó la plataforma Google Earth Engine (GEE), utilizando datos de los satélites LANDSAT 5 y LANDSAT 8. Algunos años fueron omitidos debido a la disponibilidad limitada de imágenes: LANDSAT 5 cubre el periodo entre el 1 de enero de 1985 y el 31 de diciembre de 2011, mientras que LANDSAT 8 proporciona datos desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2022.

Para garantizar la calidad de los datos satelitales, se incluyó únicamente imágenes con un porcentaje de nubosidad menor al 10% (Quille-Mamani et al., 2024). Este criterio fue aplicado para reducir errores en la interpretación y cálculo de los índices de vegetación, minimizando así las interferencias atmosféricas en las imágenes.

Además, los periodos específicos que se consideraron para la caracterización de sequías fueron seleccionados con base en los resultados obtenidos de los índices SPI y SPEI con escalas temporales de 3, 6 y 9 meses. Se tomaron en cuenta aquellos periodos en los que ambos índices mostraron valores menores a -2, los cuales corresponden a eventos de sequía extrema. Los periodos seleccionados fueron los indicados en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Periodos críticos de sequía identificados por SPI y SPEI (1980-2022)*

<b>Año</b>	<b>Meses</b>	<b>Índices que consideran el periodo crítico</b>
<b>1989</b>	Diciembre	SPI (6, 9 meses)
<b>1990</b>	Enero, Febrero	SPI (6, 9 meses)
<b>1991</b>	Noviembre, Diciembre	SPI (3, 6, 9 meses)
<b>1992</b>	Enero a Octubre	SPI (3, 6, 9 meses)
<b>1996</b>	Enero a Noviembre	SPI (3, 6, 9 meses)
<b>1997</b>	Octubre, Noviembre, Diciembre	SPEI (3 meses)
<b>1998</b>	Marzo a Noviembre	SPEI (3, 6, 9 meses)
<b>2009</b>	Noviembre, Diciembre	SPI (9 meses)
<b>2010</b>	Enero	SPI (9 meses)
	Junio a Diciembre	SPEI (3, 6, 9 meses)
<b>2011</b>	Julio a Noviembre	SPEI (3, 6 meses)
<b>2015</b>	Noviembre, Diciembre	SPI (3, 6, 9 meses)
		SPEI (3 meses)

<b>2016</b>	Enero	SPI (3, 6, 9 meses) SPEI (3 meses)
<b>2020</b>	Agosto a Noviembre	SPEI (3 meses)
<b>2021</b>	Marzo a Diciembre	SPEI (3, 6, 9 meses)
<b>2022</b>	Enero a Septiembre	SPEI (3, 6, 9 meses)

*Nota.* Elaboración propia.

### **3.6.2 Información meteorológica de precipitación**

La serie de datos históricos de precipitación fue proporcionada por el SENAMHI. Para la selección de las estaciones meteorológicas en la región de Candarave, se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Ubicación geográfica: Se priorizaron las estaciones dentro de la región de Candarave, con condiciones geográficas representativas de la zona de estudio.
- Condiciones climáticas: Se consideraron estaciones con características climáticas similares, relevantes para el análisis de la sequía en la región.
- Disponibilidad de datos: Se eligieron estaciones que contaran con una serie de datos completos y confiables, cubriendo el mayor periodo posible, con especial énfasis en datos desde 1980 hasta 2022.

Si bien existen otras estaciones meteorológicas en la región, algunas de ellas no cuentan con series de datos completas o presentan interrupciones superiores al 50% de los registros. Por lo cual se optó por el uso de la data grillada PISCO, la cual genera, a partir de la data observada, la red completa de datos de precipitación en el periodo 1981-2016.

### **3.6.3 Información meteorológica de temperatura**

Para el uso de la información geográfica se agrupó y diferenció tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Temporalidad
- Altitud geográfica
- Distribución espacial de las estaciones meteorológicas

### **3.6.4 Instrumentos**

- Software Microsoft Office
- Software libre QGIS
- Software libre R Studio
- Google Earth Engine

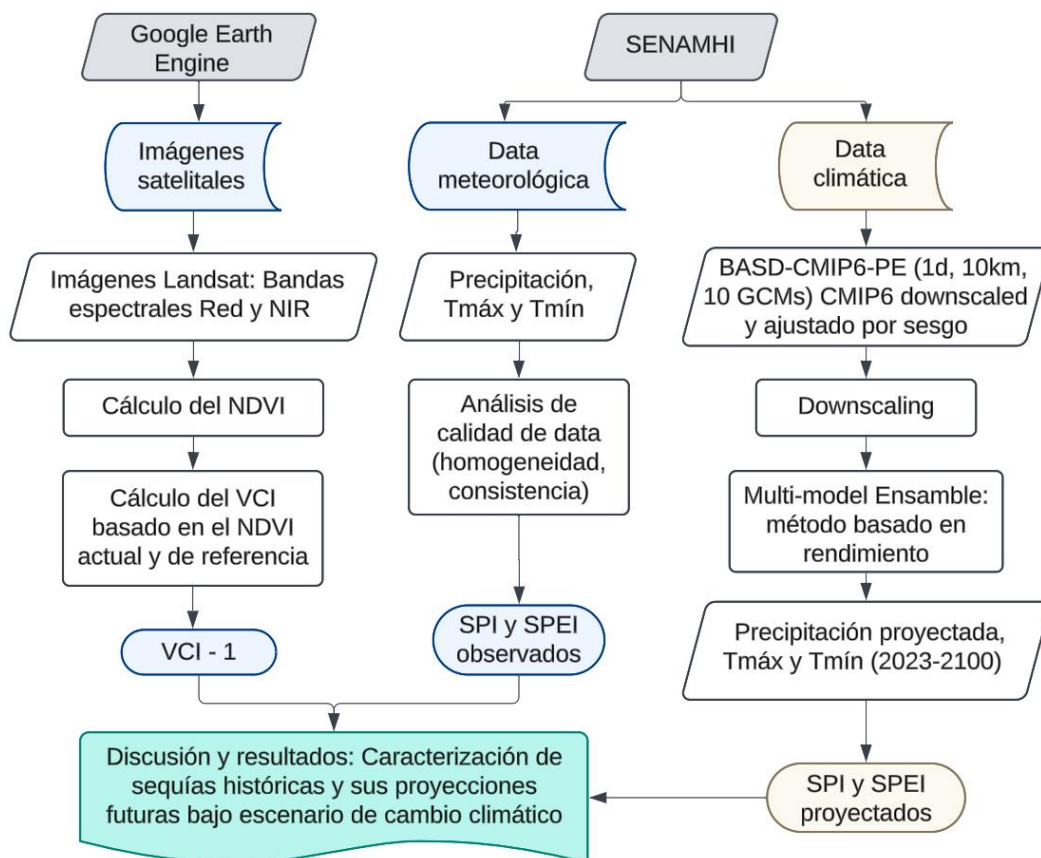
## **3.7 Tratamiento y análisis de datos**

### 3.7.1 Flujo de trabajo

La figura 3 muestra el flujo de trabajo que ilustra el esquema metodológico seguido en esta investigación para la caracterización y proyección de sequías en el contexto del cambio climático.

**Figura 3**

*Flujo de trabajo para la caracterización y proyección de sequías*



*Nota.* Elaboración propia.

### 3.7.2 Sintetización de métodos

La tabla 10 sintetiza los pasos, procesos y técnicas empleadas en cada etapa del flujo de trabajo de la presente investigación.

**Tabla 10**

*Sintetización de métodos para la presente investigación*

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Técnicas y procesos usados</b>
<b>Obtención de datos</b>	Recolección de imágenes satelitales y datos meteorológicos y climáticos.	Google Earth Engine para obtener imágenes Landsat (bandas Rojo y NIR). Datos de precipitación, T <sub>máx</sub> y T <sub>mín</sub> de SENAMHI, complementados con PISCO y Climatol. CMIP6 ajustado por sesgo para proyecciones.
<b>Análisis de Calidad de Datos Meteorológicos</b>	Verificación de la consistencia y homogeneidad de los datos meteorológicos.	Análisis de homogeneidad y consistencia en series de precipitación, T <sub>máx</sub> y T <sub>mín</sub> para asegurar la validez de los datos usados en SPI y SPEI.
<b>Cálculo de Índices de Sequía (SPI y SPEI Observados)</b>	Obtención de índices de sequía basados en datos observados.	Cálculo de SPI y SPEI usando precipitación y temperatura, lo que permite caracterizar sequías históricas en el área de estudio.
<b>Procesamiento de NDVI y VCI</b>	Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el	NDVI calculado a partir de bandas Rojo y NIR de Landsat. Cálculo del VCI usando NDVI actual y de referencia, para evaluar la

	Índice de Condición de Vegetación (VCI).	condición de la vegetación. Selección de periodos específicos para el VCI basada en resultados de SPI y SPEI (3, 6 y 9 meses) en eventos de sequía extrema (valores < -2).
<b>Downscaling de Datos Climáticos</b>	Ajuste de resolución de los datos CMIP6 para mejorar la precisión espacial de las proyecciones.	Técnicas de downscaling y corrección de sesgo para adaptar CMIP6 a resoluciones locales (1d, 10 km) para mejorar la aplicabilidad en el área de estudio.
<b>Ensamble Multimodelo</b>	Uso de un ensamble de modelos para proyecciones climáticas más robustas.	Ensamble multimodelo basado en rendimiento de distintos modelos CMIP6, lo que reduce la incertidumbre en las proyecciones futuras.
<b>Cálculo de SPI y SPEI Proyectados</b>	Cálculo de índices de sequía futuros usando datos climáticos proyectados (2023-2100).	Cálculo de SPI y SPEI para escenarios proyectados, usando precipitación proyectada y T <sub>máx</sub> /T <sub>mín</sub> .
<b>Discusión de resultados</b>	Interpretación de la caracterización de sequías y sus proyecciones bajo cambio climático.	Comparación de sequías históricas y proyectadas para identificar tendencias y posibles impactos futuros en el contexto de cambio climático.

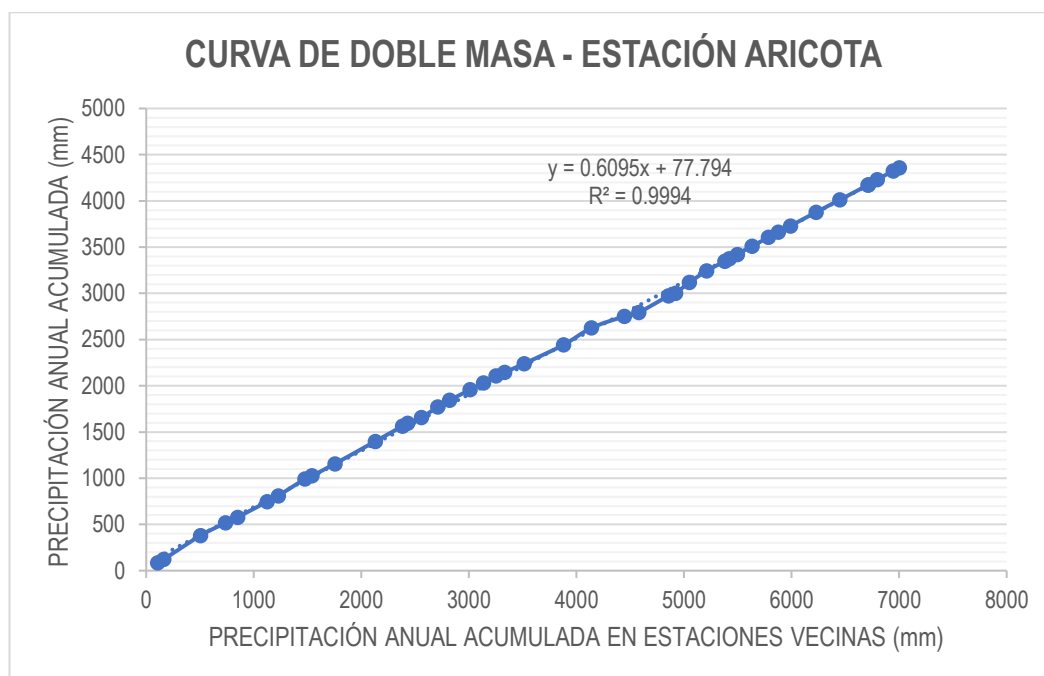
*Nota.* Elaboración propia.

### 3.7.3 Análisis de consistencia de la información

#### 3.7.3.1 Análisis de doble masa

##### Figura 4

*Curva de doble masa de la estación Aricota en el periodo 1980 – 2022*

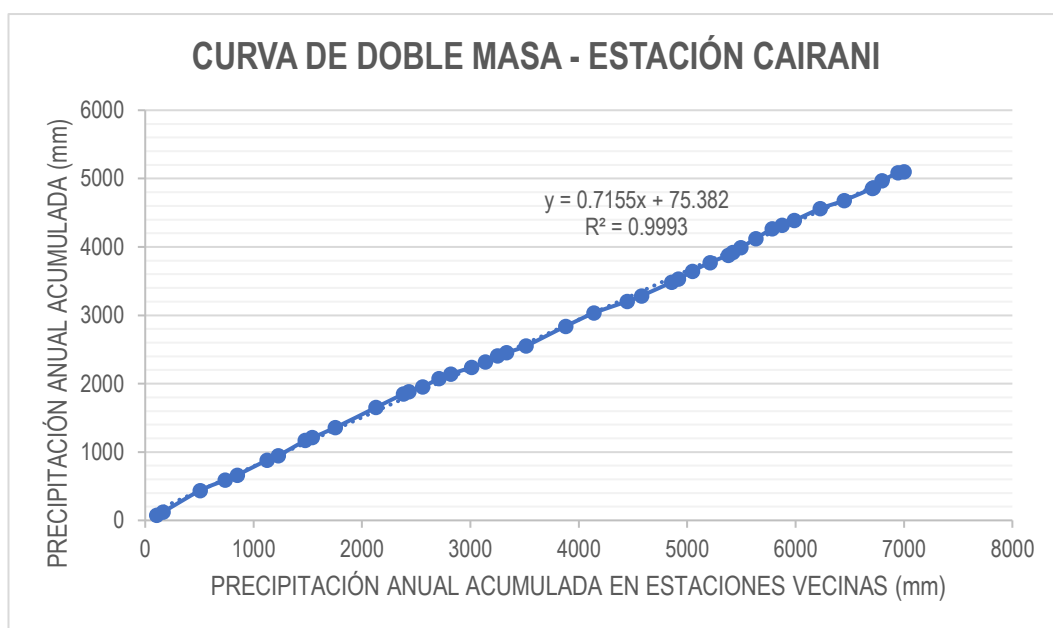


*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 4 se observa que al comparar la precipitación acumulada de la estación Aricota con la de las estaciones vecinas, no presenta un cambio de pendiente (el coeficiente de correlación es cercano a la unidad). Por lo que podemos concluir que sus datos están correctos y no requiere corrección alguna.

**Figura 5**

*Curva de doble masa de la estación Cairani en el periodo 1980 – 2022*

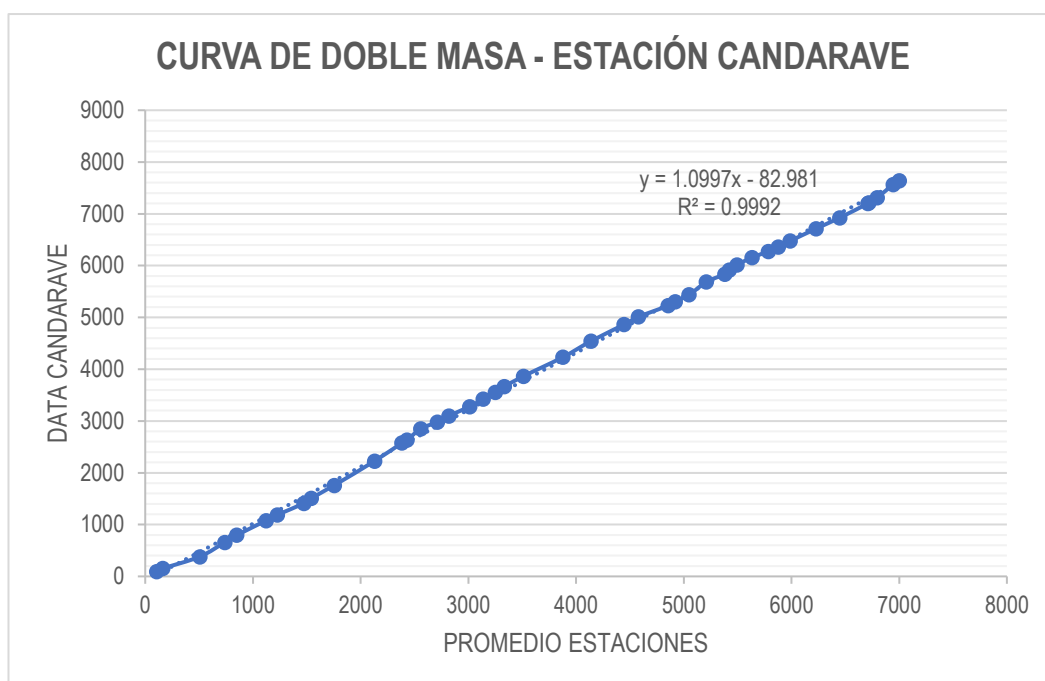


*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 5 se observa que al comparar la precipitación acumulada de la estación Cairani con la de las estaciones vecinas, no presenta un cambio de pendiente (el coeficiente de correlación es cercano a la unidad). Por lo que podemos concluir que sus datos están correctos y no requiere corrección alguna.

**Figura 6**

*Curva de doble masa de la estación Candarave en el periodo 1980 – 2022*



*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 6 se observa que al comparar la precipitación acumulada de la estación Candarave con la de las estaciones vecinas, no presenta un cambio de pendiente (el coeficiente de correlación es cercano a la unidad). Por lo que podemos concluir que sus datos están correctos y no requiere corrección alguna.

### **3.7.4 CMIP6 downscaled y ajustado por sesgo**

El conjunto de datos BASD-CMIP6-PE, aunque desarrollado para Perú y ya ajustado a una menor resolución, aún necesita una corrección de sesgo a escala local. El mapeo de cuantiles (QM, por sus siglas en inglés) es uno de los métodos más populares para la corrección de sesgo. Este método ajusta la función de distribución acumulativa (CDF) del valor predicho a la CDF del valor observado (X. Wang et al., 2022). Además, muchos métodos de corrección paramétricos o no paramétricos se originaron en este principio, como las transformaciones derivadas de distribuciones, transformaciones paramétricas y cuantiles empíricos (X. Wang et al., 2022). En este estudio, el mapeo de cuantiles no paramétrico usando el método de cuantiles empíricos mostró un mejor desempeño en la corrección de las variables meteorológicas. Este método utiliza la distribución empírica de los datos sin ajustarlos a ninguna distribución teórica.

### **3.7.5 Multi model ensemble**

Después de evaluar el desempeño del modelo, se obtuvieron datos mensuales de salida del modelo climático para precipitación y temperaturas máxima y mínima a partir del conjunto multimodelo BASD-CMIP6-PE (MME, por sus siglas en inglés). Diversos investigadores han concluido que los MME superan a los modelos individuales al reducir la incertidumbre en las simulaciones (Lei et al., 2023). En este estudio, se siguió la metodología propuesta por Lei et al. (2023)

para combinar los modelos mediante un esquema ponderado. En resumen, se calcula el rango del modelo individual para cada variable meteorológica utilizando cuatro métricas (CC, RMSE, RB y  $\sigma$ ), y luego estos rangos se normalizan de manera que sumen uno. El promedio de las cuatro métricas se utiliza como peso del modelo, por lo que la suma de los pesos también es igual a uno.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Calidad de la data meteorológica disponible para el uso de los índices de sequía**

La calidad de los datos hidrometeorológicos (precipitación, temperatura máxima y mínima) en la provincia de Candarave es esencial para asegurar la confiabilidad de los índices de sequía utilizados en este estudio, tales como el SPI, SPEI y VCI. La evaluación de la calidad de la data hidrometeorológica abarca aspectos como la consistencia, homogeneidad y tendencia de los datos completados, dado que estos factores influyen directamente en la precisión de la caracterización de las sequías. La consistencia de los datos se evaluó mediante el análisis de doble masa, tal como se presenta en la Figura 4 para la estación Aricota, en la Figura 5 para la estación Cairani y en la Figura 6 para la estación Candarave

En la Tabla 11 se presenta un resumen de la calidad de los datos de precipitación en el periodo de estudio (1980 a 2022); la Tabla 12 contiene la información de la temperatura máxima y la Tabla 13 la correspondiente a la temperatura mínima.

**Tabla 11**

*Resumen de la calidad de los datos de precipitación (1980 – 2022) en la provincia de Candarave*

<b>Estación</b>	<b>Consistencia</b>	<b>Homogeneidad</b>	<b>Tendencia</b>
<b>Aricota</b>	Es consistente	Es homogénea	Tendencia no significativa (creciente)
<b>Cairani</b>	Es consistente	Es homogénea	Tendencia no significativa (creciente)
<b>Candarave</b>	Es consistente	Es homogénea	Tendencia no significativa (creciente)

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 12**

*Resumen de la calidad de los datos de temperatura máxima (1980 – 2022) en la región de Candarave*

<b>Estación</b>	<b>Consistencia</b>	<b>Homogeneidad</b>	<b>Tendencia</b>
<b>Aricota</b>	Es consistente	Es homogénea	Tendencia no significativa (creciente)
<b>Cairani</b>	Es consistente	Es homogénea	Tendencia no significativa (creciente)
<b>Candarave</b>	Es consistente	Es homogénea	Tendencia no significativa (creciente)

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 13**

*Resumen de la calidad de los datos de temperatura mínima (1980 – 2022) en la región de Candarave*

<b>Estación</b>	<b>Consistencia</b>	<b>Homogeneidad</b>	<b>Tendencia</b>
<b>Aricota</b>	Es consistente	Es homogénea	Tendencia no significativa (creciente)
<b>Cairani</b>	Es consistente	Es homogénea	Tendencia no significativa (creciente)
<b>Candarave</b>	Es consistente	Es homogénea	Tendencia no significativa (creciente)

*Nota.* Elaboración propia.

En cuanto a la homogeneidad de la **Tabla 11**, **Tabla 12** y **Tabla 13**, se aplicaron los métodos de Pettit, Buishand y la prueba de homogeneidad estándar normal, para identificar posibles rupturas o cambios en las series de datos. Los análisis indicaron que las series de datos de las tres estaciones son homogéneas, lo que asegura la ausencia de cambios significativos que comprometan su uso.

Finalmente, la tendencia se evaluó mediante la prueba T de Student para detectar posibles patrones significativos en los datos a lo largo del tiempo, al analizar la serie temporal de los datos, no se detecta un cambio estadísticamente relevante en los patrones de precipitación a lo largo del tiempo.

## **4.2 Caracterización de las sequías históricas (1980 – 2022).**

### **4.2.1 Resultados del SPI**

Para la caracterización de las sequías en las 3 estaciones meteorológicas mencionadas en la Tabla 14 identificadas en la Provincia de Candarave, se calculó y caracterizó con el SPI en la escala de 3 meses, para el análisis de las sequías a corto plazo, la escala de 6 meses para evaluar impactos a mediano plazo, y a escala de 9 meses para el análisis de las sequías a largo plazo. Los resultados se presentan en gráficos realizados en el programa R Studio con uso de la variable precipitación, a cada estación meteorológica, las 3 áreas a partir de la región sombreada de verde representan valores de SPI (Clasificación de Sequía), indican una precipitación inferior a la media. Se considera un periodo de sequía, cuando los valores del SPI son iguales o menores a -1, considerando al primer mes como el inicio de la sequía, mientras que la duración de la sequía está determinada por los números de meses consecutivos con valores de SPI menores a -1, así mismo el tiempo entre dos eventos de sequía, se contabiliza desde el inicio del evento de sequía hasta el inicio de un nuevo evento.

**Tabla 14**

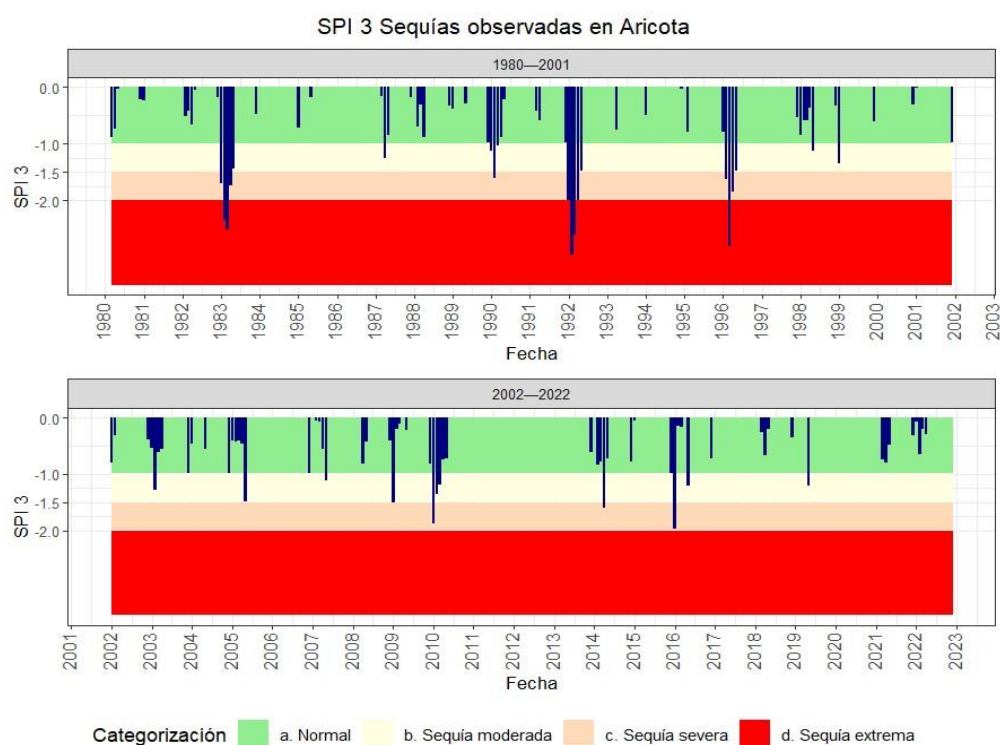
*Descripción de las estaciones meteorológicas principales en la Provincia de Candarave.*

Estación Meteorológica	Código	Latitud	Longitud	Altitud	Periodo de Datos
Aricota	117054	17°19'44.9''S	70°14'14.3W	2850 msnm.	1980- 2022
Cairani	117030	17°16'52.35''S	70°21'45.67W	3386 msnm.	1980- 2022
Candarave	117019	17°16'3.9''S	70°15'19.3W	3415 msnm.	1980- 2022

*Nota.* Elaboración propia a partir de datos del portal web del SENAMHI.

## Figura 7

Resultados del SPI escala de 3 meses en la estación meteorológica de ARICOTA (1980-2022).



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

La caracterización de sequías con escala de 3 meses es empleada debido a la captura de déficits o excesos de precipitación a corto plazo, relacionados con estaciones agrícolas o épocas secas, el gráfico solo visualiza valores por debajo de 0, ya que si el SPI adopta un valor negativo se enmarca a una categoría de sequía según la leyenda.

**Tabla 15**

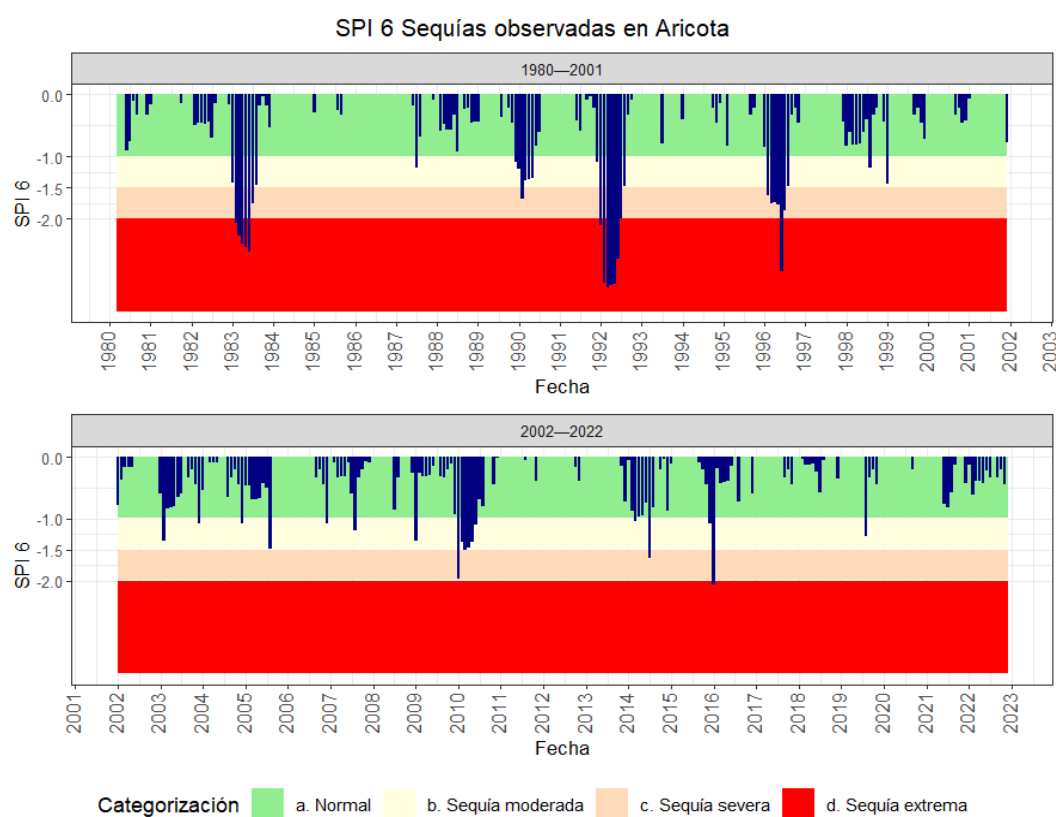
*Resumen clasificación sequia escala SPI -3, Estación Meteorológica Aricota.*

ESTACIÓN: ARICOTA				
CATEGORIZACIÓN SPI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPI ≤ -1 (Sequía moderada)	1987-04-01	1987-06-01	2	-1.26
	1998-05-01	1998-06-01	1	-1.12
	1999-01-01	1999-02-01	1	-1.35
	2003-02-01	2003-05-01	3	-1.28
	2005-05-01	2005-06-01	1	-1.48
	2007-05-01	2007-06-01	1	-1.12
	2016-05-01	2016-06-01	1	-1.21
	2019-05-01	2019-06-01	1	-1.21
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1990-01-01	1990-06-01	5	-1.6
	2009-01-01	2009-04-01	3	-1.51
	2010-01-01	2010-06-01	5	-1.87
	2014-04-01	2014-06-01	2	-1.6
	2016-01-01	2016-04-01	3	-1.96
	1990-02-01	1990-06-01	4	-1.6
	2009-01-01	2009-04-01	3	-1.51
	2010-01-01	2010-06-01	5	-1.87
	2014-04-01	2014-06-01	2	-1.6
	2016-01-01	2016-04-01	3	-1.96
SPI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1983-01-01	1983-06-01	5	-2.51
	1992-01-01	1992-06-01	5	-2.95
	1996-02-01	1996-06-01	4	-2.81

*Nota.* Elaboración propia.

## Figura 8

*Resultados del SPI escala de 6 meses en la estación Meteorológica Aricota (1980-2022).*



*Nota.* Elaboración propia. (Graficado con programa Rstudio).

La figura mostrada de escala de 6 meses permite detectar déficits de agua que comienzan a impactar los suelos, los cultivos a mediano plazo, y la recarga de acuíferos. Solo visualiza valores por debajo de 0, ya que si el SPI adopta un valor negativo se enmarca a una categoría de sequía según la leyenda.

**Tabla 16**

*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -6, Estación meteorológica*

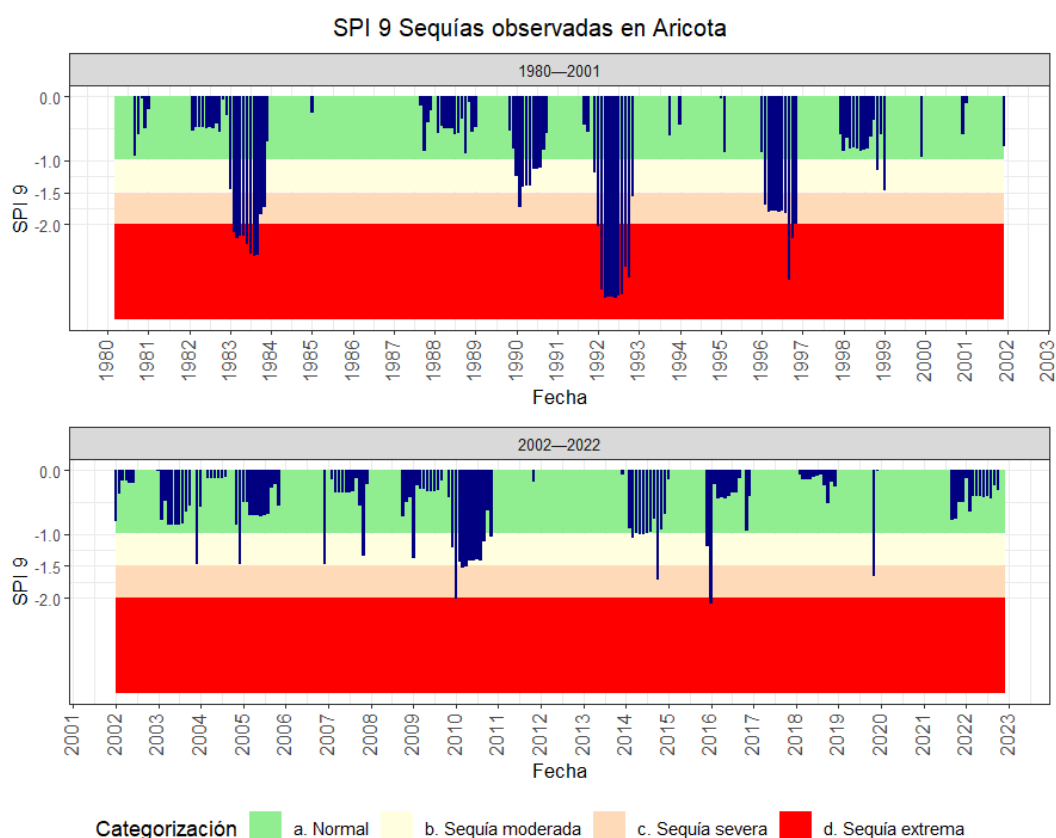
*Aricota.*

ESTACIÓN: ARICOTA				
CATEGORIZACIÓN SPI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPI ≤ -1 (Sequía moderada)	1987-07-01	1987-09-01	2	-1.17
	1998-08-01	1998-11-01	3	-1.18
	1999-01-01	1999-02-01	1	-1.43
	2003-02-01	2003-08-01	6	-1.35
	2003-12-01	2004-02-01	2	-1.08
	2004-12-01	2005-09-01	9	-1.48
	2006-12-01	2007-01-01	1	-1.08
	2007-08-01	2008-01-01	5	-1.18
	2009-01-01	2009-07-01	6	-1.35
	2019-08-01	2019-12-01	4	-1.27
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1989-12-01	1990-08-01	8	-1.67
	2010-01-01	2010-09-01	8	-1.97
	2014-03-01	2014-09-01	6	-1.63
	1990-02-01	1990-08-01	6	-1.67
	2010-01-01	2010-09-01	8	-1.97
	2014-07-01	2014-09-01	2	-1.63
SPI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1983-01-01	1984-01-01	12	-2.54
	1991-12-01	1992-11-01	11	-3.11
	1996-02-01	1996-12-01	10	-2.84
	2015-12-01	2016-02-01	2	-2.06

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 9**

*Resultados del SPI escala de 9 meses en la estación meteorológica Aricota (1980-2022).*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

La escala de 9 meses de la figura mostrada abarca tres trimestres consecutivos, lo que permite identificar déficits o excesos de precipitación que pueden afectar las reservas de agua subterránea, embalses y lagos, cuya respuesta a las lluvias es más lenta que la de los cultivos. Solo visualiza valores por debajo de 0, ya que si el SPI adopta un valor negativo se enmarca a una categoría de sequía según la leyenda.

**Tabla 17**

*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -9, Estación meteorológica*

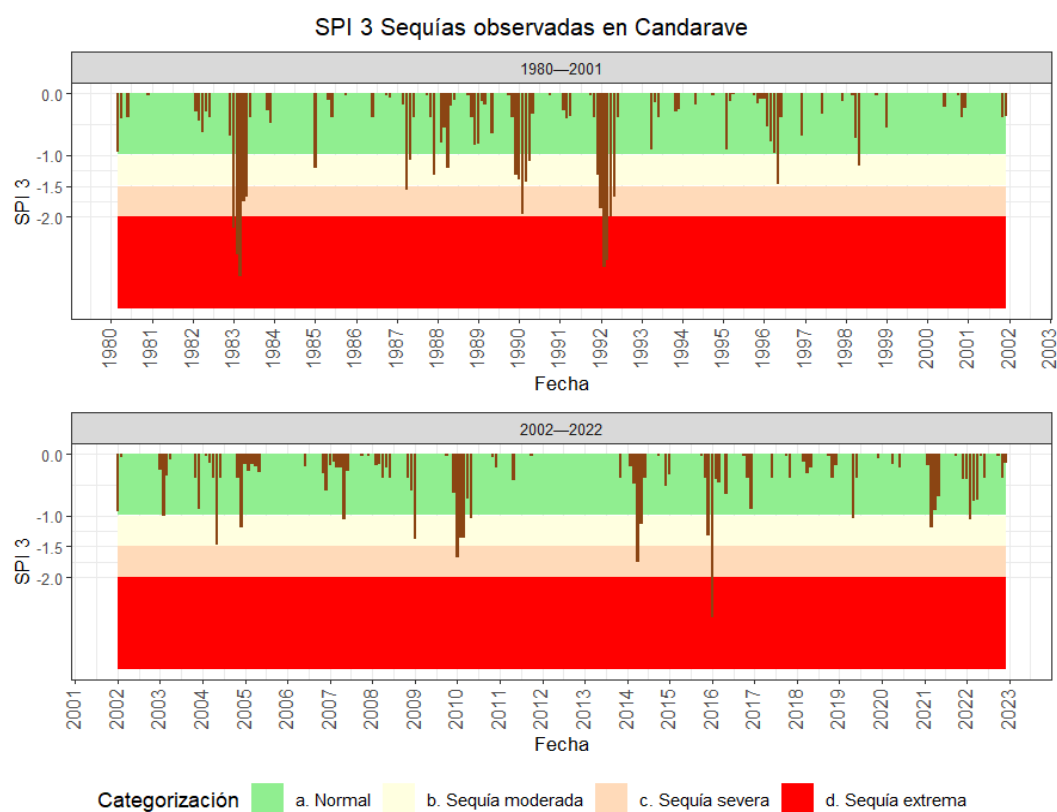
*Aricota.*

ESTACIÓN: ARICOTA				
CATEGORIZACIÓN SPI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPI ≤ -1 (Sequía moderada)	1998-11-01	1999-02-01	3	-1.47
	2003-12-01	2004-02-01	2	-1.48
	2004-12-01	2005-12-01	12	-1.48
	2006-12-01	2007-01-01	1	-1.48
	2007-11-01	2008-01-01	2	-1.35
	2009-01-01	2009-10-01	9	-1.39
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1990-01-01	1990-11-01	10	-1.73
	2014-03-01	2015-02-01	11	-1.72
	2019-11-01	2020-01-01	2	-1.67
	1990-02-01	1990-11-01	9	-1.73
	2014-10-01	2015-02-01	4	-1.72
	2019-11-01	2020-01-01	2	-1.67
SPI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1983-01-01	1984-01-01	12	-2.5
	1991-12-01	1992-12-01	12	-3.16
	1996-02-01	1996-12-01	10	-2.87
	2009-12-01	2010-12-01	12	-2.01
	2016-01-01	2016-02-01	1	-2.10

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 10**

*Resultados del SPI escala de 3 meses en la estación meteorológica de Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

La caracterización de sequías con escala de 3 meses es empleada debido a la captura déficits o excesos de precipitación a corto plazo, relacionados con estaciones agrícolas o épocas secas, el gráfico solo visualiza valores por debajo de 0, ya que si el SPI adopta un valor negativo se enmarca a una categoría de sequía según la leyenda.

**Tabla 18**

*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -3, Estación meteorológica*

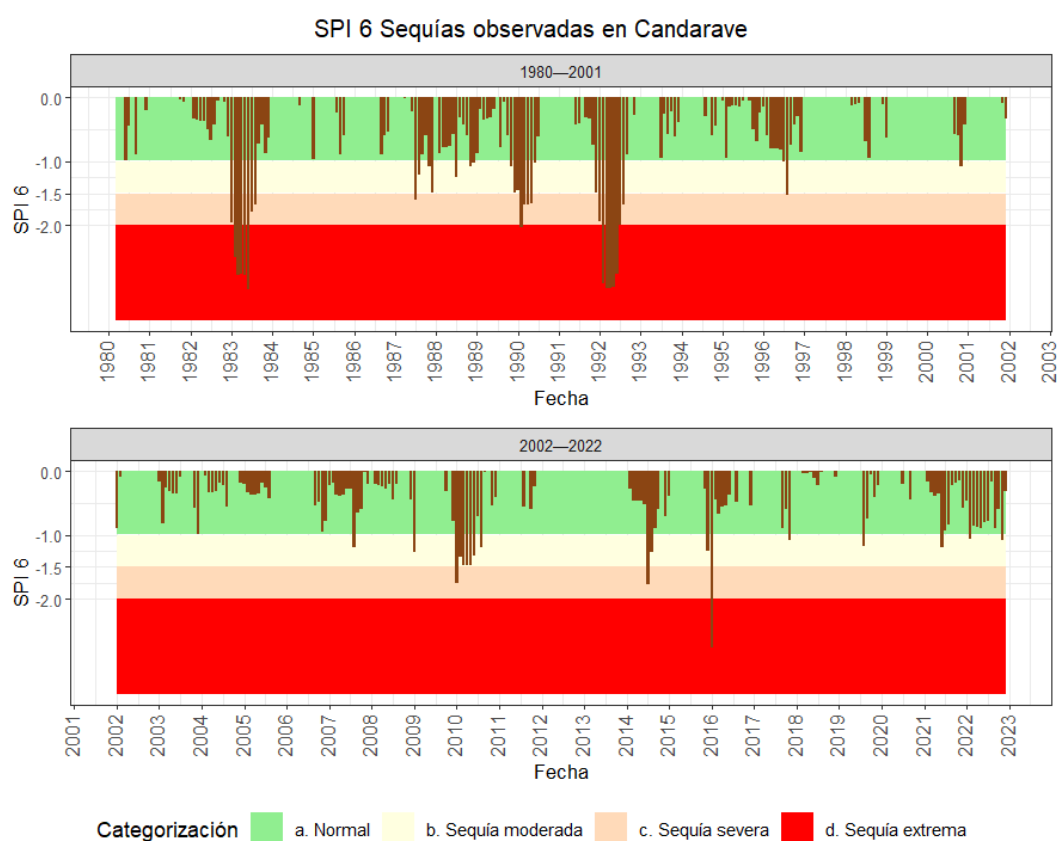
*Candarave.*

ESTACIÓN: CANDARAVE				
CATEGORIZACIÓN SPI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPI ≤ -1 (Sequía moderada)	1985-01-01	1985-02-01	1	-1.21
	1987-12-01	1988-01-01	1	-1.32
	1988-04-01	1988-07-01	3	-1.2
	1996-05-01	1996-07-01	2	-1.47
	1998-05-01	1998-06-01	1	-1.17
	2003-02-01	2003-05-01	3	-1
	2004-05-01	2004-07-01	2	-1.47
	2004-12-01	2005-06-01	6	-1.19
	2007-05-01	2007-07-01	2	-1.06
	2009-01-01	2009-02-01	1	-1.39
	2019-05-01	2019-07-01	2	-1.04
	2021-03-01	2021-06-01	3	-1.2
	2022-02-01	2022-07-01	5	-1.06
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1987-04-01	1987-07-01	3	-1.56
	1989-12-01	1990-06-01	6	-1.96
	2010-01-01	2010-06-01	5	-1.68
	2014-04-01	2014-07-01	3	-1.75
	1987-04-01	1987-07-01	3	-1.56
	1990-02-01	1990-06-01	4	-1.96
	2010-01-01	2010-06-01	5	-1.68
2014-04-01	2014-07-01	3	-1.75	
SPI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1983-01-01	1983-07-01	6	-2.96
	1991-12-01	1992-07-01	7	-2.82
	2015-12-01	2016-04-01	4	-2.66

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 11**

*Resultados del SPI escala de 6 meses en la estación meteorológica Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

La figura mostrada de escala de 6 meses permite detectar déficits de agua que comienzan a impactar los suelos, los cultivos a mediano plazo, y la recarga de acuíferos. Solo visualiza valores por debajo de 0, ya que si el SPI adopta un valor negativo se enmarca a una categoría de sequía según la leyenda.

**Tabla 19**

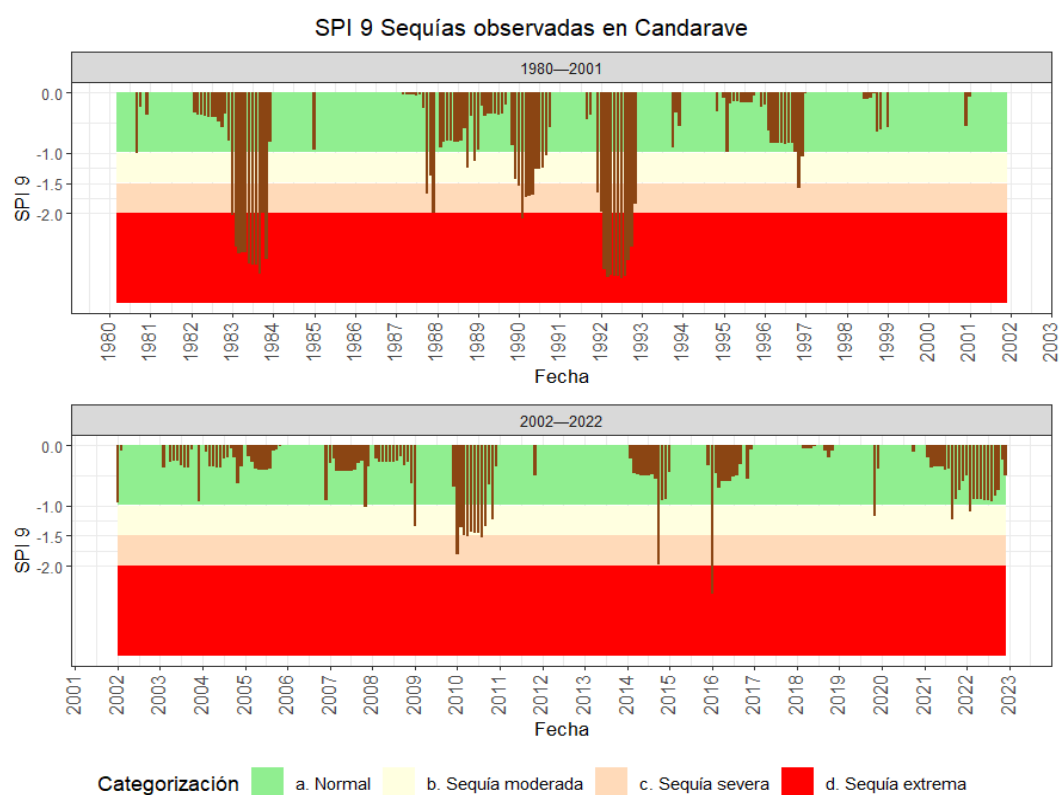
*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -6, Estación meteorológica Candarave.*

ESTACIÓN: CANDARAVE				
CATEGORIZACIÓN SPI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPI ≤ -1 (Sequía moderada)	1988-07-01	1989-07-01	12	-1.25
	2000-11-01	2001-02-01	3	-1.08
	2007-08-01	2008-01-01	5	-1.2
	2009-01-01	2009-02-01	1	-1.27
	2017-11-01	2017-12-01	1	-1.08
	2019-08-01	2020-01-01	5	-1.17
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1987-07-01	1988-01-01	6	-1.6
	1996-07-01	1997-01-01	6	-1.53
	2010-01-01	2010-10-01	9	-1.76
	2014-07-01	2014-11-01	4	-1.78
	1987-07-01	1988-01-01	6	-1.6
	1996-08-01	1997-01-01	5	-1.53
	2010-01-01	2010-10-01	9	-1.76
SPI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1983-01-01	1984-01-01	12	-3.01
	1989-11-01	1990-08-01	9	-2.04
	1991-12-01	1992-10-01	10	-2.99
	2015-12-01	2016-02-01	2	-2.76
	1992-01-01	1992-10-01	9	-2.99

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 12**

*Resultados del SPI escala de 9 meses en la estación meteorológica Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

La escala de 9 meses de la figura mostrada abarca tres trimestres consecutivos, lo que permite identificar déficits o excesos de precipitación que pueden afectar las reservas de agua subterránea, embalses y lagos, cuya respuesta a las lluvias es más lenta que la de los cultivos. Solo visualiza valores por debajo de 0, ya que si el SPI adopta un valor negativo se enmarca a una categoría de sequía según la leyenda.

**Tabla 20**

*Cuadro Resumen clasificación sequía escala SPI -9, Estación meteorológica*

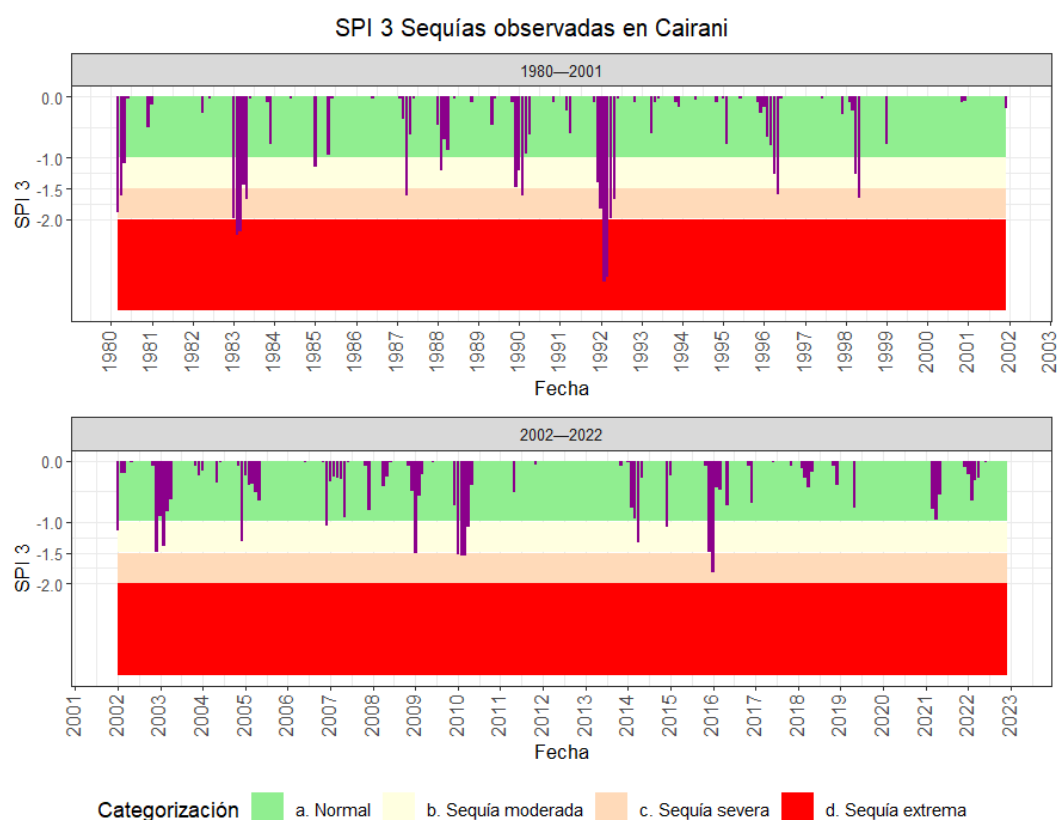
*Candarave.*

ESTACIÓN: CANDARAVE				
CATEGORIZACIÓN SPI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPI ≤ -1 (Sequía moderada)	1980-09-01	1980-11-01	2	-1.01
	2007-11-01	2008-01-01	2	-1.02
	2009-01-01	2009-02-01	1	-1.35
	2019-11-01	2020-01-01	2	-1.18
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1987-10-01	1989-10-01	24	-1.99
	1996-11-01	1997-02-01	3	-1.59
	2010-01-01	2011-01-01	12	-1.81
	2014-10-01	2015-02-01	4	-1.98
	1987-10-01	1989-10-01	24	-1.99
	1996-11-01	1997-02-01	3	-1.59
	2010-01-01	2011-01-01	12	-1.81
	2014-10-01	2015-02-01	4	-1.98
SPI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1983-01-01	1984-01-01	12	-3
	1989-12-01	1990-11-01	11	-2.09
	1991-12-01	1992-12-01	12	-3.07
	2016-01-01	2016-02-01	1	-2.47

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 13**

*Resultados del SPI escala de 3 meses en la estación meteorológica Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

La caracterización de sequías con escala de 3 meses es empleada debido a la captura déficits o excesos de precipitación a corto plazo, relacionados con estaciones agrícolas o épocas secas, el gráfico solo visualiza valores por debajo de 0, ya que si el SPI adopta un valor negativo se enmarca a una categoría de sequía según la leyenda.

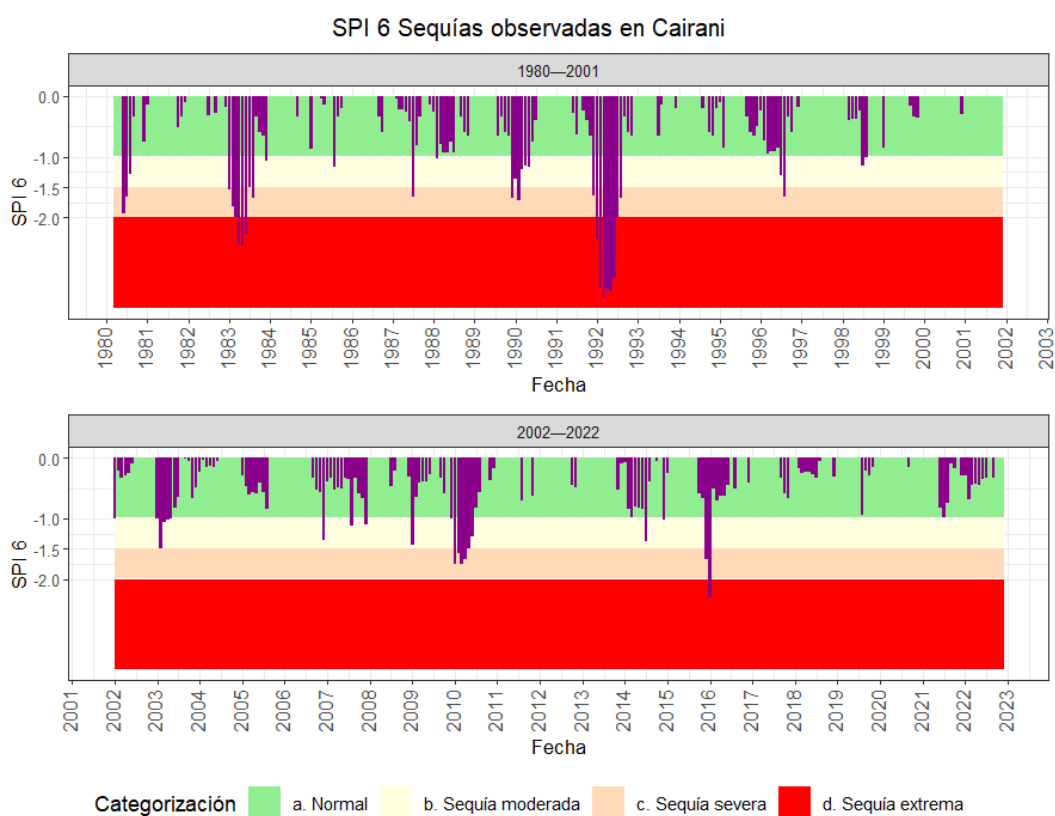
**Tabla 21***Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -3, Estación M. Cairani.*

ESTACIÓN: CAIRANI				
CATEGORIZACIÓN SPI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPI ≤ -1 (Sequía moderada)	1985-01-01	1985-02-01	1	-1.15
	1988-02-01	1988-05-01	3	-1.2
	2002-01-01	2002-04-01	3	-1.13
	2002-12-01	2003-05-01	5	-1.48
	2004-12-01	2005-06-01	6	-1.32
	2006-12-01	2007-07-01	7	-1.06
	2014-04-01	2014-06-01	2	-1.33
	2014-12-01	2015-02-01	2	-1.08
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1980-03-01	1980-07-01	4	-1.89
	1987-04-01	1987-07-01	3	-1.62
	1989-12-01	1990-05-01	5	-1.62
	1996-04-01	1996-07-01	3	-1.6
	1998-04-01	1998-06-01	2	-1.66
	2009-01-01	2009-04-01	3	-1.51
	2010-01-01	2010-06-01	5	-1.55
	2015-12-01	2016-04-01	4	-1.82
	1980-03-01	1980-07-01	4	-1.89
	1987-04-01	1987-07-01	3	-1.62
	1990-02-01	1990-05-01	3	-1.62
	1996-05-01	1996-07-01	2	-1.6
	1998-05-01	1998-06-01	1	-1.66
2009-01-01	2009-04-01	3	-1.51	
2010-01-01	2010-06-01	5	-1.55	
2016-01-01	2016-04-01	3	-1.82	
SPI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1983-01-01	1983-07-01	6	-2.26
	1991-12-01	1992-07-01	7	-3.01

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 14**

*Resultados del SPI escala de 6 meses en la estación meteorológica Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

La figura mostrada de escala de 6 meses permite detectar déficits de agua que comienzan a impactar los suelos, los cultivos a mediano plazo, y la recarga de acuíferos. Solo visualiza valores por debajo de 0, ya que si el SPI adopta un valor negativo se enmarca a una categoría de sequía según la leyenda.

**Tabla 22**

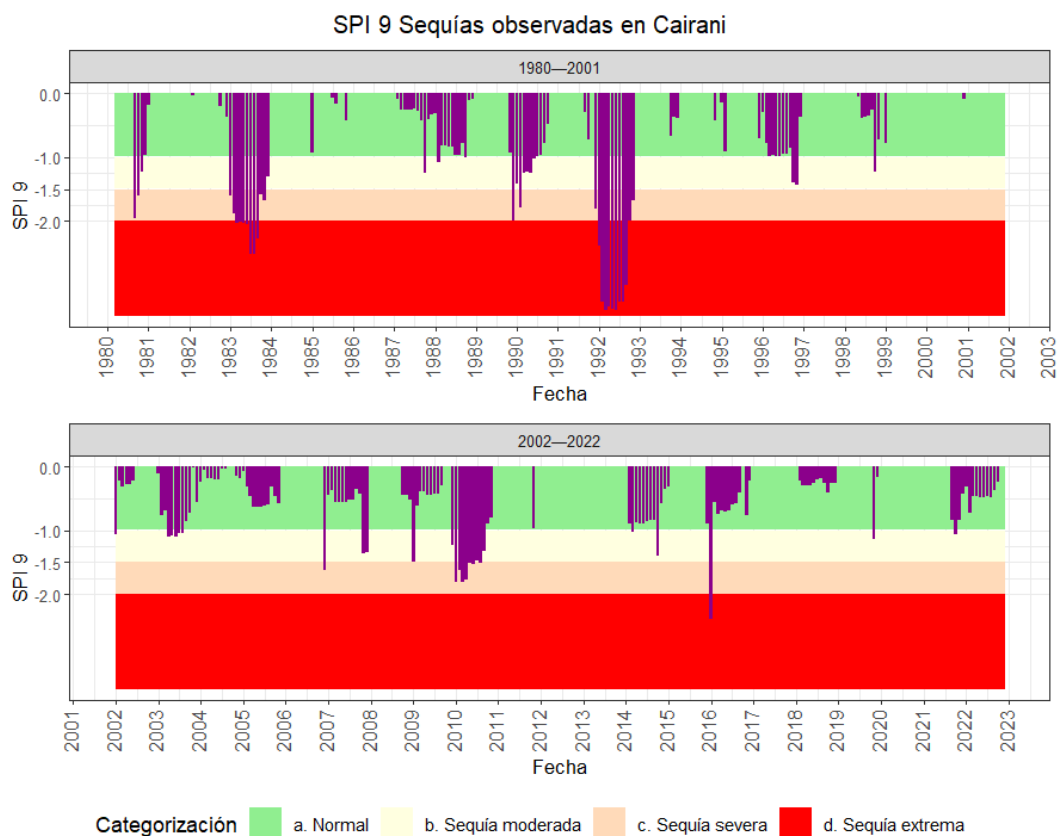
*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -6, Estación Meteorológica Cairani.*

ESTACIÓN: CAIRANI				
CATEGORIZACIÓN SPI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPI ≤ -1 (Sequía moderada)	1985-08-01	1985-11-01	3	-1.16
	1988-02-01	1988-08-01	6	-1.02
	1998-07-01	1998-09-01	2	-1.15
	2002-01-01	2002-07-01	6	-1
	2003-01-01	2003-08-01	7	-1.49
	2006-12-01	2008-01-01	13	-1.35
	2009-01-01	2009-07-01	6	-1.43
	2014-07-01	2014-09-01	2	-1.38
	2014-12-01	2015-02-01	2	-1.02
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1980-06-01	1980-10-01	4	-1.94
	1987-07-01	1987-10-01	3	-1.66
	1989-12-01	1990-08-01	8	-1.72
	1996-07-01	1996-11-01	4	-1.65
	2010-01-01	2010-09-01	8	-1.75
	1980-06-01	1980-10-01	4	-1.94
	1987-07-01	1987-10-01	3	-1.66
	1989-12-01	1990-08-01	8	-1.72
	1996-08-01	1996-11-01	3	-1.65
2010-01-01	2010-09-01	8	-1.75	
SPI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1983-01-01	1984-01-01	12	-2.47
	1991-12-01	1992-12-01	12	-3.31
	2015-12-01	2016-02-01	2	-2.31

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 15**

*Resultados del SPI escala de 9 meses en la estación meteorológica Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

La escala de 9 meses de la figura mostrada abarca tres trimestres consecutivos, lo que permite identificar déficits o excesos de precipitación que pueden afectar las reservas de agua subterránea, embalses y lagos, cuya respuesta a las lluvias es más lenta que la de los cultivos. Solo visualiza valores por debajo de 0, ya que si el SPI adopta un valor negativo se enmarca a una categoría de sequía según la leyenda.

**Tabla 23**

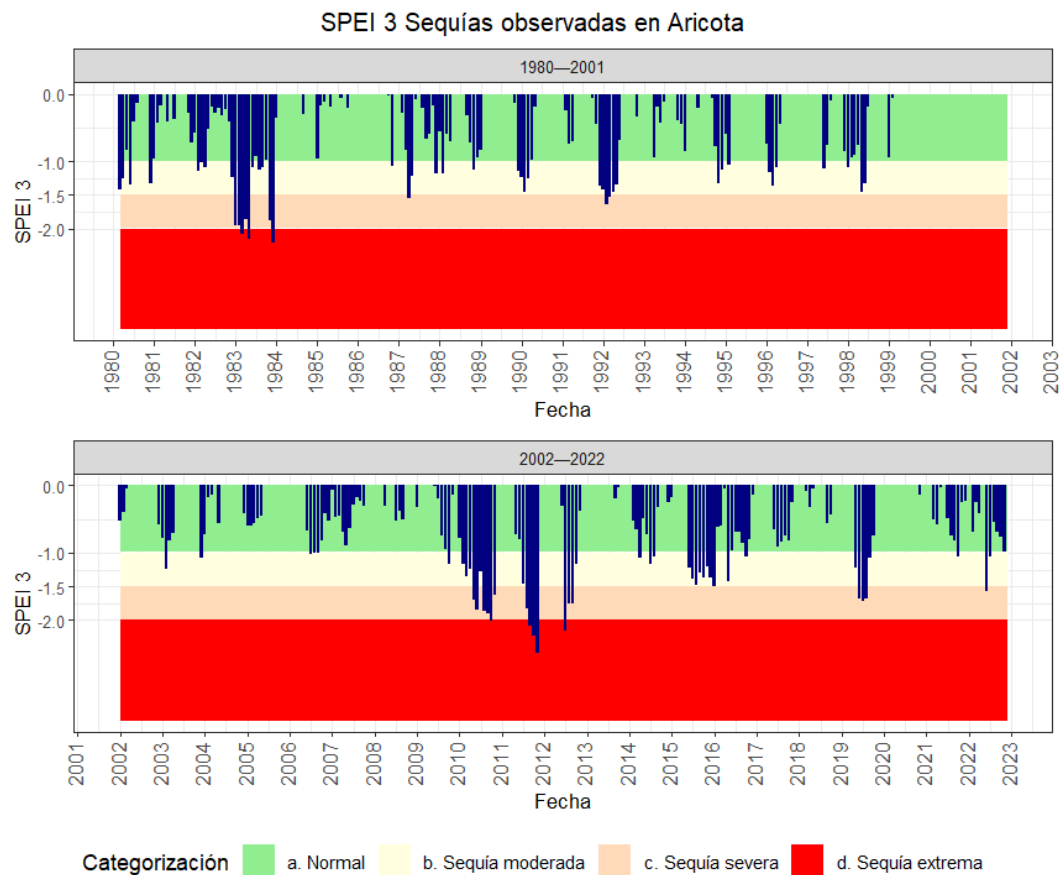
*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPI -9, Estación Meteorológica Cairani.*

ESTACIÓN: CAIRANI				
CATEGORIZACIÓN SPI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPI ≤ -1 (Sequía moderada)	1987-10-01	1989-01-01	15	-1.25
	1996-10-01	1997-01-01	3	-1.44
	1998-10-01	1998-12-01	2	-1.23
	2002-01-01	2002-07-01	6	-1.06
	2003-04-01	2004-09-01	17	-1.11
	2009-01-01	2009-10-01	9	-1.49
	2014-03-01	2015-02-01	11	-1.4
	2019-11-01	2020-01-01	2	-1.13
	2021-10-01	2022-11-01	13	-1.07
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1980-09-01	1981-02-01	5	-1.95
	1989-12-01	1990-11-01	11	-1.99
	2006-12-01	2008-01-01	13	-1.63
	2009-12-01	2010-12-01	12	-1.82
	1980-09-01	1981-02-01	5	-1.95
	1989-12-01	1990-11-01	11	-1.99
	2006-12-01	2008-01-01	13	-1.63
SPI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1983-01-01	1984-01-01	12	-2.52
	1991-12-01	1992-12-01	12	-3.39
	2016-01-01	2016-02-01	1	-2.39

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.2.2 Resultados del SPEI**

Para la caracterización de las sequías históricas, se aplicó el SPEI utilizando como data histórica (precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima mensual) correspondiente periodo 1980 -2022, considerando la escala de 3 meses, 6 meses y 9 meses precisamente para la evaluación histórica de sequías a corto, mediano y largo plazo, para las estaciones meteorológicas de Aricota, Candarave y Cairani, los resultados se esquematizan en figuras producto de la data resultante del SPÉI -3, SPEI-6 ,SPEI-9 ; en los resultados obtenidos con el SPEI se observa una caracterización detallada de la severidad, intensidad y duración de los eventos de sequía, reflejando las variaciones en el balance hídrico en el corto, mediano y largo plazo, teniendo una visión más precisa sobre los patrones de déficit hídrico, especialmente en contextos de calentamiento global, donde el aumento de la evapotranspiración intensifica los efectos de la escasez de agua, aun cuando las precipitaciones se mantengan constantes a continuación se detalla presenta los resultados de las sequías históricas y su caracterización evaluadas para las 3 estaciones meteorológicas : Aricota , Candarave y Cairani.

**Figura 16***Resultados del SPEI 3 en la estación meteorológica de Aricota*

*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

De la figura se adoptó evaluar la escala de 3 meses ya que refleja variaciones climáticas de una temporada corta, como las estaciones de lluvias o sequías, el gráfico solo describe valores negativos según la leyenda los cuales señalan un déficit hídrico significativo en el corto plazo, lo que afecta a los cultivos de ciclo corto, la humedad del suelo y los ecosistemas dependientes de agua superficial.

**Tabla 24**

*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -3, Estación Meteorológica Aricota.*

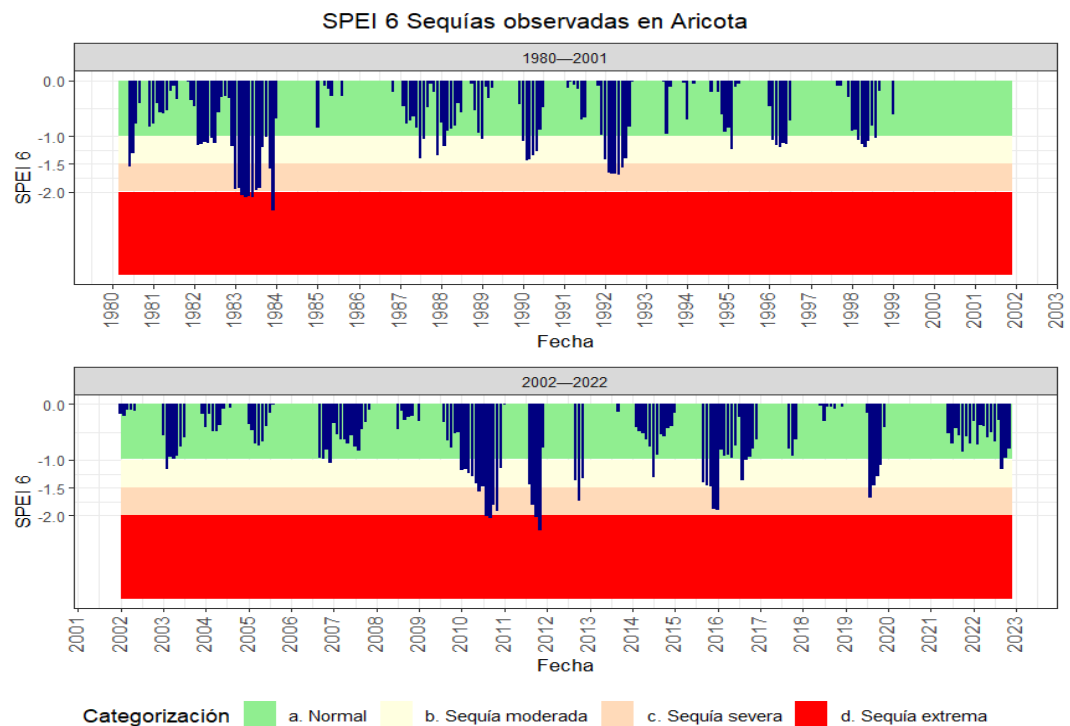
ESTACIÓN: ARICOTA				
CATEGORIZACIÓN SPEI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPEI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPEI ≤ -1 (Sequía moderada)	1/03/1980	30/04/1980	2	-1.42
	1/06/1980	30/06/1980	1	-1.35
	1/12/1980	31/12/1980	1	-1.32
	1/02/1982	31/03/1982	2	-1.14
	1/12/1982	31/12/1982	1	-1.24
	1/06/1983	30/06/1983	1	-1.09
	1/08/1983	30/09/1983	2	-1.12
	1/11/1986	30/11/1986	1	-1.07
	1/12/1987	31/12/1987	1	-1.18
	1/02/1988	29/02/1988	1	-1.18
	1/11/1988	30/11/1988	1	-1.14
	1/12/1989	31/03/1990	4	-1.45
	1/11/1994	28/02/1995	4	-1.33
	1/02/1996	30/04/1996	3	-1.37
	1/06/1997	30/06/1997	1	-1.11
	1/01/1998	31/01/1998	1	-1.09
	1/05/1998	30/06/1998	2	-1.45
	1/07/2006	31/07/2006	1	-1.02
	1/10/2009	31/10/2009	1	-1.17
	1/02/2010	30/04/2010	3	-1.35
1/04/2014	30/04/2014	1	-1.07	
1/07/2014	31/08/2014	2	-1.16	
1/06/2015	31/01/2016	8	-1.50	
1/05/2016	31/05/2016	1	-1.43	
1/10/2016	31/10/2016	1	-1.05	
1/10/2021	31/10/2021	1	-1.05	
1/07/2022	31/07/2022	1	-1.07	
-2.0 < SPEI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1/11/1983	30/11/1983	1	-1.89
	1/04/1987	31/05/1987	2	-1.54

	1/12/1991	31/05/1992	6	-1.64
	1/05/2010	30/09/2010	5	-1.89
	1/11/2010	30/11/2010	1	-1.62
	1/08/2012	31/10/2012	3	-1.75
	1/05/2019	30/09/2019	5	-1.72
	1/06/2022	30/06/2022	1	-1.57
SPEI $\leq$ -2 (Sequía Extrema)	1/01/1983	31/05/1983	5	-2.15
	1/12/1983	31/12/1983	1	-2.21
	1/10/2010	31/10/2010	1	-2.01
	1/07/2011	30/11/2011	5	-2.49
	1/07/2012	31/07/2012	1	-2.16

Nota. Elaboración propia.

### Figura 17

Resultados del SPEI 6 en la estación meteorológica de Aricota



Nota. Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

De la figura mostrada en la escala de 6 meses, los valores muy negativos son indicadores de sequías hidrológicas o agrícolas significativas, con impacto en los ecosistemas y las actividades humanas, también indican que la evapotranspiración supera significativamente la precipitación acumulada, señalando un déficit hídrico en el mediano plazo.

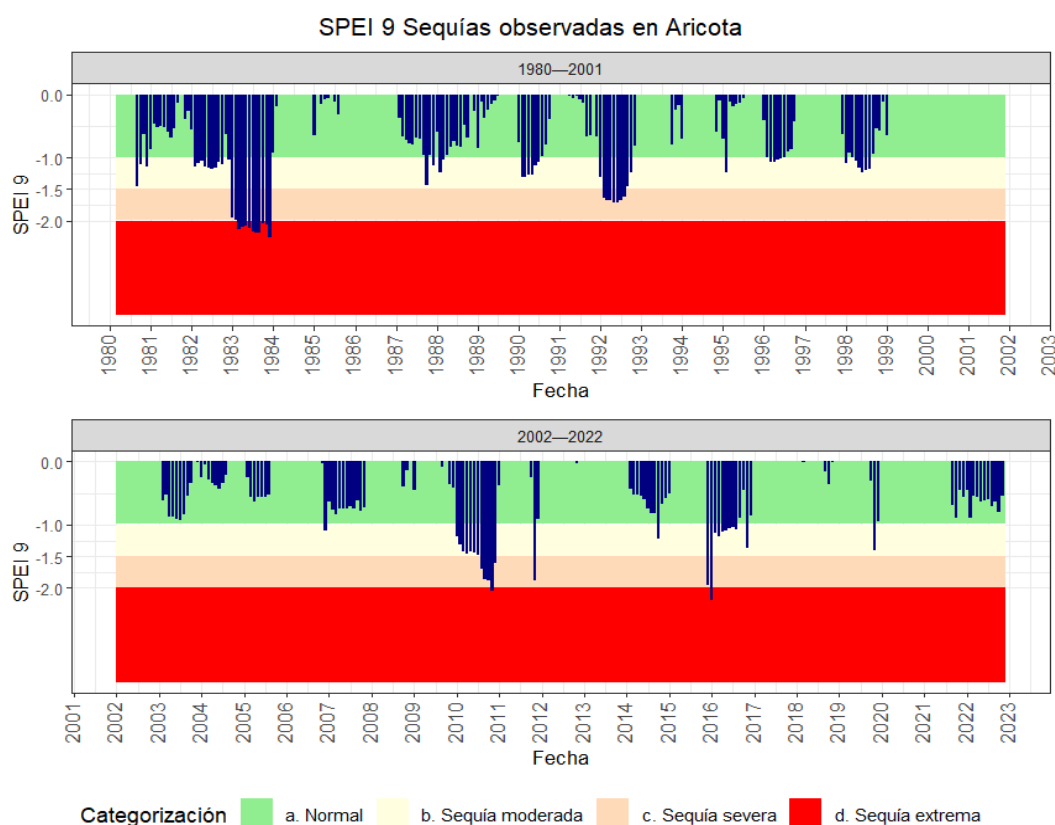
**Tabla 25**

*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -6, Estación Meteorológica Aricota.*

<b>ESTACIÓN: ARICOTA</b>				
<b>CATEGORIZACIÓN SPEI</b>	<b>TEMPORALIDAD</b>			<b>VALORES DEL SPEI</b>
	<b>INICIO</b>	<b>FIN</b>	<b>DURACIÓN (meses)</b>	<b>INTENSIDAD</b>
-1.5<SPEI ≤ -1 (Sequía moderada)	1/07/1980	31/07/1980	1	-1.31
	1/02/1982	31/07/1982	6	-1.16
	1/12/1982	31/12/1982	1	-1.18
	1/09/1983	31/10/1983	2	-1.20
	1/07/1987	31/08/1987	2	-1.39
	1/12/1987	31/12/1987	1	-1.34
	1/02/1988	28/02/1988	1	-1.19
	1/01/1989	31/01/1989	1	-1.06
	1/01/1990	31/05/1990	5	-1.41
	1/01/1992	31/01/1992	1	-1.42
	1/07/1992	31/07/1992	1	-1.40
	1/02/1995	28/02/1995	1	-1.24
	1/02/1996	30/06/1996	5	-1.19
	1/03/1998	30/06/1998	4	-1.20
	1/08/1998	31/08/1998	1	-1.03
1/12/2006	31/12/2006	1	-1.06	

	1/01/2010	30/04/2010	4	-1.30
	1/05/2010	31/05/2010	1	-1.42
	1/07/2010	31/07/2010	1	-1.48
	1/12/2010	31/12/2010	1	-1.14
	1/08/2011	31/08/2011	1	-1.44
	1/09/2012	30/09/2012	1	-1.36
	1/11/2012	30/11/2012	1	-1.33
	1/07/2014	31/07/2014	1	-1.31
	1/09/2015	30/11/2015	3	-1.48
	1/08/2016	31/08/2016	1	-1.37
	1/09/2019	30/11/2019	3	-1.45
	1/09/2022	30/09/2022	1	-1.17
	1/06/1980	30/06/1980	1	-1.55
	1/01/1983	28/02/1983	2	-1.94
	1/07/1983	31/08/1983	2	-1.96
	1/11/1983	30/11/1983	1	-1.59
-2.0 < SPEI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1/02/1992	30/06/1992	5	-1.69
	1/06/2010	30/06/2010	1	-1.56
	1/10/2010	30/11/2010	2	-1.91
	1/10/2012	31/10/2012	1	-1.73
	1/12/2015	31/01/2016	2	-1.90
	1/08/2019	31/08/2019	1	-1.67
	1/03/1983	30/06/1983	4	-2.10
SPEI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1/12/1983	31/12/1983	1	-2.33
	1/08/2010	31/09/2010	2	-2.04
	1/10/2011	30/11/2011	2	-2.27

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 18***Resultados del SPEI 9 en la estación meteorológica de Aricota*

*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

Del gráfico mostrado en la escala de 9 meses indican un déficit hídrico acumulado durante tres trimestres consecutivos, afectando gravemente la disponibilidad de agua superficial y subterránea, así como los cultivos de ciclo largo. Los valores extremadamente secos son señales de sequías hidrológicas críticas y son determinadas por valores negativos siendo los menores los de mayor impacto.

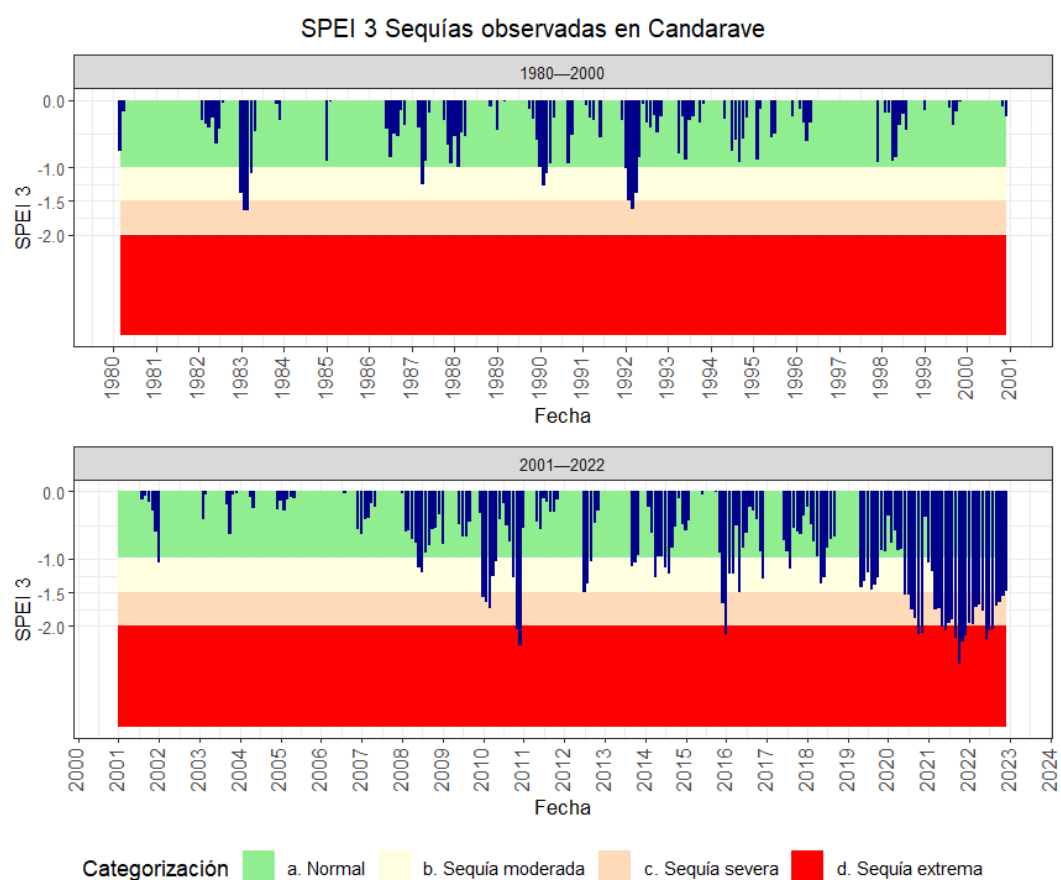
**Tabla 26***Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -9, Estación Meteorológica**Aricota.*

ESTACIÓN: ARICOTA				
CATEGORIZACIÓN	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPEI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPEI ≤ -1 (Sequía moderada)	1/09/1980	30/09/1980	1	-1.45
	1/10/1980	31/10/1980	1	-1.11
	1/12/1980	31/12/1980	1	-1.15
	1/02/1982	31/10/1982	9	-1.18
	1/12/1982	31/12/1982	1	-1.03
	1/10/1987	31/10/1987	1	-1.44
	1/12/1987	31/12/1987	1	-1.12
	1/02/1988	31/03/1988	2	-1.25
	1/02/1990	31/07/1990	6	-1.32
	1/01/1992	31/01/1992	1	-1.31
	1/09/1992	31/10/1992	2	-1.45
	1/02/1995	28/02/1995	1	-1.24
	1/02/1996	30/06/1996	5	-1.07
	1/01/1998	31/01/1998	1	-1.09
	1/04/1998	31/08/1998	5	-1.24
	1/12/2006	31/12/2006	1	-1.09
	1/01/2010	31/10/2010	7	-1.49
	1/10/2014	31/10/2014	1	-1.22
	1/02/2016	31/08/2016	7	-1.18
	1/11/2016	30/11/2016	1	-1.36
1/11/2019	30/11/2019	1	-1.41	
-2.0 < SPEI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1/01/1983	28/02/1983	2	-1.99
	1/02/1992	31/08/1992	7	-1.72
	1/08/2010	31/10/2010	3	-1.88
	1/12/2010	31/12/2010	1	-1.60
	1/11/2011	30/11/2011	1	-1.87
1/12/2015	31/12/2015	1	-1.96	
SPEI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1/03/1983	31/12/1983	10	-2.27
	1/11/2010	30/11/2010	1	-2.05
	01/01/2016	31/01/2016	1	-2.19

*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 19**

*Resultados del SPEI 3 en la estación meteorológica de Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

De la figura se adoptó evaluar la escala de 3 meses ya que refleja variaciones climáticas de una temporada corta, como las estaciones de lluvias o sequías, el gráfico solo describe valores negativos según la leyenda los cuales señalan un déficit hídrico significativo en el corto plazo, lo que afecta a los cultivos de ciclo corto, la humedad del suelo y los ecosistemas dependientes de agua superficial.

**Tabla 27**

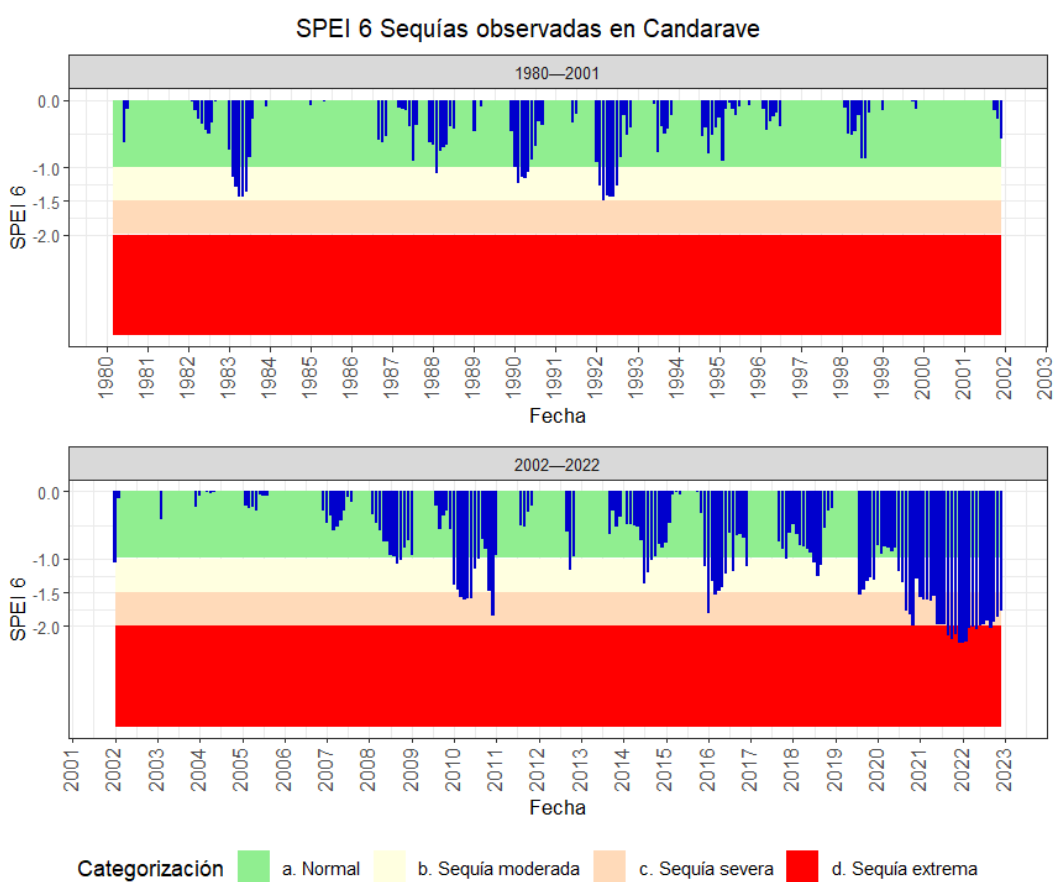
*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -3, Estación Meteorológica Candarave.*

ESTACIÓN CANDARAVE				
CATEGORIZACIÓN SPEI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPEI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPEI ≤ -1 (Sequía moderada)	1/04/1987	30/04/1987	1	-1.25
	1/02/1990	31/03/1990	2	-1.27
	1/06/2008	31/07/2008	2	-1.20
	1/04/2010	31/05/2010	2	-1.27
	1/07/2012	30/09/2012	3	-1.49
	1/09/2013	31/10/2013	2	-1.12
	1/04/2014	30/04/2014	1	-1.27
	1/07/2014	31/08/2014	2	-1.22
	1/12/2016	31/12/2016	1	-1.29
	1/08/2017	31/08/2017	1	-1.14
	1/05/2018	30/06/2018	2	-1.37
	1/05/2019	31/10/2019	6	-1.46
1/01/2021	28/02/2021	2	-1.19	
-2.0 < SPEI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1/01/1983	30/04/1983	4	-1.64
	1/01/1992	30/04/1992	4	-1.63
	1/01/2010	31/03/2010	3	-1.74
	1/06/2020	30/09/2020	4	-1.88
	1/03/2021	30/04/2021	2	-1.76
	1/07/2021	31/08/2021	2	-1.96
	1/01/2022	31/05/2022	5	-1.97
SPEI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1/09/2022	31/12/2022	4	-1.71
	1/10/2010	31/12/2010	3	-2.28
	1/11/2015	31/05/2016	7	-2.12
	1/10/2020	30/11/2020	2	-2.12
	1/05/2021	30/06/2021	2	-2.06
	1/09/2021	31/12/2021	4	-2.56
1/06/2022	31/08/2022	3	-2.19	

*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 20**

*Resultados del SPEI 6 en la estación meteorológica de Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

De la figura mostrada en la escala de 6 meses, los valores muy negativos son indicadores de sequías hidrológicas o agrícolas significativas, con impacto en los ecosistemas y las actividades humanas, también indican que la evapotranspiración supera significativamente la precipitación acumulada, señalando un déficit hídrico en el mediano plazo.

**Tabla 28**

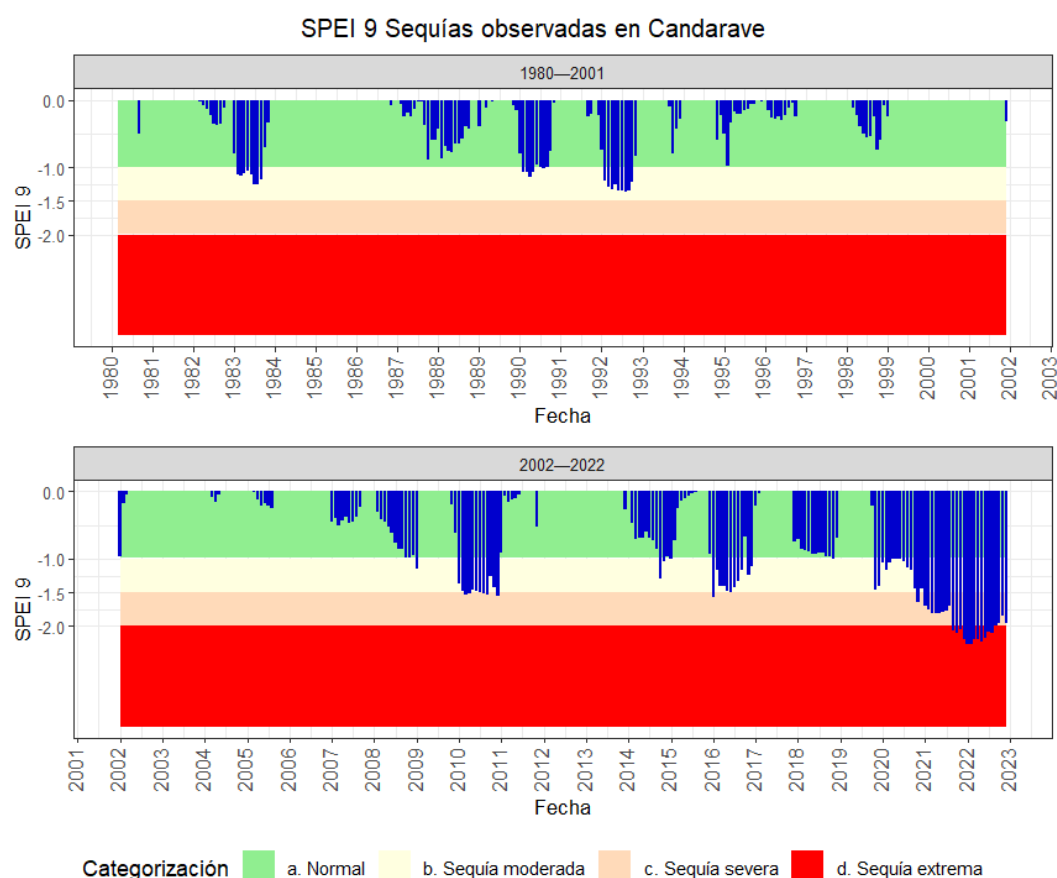
*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -6, Estación Meteorológica Candarave.*

ESTACIÓN: CANDARAVE				
CATEGORIZACIÓN SPEI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPEI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPEI ≤ -1 (Sequía moderada)	1/02/1983	30/06/1983	5	-1.43
	1/02/1988	29/02/1988	1	-1.08
	1/02/1990	31/05/1990	4	-1.24
	1/02/1992	31/07/1992	6	-1.49
	1/01/2010	28/02/2010	2	-1.46
	1/07/2010	31/07/2010	1	-1.14
	1/11/2010	30/11/2010	1	-1.49
	1/12/2010	31/12/2010	1	-1.16
	1/07/2014	30/09/2014	3	-1.37
	1/12/2015	31/12/2015	1	-1.12
	1/02/2016	29/02/2016	1	-1.32
	1/08/2016	31/08/2016	1	-1.19
	1/12/2016	31/12/2016	1	-1.11
	1/07/2018	30/09/2018	3	-1.26
	1/07/2020	31/08/2020	2	-1.18
-2.0 < SPEI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1/03/2010	30/06/2010	4	-1.61
	1/12/2010	31/12/2010	1	-1.85
	1/10/2012	31/10/2012	1	-1.16
	1/01/2016	31/01/2016	1	-1.82
	1/03/2016	30/06/2016	4	-1.54
	1/08/2019	31/09/2019	5	-1.53
	1/09/2020	31/08/2021	12	-1.98
	1/06/2022	31/08/2022	3	-1.99
1/10/2022	31/12/2022	3	-1.93	
SPEI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1/09/2021	31/05/2022	9	-2.26
	1/09/2022	31/09/2022	1	-2.03

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 21**

*Resultados del SPEI 9 en la estación meteorológica de Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

Del gráfico mostrado en la escala de 9 meses indican un déficit hídrico acumulado durante tres trimestres consecutivos, afectando gravemente la disponibilidad de agua superficial y subterránea, así como los cultivos de ciclo largo. Los valores extremadamente secos son señales de sequías hidrológicas críticas y son determinadas por valores negativos siendo los menores los de mayor impacto.

**Tabla 29**

*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -9, Estación Meteorológica Candarave.*

ESTACIÓN: CANDARAVE				
CATEGORIZACIÓN SPEI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPEI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPEI ≤ -1 (Sequía moderada)	1/02/1983	30/09/1983	8	-1.25
	1/02/1990	31/05/1990	4	-1.15
	1/07/1990	30/09/1990	3	-1.02
	1/02/1992	31/10/1992	9	-1.37
	1/01/2009	31/01/2009	1	-1.15
	1/01/2010	28/02/2010	2	-1.47
	1/05/2010	31/07/2010	3	-1.50
	1/10/2010	30/11/2010	2	-1.43
	1/10/2014	30/11/2014	2	-1.30
	1/01/2015	31/01/2015	1	-1.00
	1/02/2016	30/09/2016	8	-1.49
	1/11/2016	31/12/2016	2	-1.23
	1/11/2018	30/11/2018	1	-1.01
	1/11/2019	30/04/2020	6	-1.46
	1/06/2020	31/10/2020	5	-1.45
1/12/2020	31/12/2020	1	-1.45	
-2.0 < SPEI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1/03/2010	30/04/2010	2	-1.54
	1/08/2010	30/09/2010	2	-1.54
	1/12/2010	31/12/2010	1	-1.56
	1/01/2016	31/01/2016	1	-1.58
	1/11/2020	30/11/2020	1	-1.65
	1/01/2021	31/08/2021	8	-1.81
	1/10/2022	31/12/2022	3	-1.95

---

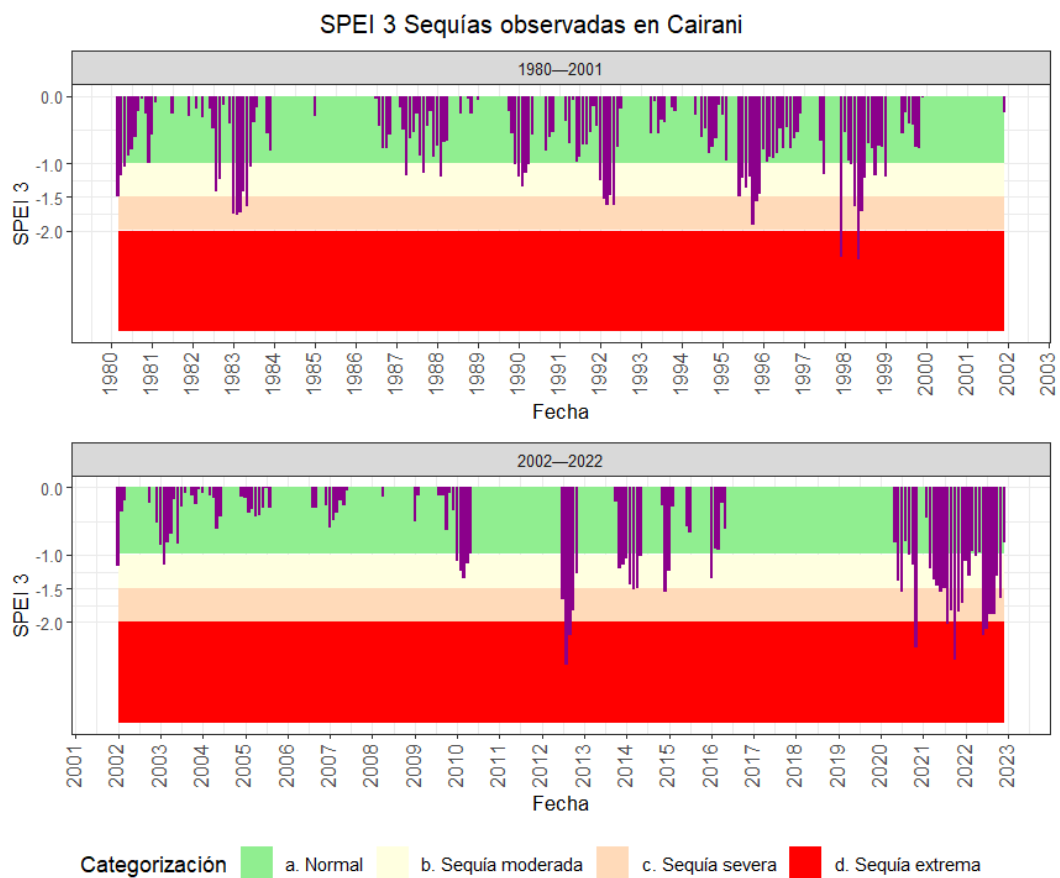
SPEI $\leq$ -2 (Sequía Extrema)	1/09/2021	30/09/2022	13	-2.27
---------------------------------	-----------	------------	----	-------

---

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 22**

*Resultados del SPEI 3 en la estación meteorológica de Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

De la figura se adopta evaluar la escala de 3 meses ya que refleja variaciones climáticas de una temporada corta, como las estaciones de lluvias o secúas, el gráfico solo describe valores negativos según la leyenda los cuales señalan un déficit hídrico significativo en el corto plazo, lo que afecta a los cultivos de ciclo corto, la humedad del suelo y los ecosistemas dependientes de agua superficial.

**Tabla 30**

*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -3, Estación Meteorológica Cairani.*

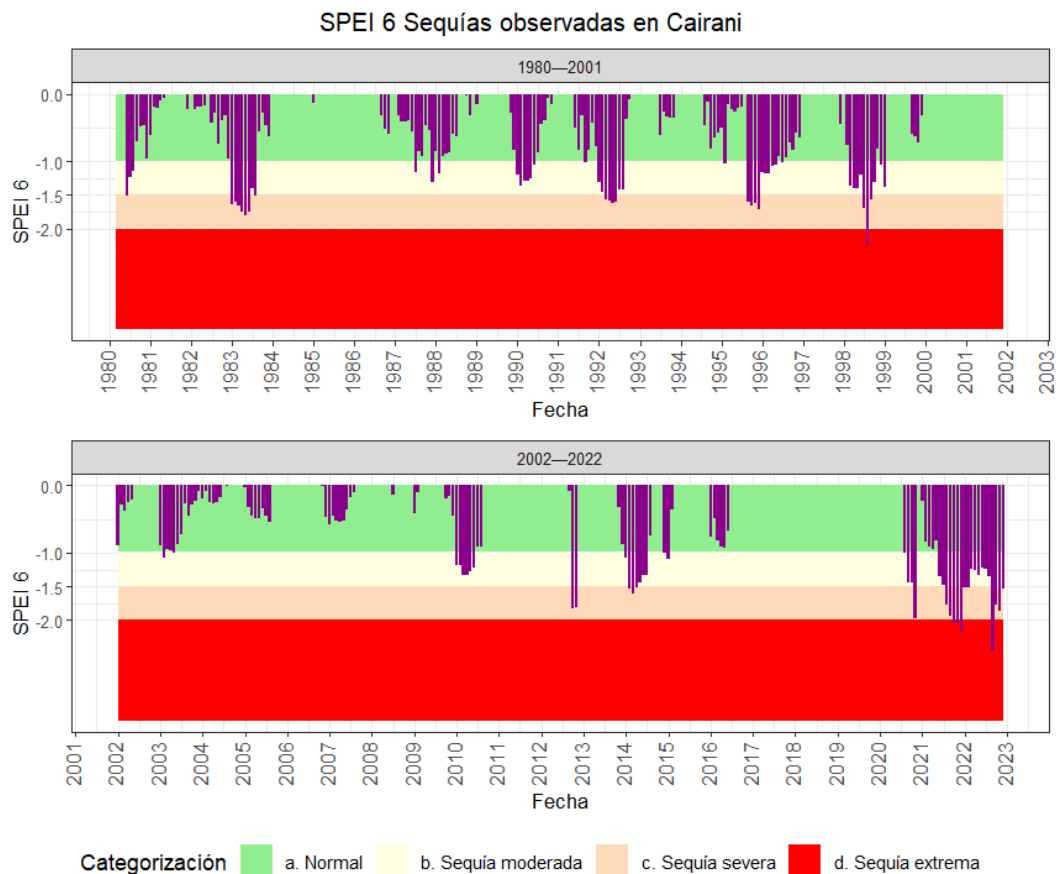
ESTACIÓN: CAIRANI				
CATEGORIZACIÓN SPEI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPEI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5<SPEI ≤ -1 (Sequía moderada)	1/04/1980	31/05/1980	2	-1.18
	1/08/1982	30/09/1982	2	-1.43
	1/04/1983	30/04/1983	1	-1.42
	1/06/1983	30/06/1983	1	-1.05
	1/04/1987	30/04/1987	1	-1.17
	1/09/1987	30/09/1987	1	-1.14
	1/02/1988	29/02/1988	1	-1.19
	1/12/1989	30/04/1990	5	-1.34
	1/01/1992	31/01/1992	1	-1.25
	1/04/1992	30/04/1992	1	-1.48
	1/06/1995	30/09/1995	4	-1.49
	1/12/1995	31/12/1995	1	-1.45
	1/07/1997	31/07/1997	1	-1.16
	1/03/1998	31/03/1998	1	-1.01
	1/07/1998	31/07/1998	1	-1.22
	1/10/1998	31/10/1998	1	-1.18

	1/01/2002	31/01/2002	1	-1.16
	1/02/2003	28/02/2003	1	-1.14
	1/01/2010	30/04/2010	4	-1.35
	1/11/2012	30/11/2012	1	-1.28
	1/11/2013	28/02/2014	4	-1.45
	1/04/2014	31/05/2014	2	-1.50
	1/01/2015	31/01/2015	1	-1.24
	1/01/2016	31/01/2016	1	-1.35
	1/10/2020	31/10/2020	1	-1.14
	1/03/2021	31/05/2021	3	-1.45
	1/07/2021	31/07/2021	1	-1.49
	1/01/2022	28/02/2022	2	-1.32
	1/10/2022	31/10/2022	1	-1.32
	1/03/1980	31/03/1980	1	-1.50
	1/01/1983	31/03/1983	3	-1.77
	1/05/1983	31/05/1983	1	-1.64
	1/02/1992	31/03/1992	2	-1.61
	1/05/1992	31/05/1992	1	-1.63
	1/10/1995	30/11/1995	2	-1.91
	1/04/1998	30/04/1998	1	-1.65
-2.0 < SPEI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1/06/1998	30/06/1998	1	-1.72
	1/07/2012	31/07/2012	1	-1.66
	1/10/2012	31/10/2012	1	-1.83
	1/03/2014	31/03/2014	1	-1.52
	1/12/2014	31/12/2014	1	-1.55
	1/06/2020	31/07/2020	2	-1.56
	1/06/2021	30/06/2021	1	-1.55
	1/08/2022	30/09/2022	2	-1.89
	1/11/2022	30/11/2022	1	-1.65
	1/12/1997	31/12/1997	1	-2.38
	1/05/1998	31/05/1998	1	-2.42
SPEI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1/08/2012	30/09/2012	2	-2.63
	1/11/2020	30/11/2020	1	-2.38
	1/08/2021	31/12/2021	5	-2.57
	1/06/2022	31/07/2022	2	-2.19

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 23**

*Resultados del SPEI 6 en la estación meteorológica de Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

De la figura mostrada en la escala de 6 meses, los valores muy negativos son indicadores de sequías hidrológicas o agrícolas significativas, con impacto en los ecosistemas y las actividades humanas, también indican que la evapotranspiración supera significativamente la precipitación acumulada, señalando un déficit hídrico en el mediano plazo.

**Tabla 31**

*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -6, Estación Meteorológica Cairani.*

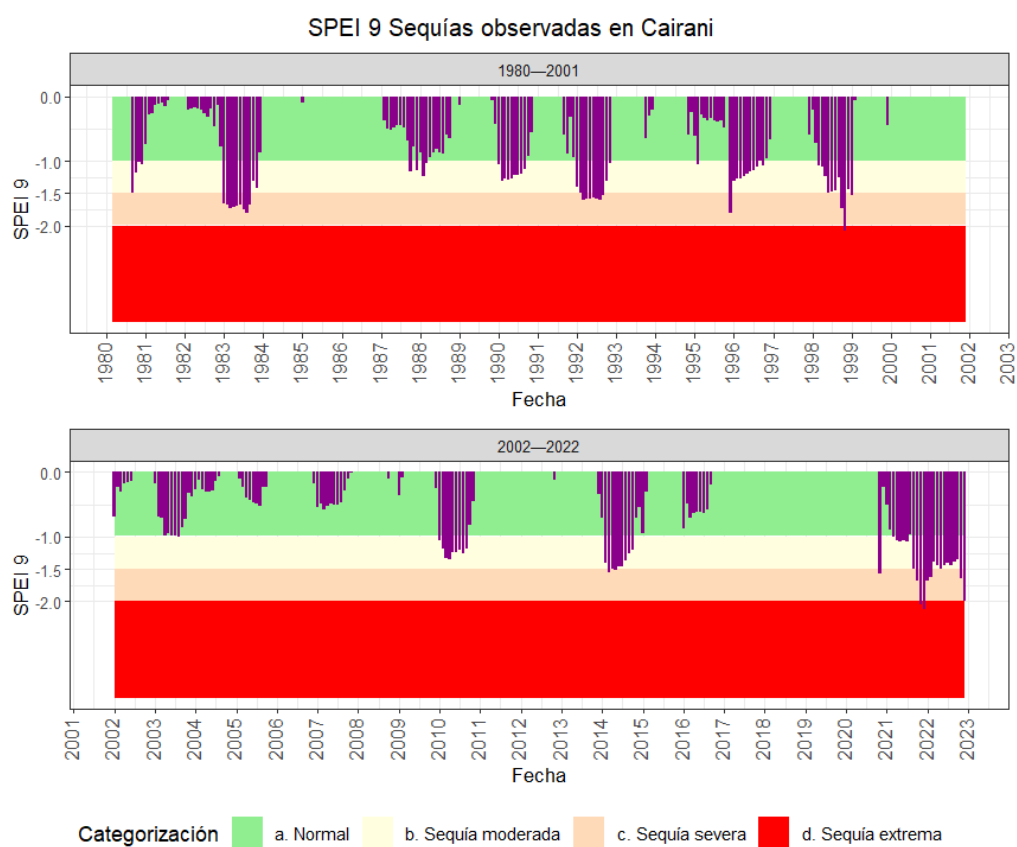
ESTACIÓN: CAIRANI				
CATEGORIZACIÓN SPEI	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPEI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPEI ≤ -1 (Sequía moderada)	1/07/1980	31/08/1980	2	-1.24
	1/07/1983	31/07/1983	1	-1.40
	1/07/1987	31/07/1987	1	-1.16
	1/12/1987	31/12/1987	1	-1.30
	1/02/1988	28/02/1988	1	-1.17
	1/01/1990	30/06/1990	6	-1.36
	1/09/1991	30/09/1991	1	-1.01
	1/01/1992	29/02/1992	2	-1.46
	1/03/1992	30/06/1992	4	-1.63
	1/07/1992	31/08/1992	2	-1.42
	1/02/1995	28/02/1995	1	-1.03
	1/01/1996	31/05/1996	5	-1.18
	1/07/1996	31/07/1996	1	-1.01
	1/03/1998	30/06/1998	4	-1.40
	1/10/1998	31/10/1998	1	-1.32
	1/12/1998	31/01/1999	2	-1.38
	1/02/2003	28/02/2003	1	-1.08
	1/01/2010	30/06/2010	6	-1.34
	1/01/2014	31/01/2014	1	-1.07
	1/05/2014	31/07/2014	3	-1.44
1/01/2015	31/01/2015	1	-1.10	
1/09/2020	31/10/2020	2	-1.45	
1/06/2021	31/07/2021	2	-1.49	
1/03/2022	31/08/2022	6	-1.35	
-2.0 < SPEI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1/06/1980	30/06/1980	1	-1.52
	1/01/1983	30/06/1983	6	-1.80
	1/08/1983	31/08/1983	1	-1.51
	1/09/1995	31/12/1995	4	-1.72
	1/07/1998	31/07/1998	1	-1.70

	1/09/1998	30/09/1998	1	-1.56
	1/10/2012	30/11/2012	2	-1.82
	1/02/2014	30/04/2014	3	-1.61
	1/11/2020	30/11/2020	1	-1.97
	1/08/2021	31/09/2021	2	-1.94
	1/01/2022	28/02/2022	2	-1.52
	1/10/2022	31/12/2022	3	-1.87
SPEI $\leq$ -2 (Sequía Extrema)	1/08/1998	31/08/1998	1	-2.26
	1/10/2021	31/12/2021	3	-2.17
	1/09/2022	31/09/2022	1	-2.46

*Nota.* Elaboración propia.

## Figura 24

*Resultados del SPEI 9 en la estación meteorológica de Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia (Graficado con programa Rstudio).

Del gráfico mostrado en la escala de 9 meses indican un déficit hídrico acumulado durante tres trimestres consecutivos, afectando gravemente la disponibilidad de agua superficial y subterránea, así como los cultivos de ciclo largo. Los valores extremadamente secos son señales de sequías hidrológicas críticas y son determinadas por valores negativos siendo los menores los de mayor impacto.

**Tabla 32**

*Cuadro Resumen clasificación sequia escala SPEI -9, Estación Meteorológica Cairani.*

ESTACIÓN: CAIRANI				
CATEGORIZACIÓN	TEMPORALIDAD			VALORES DEL SPEI
	INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	INTENSIDAD
-1.5 < SPEI ≤ -1 (Sequía moderada)	1/09/1980	31/12/1980	4	-1.50
	1/10/1983	30/11/1983	2	-1.42
	1/10/1987	31/10/1987	1	-1.17
	1/12/1987	31/12/1987	1	-1.14
	1/02/1988	31/03/1988	2	-1.23
	1/01/1990	30/09/1990	9	-1.30
	1/01/1992	29/02/1992	2	-1.49
	1/10/1992	30/11/1992	2	-1.31
	1/01/1996	31/08/1996	8	-1.31
	1/10/1996	31/10/1996	1	-1.06
	1/03/1998	30/09/1998	7	-1.50
	1/12/1998	31/12/1998	1	-1.44
	1/08/2003	31/08/2003	1	-1.01
	1/01/2010	30/09/2010	9	-1.36
	1/02/2014	28/02/2014	1	-1.40
	1/04/2014	30/04/2014	1	-1.50
	1/06/2014	31/10/2014	5	-1.47
	1/03/2021	31/07/2021	5	-1.08

	1/03/2022	31/10/2022	8	-1.45
	1/01/1983	30/09/1983	9	-1.80
	1/03/1992	30/09/1992	7	-1.61
	1/12/1995	31/12/1995	1	-1.80
	1/10/1998	31/10/1998	1	-1.73
-2.0 < SPEI ≤ -1.5 (Sequía Severa)	1/01/1999	31/01/1999	1	-1.53
	1/03/2014	31/03/2014	1	-1.56
	1/05/2014	31/05/2014	1	-1.52
	1/11/2020	30/11/2020	1	-1.57
	1/09/2021	31/10/2021	2	-1.68
	1/01/2022	28/01/2022	2	-1.68
	1/11/2022	31/12/2022	2	-2.00
SPEI ≤ -2 (Sequía Extrema)	1/11/1998	30/11/1998	1	-2.08
	1/11/2021	31/12/2021	2	-2.12

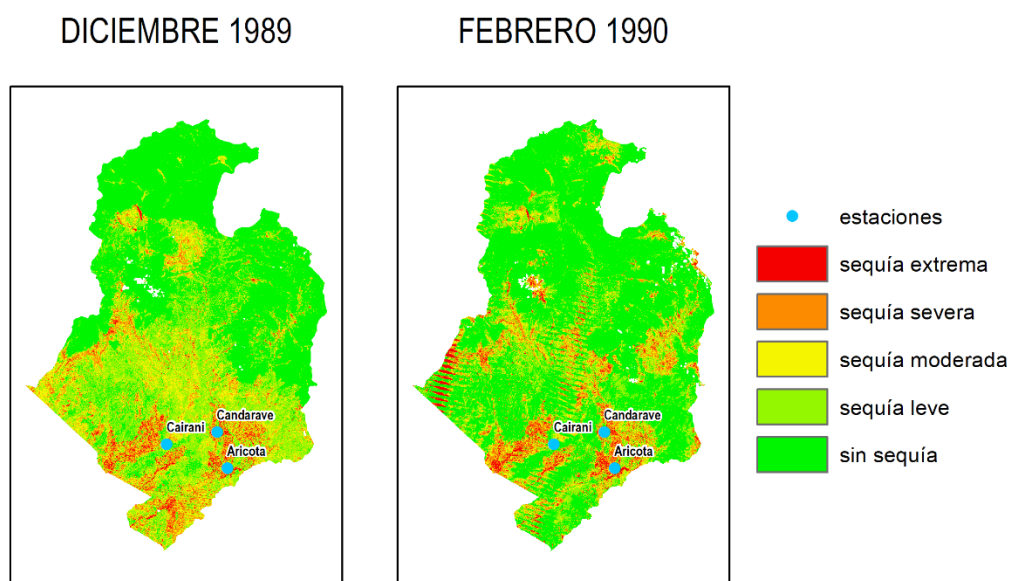
*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.2.3 Resultados del VCI

La Figura 25 a la Figura 36 presentan los mapas del VCI, calculados con una escala temporal de 1 mes, correspondientes a los distintos periodos críticos identificados en la provincia de Candarave durante el periodo de estudio (1980 – 2022). Los periodos seleccionados se basan en los valores obtenidos de los índices SPI y SPEI, y corresponden a eventos de sequía extrema, aquellos con valores inferiores a -2, como se detalló en la Tabla 9.

**Figura 25**

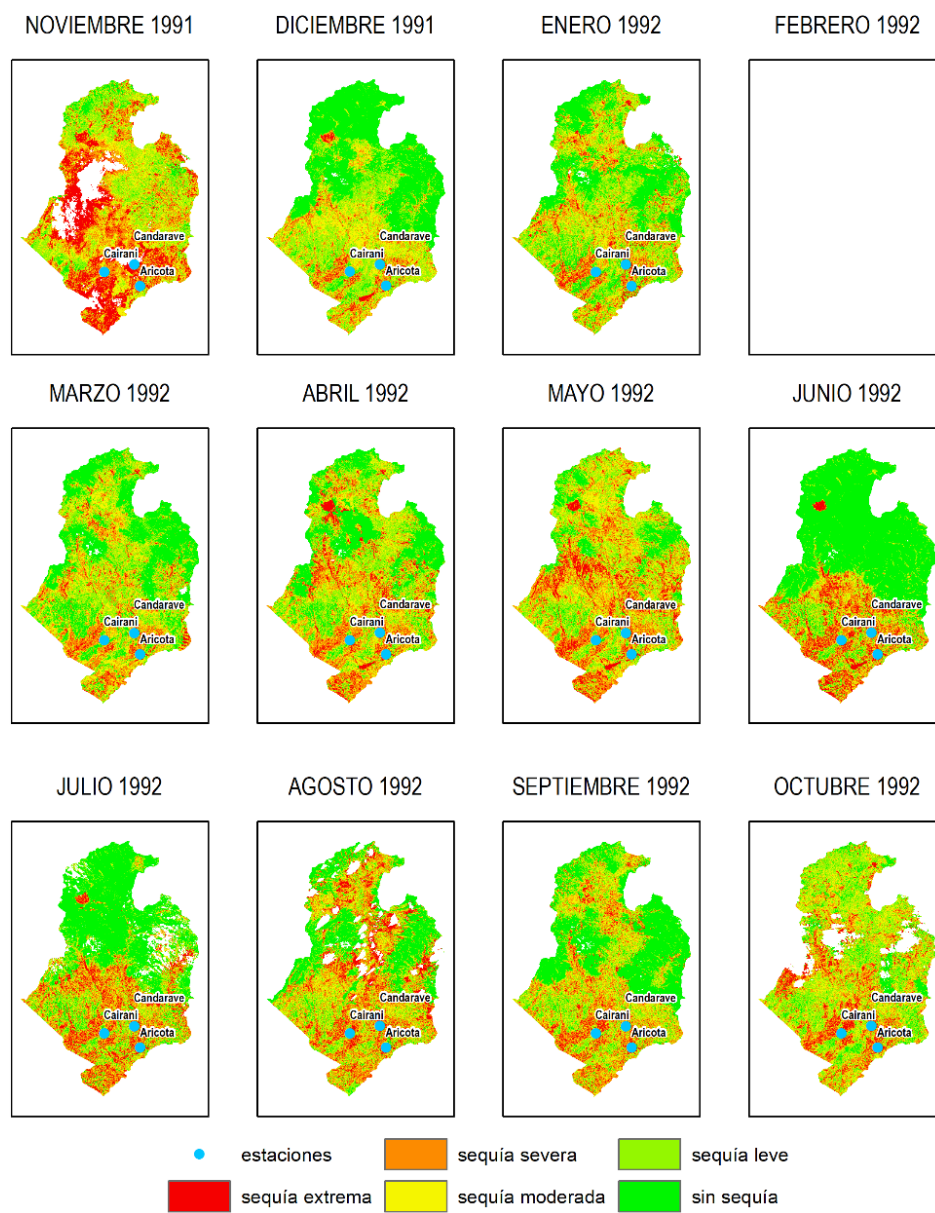
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Dic 1989 – Feb 1990 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 26**

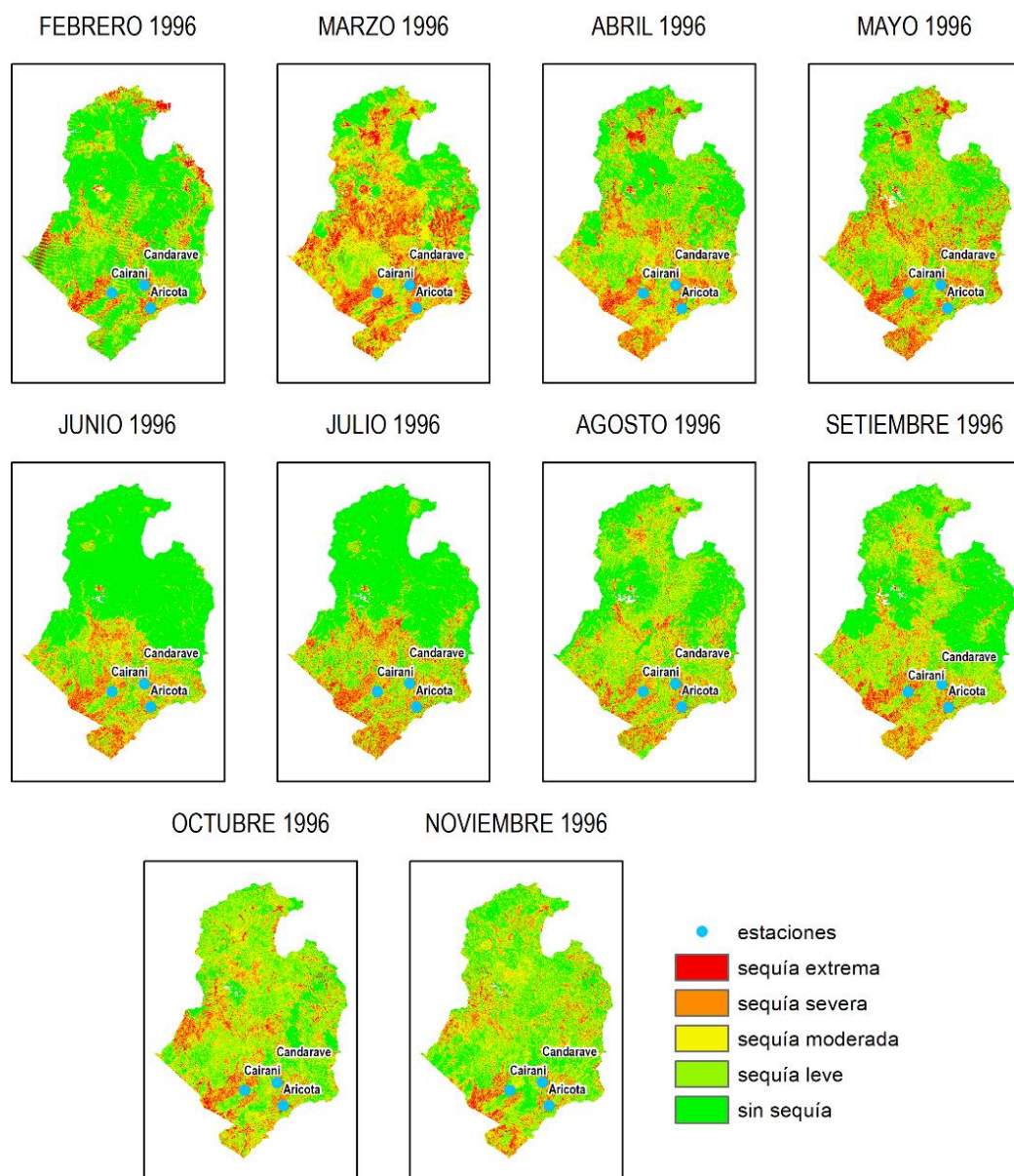
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Nov 1991 – Oct 1992 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 27**

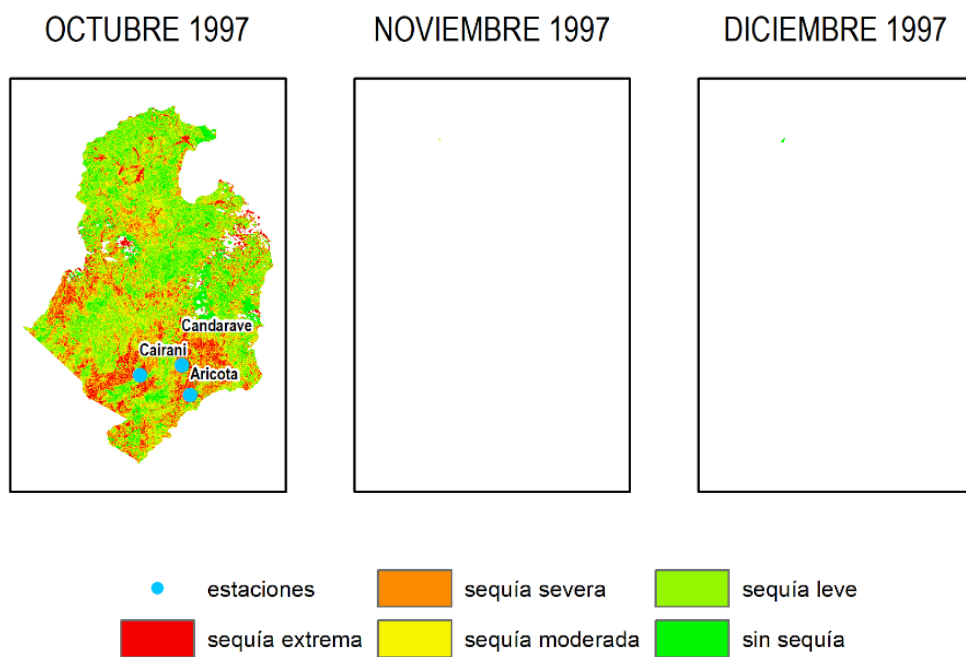
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Feb 1996 – Nov 1996 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 28**

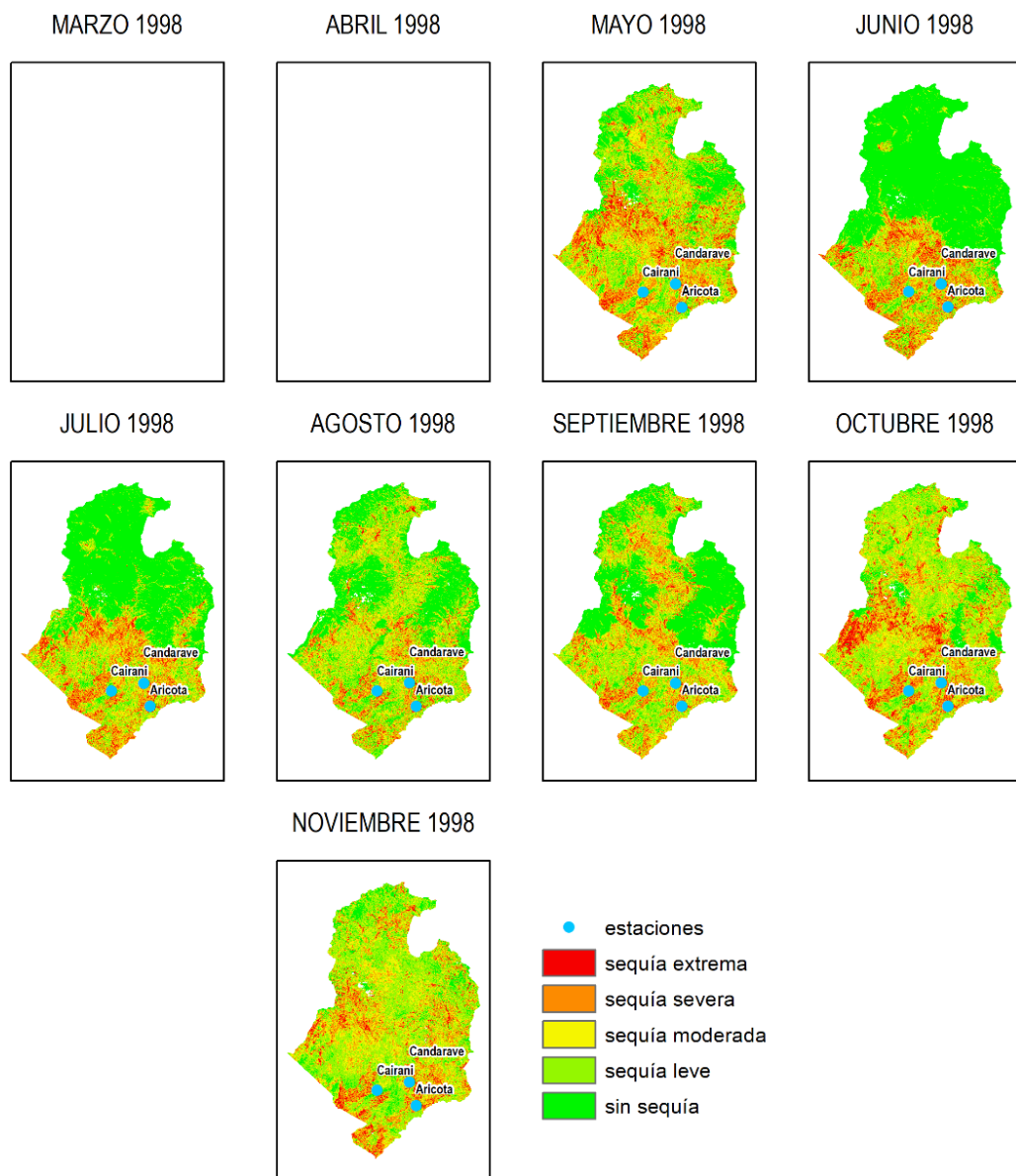
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Oct 1997 – Dic 1997 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 29**

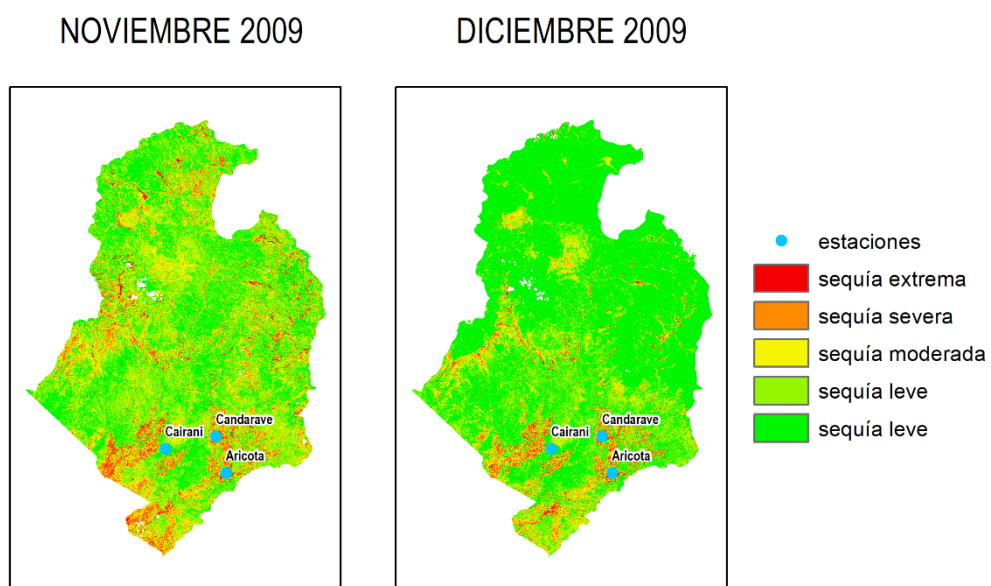
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Mar 1998 – Nov 1998 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 30**

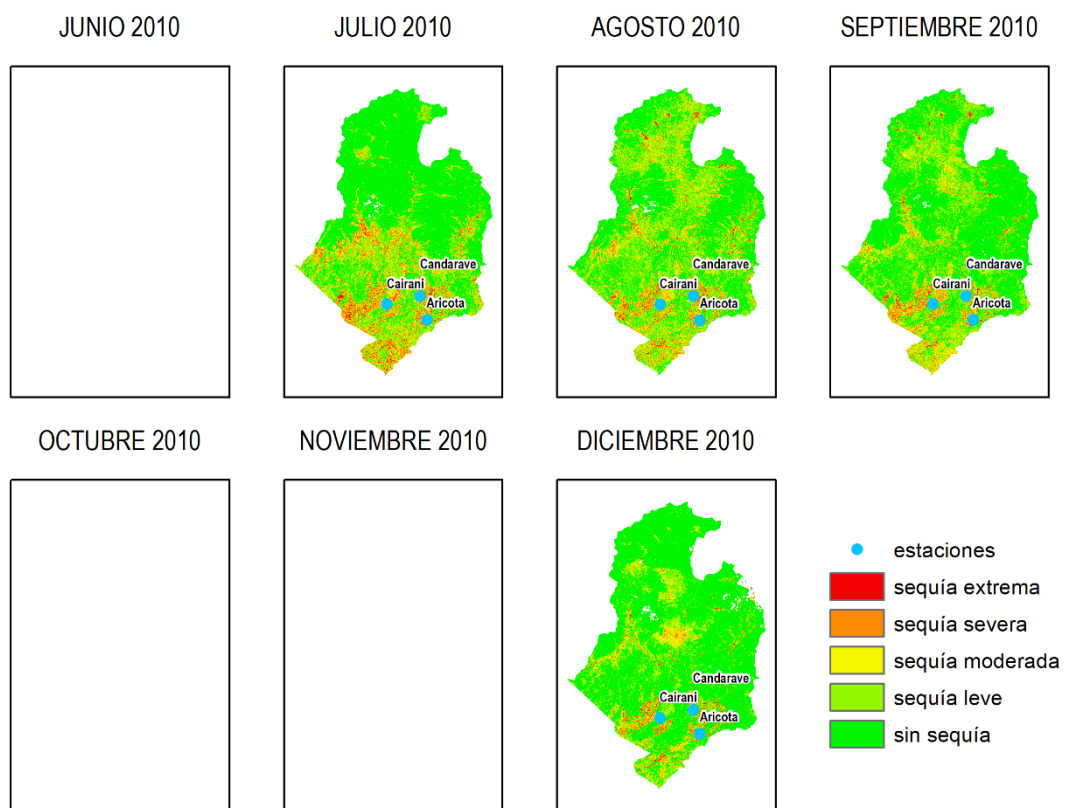
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Nov 2009 – Ene 2010 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

### Figura 31

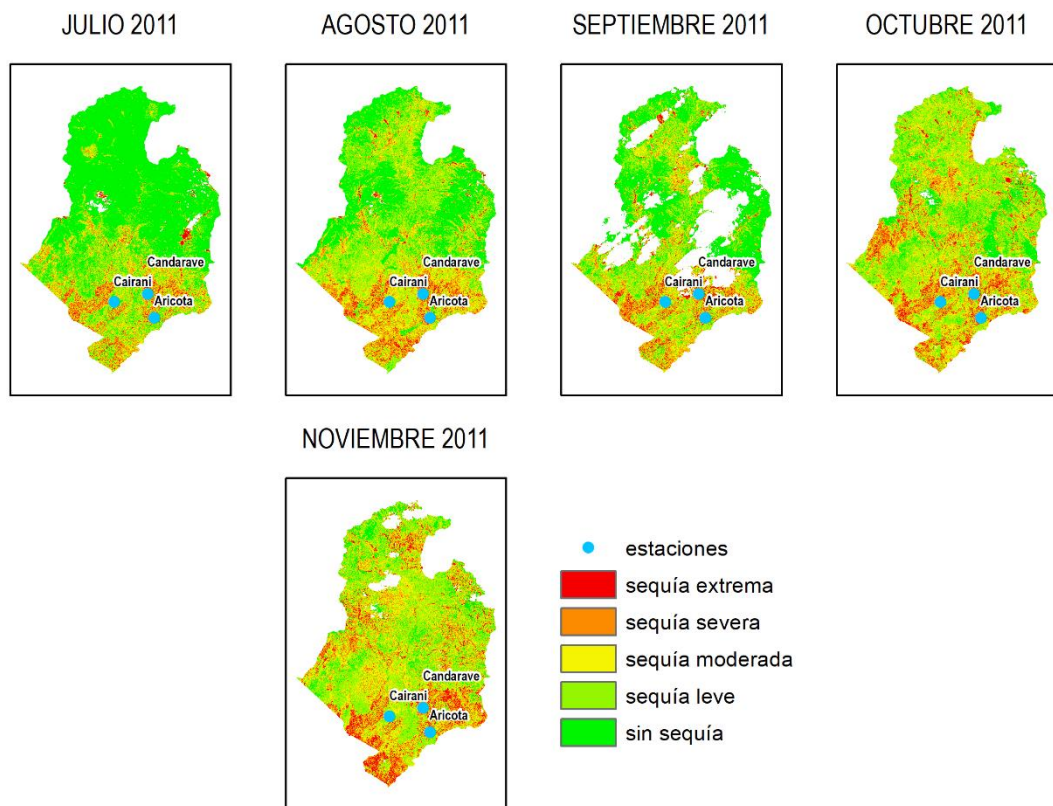
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Jun 2010 – Dic 2010 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 32**

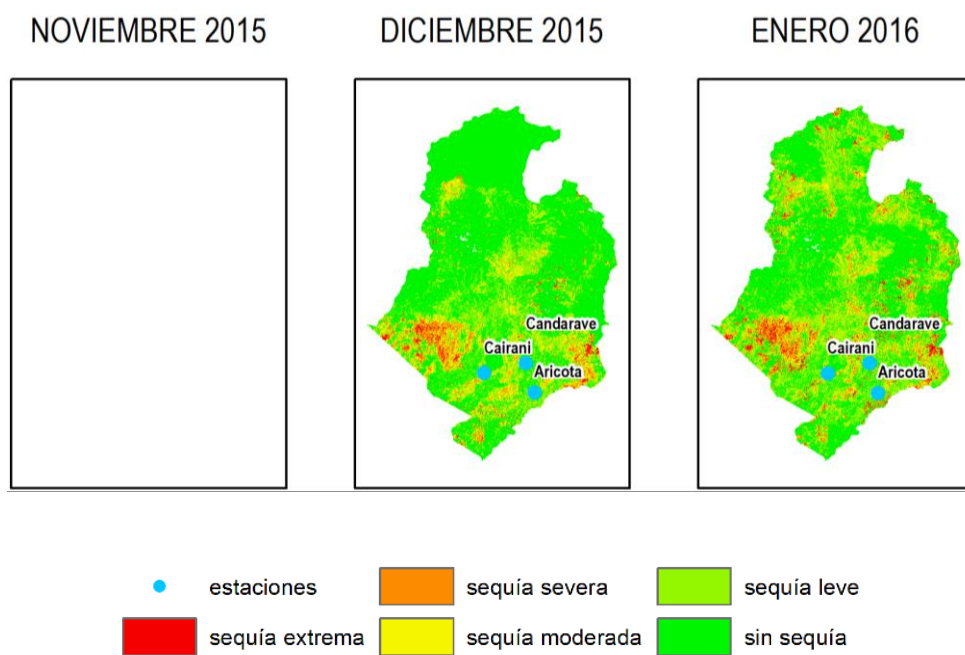
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Jul 2011 – Nov 2011 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 33**

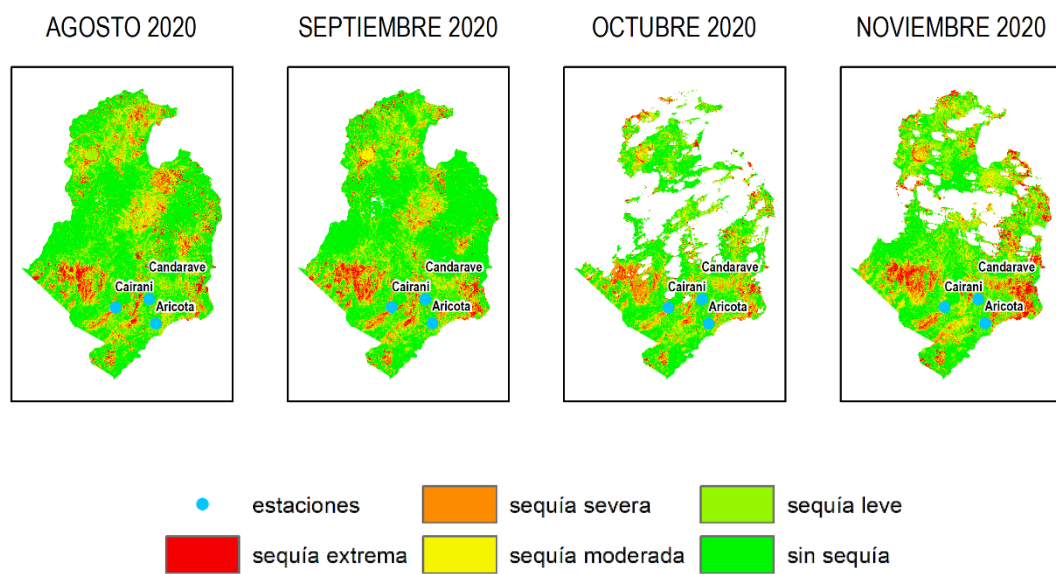
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Nov 2015 – Ene 2016 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 34**

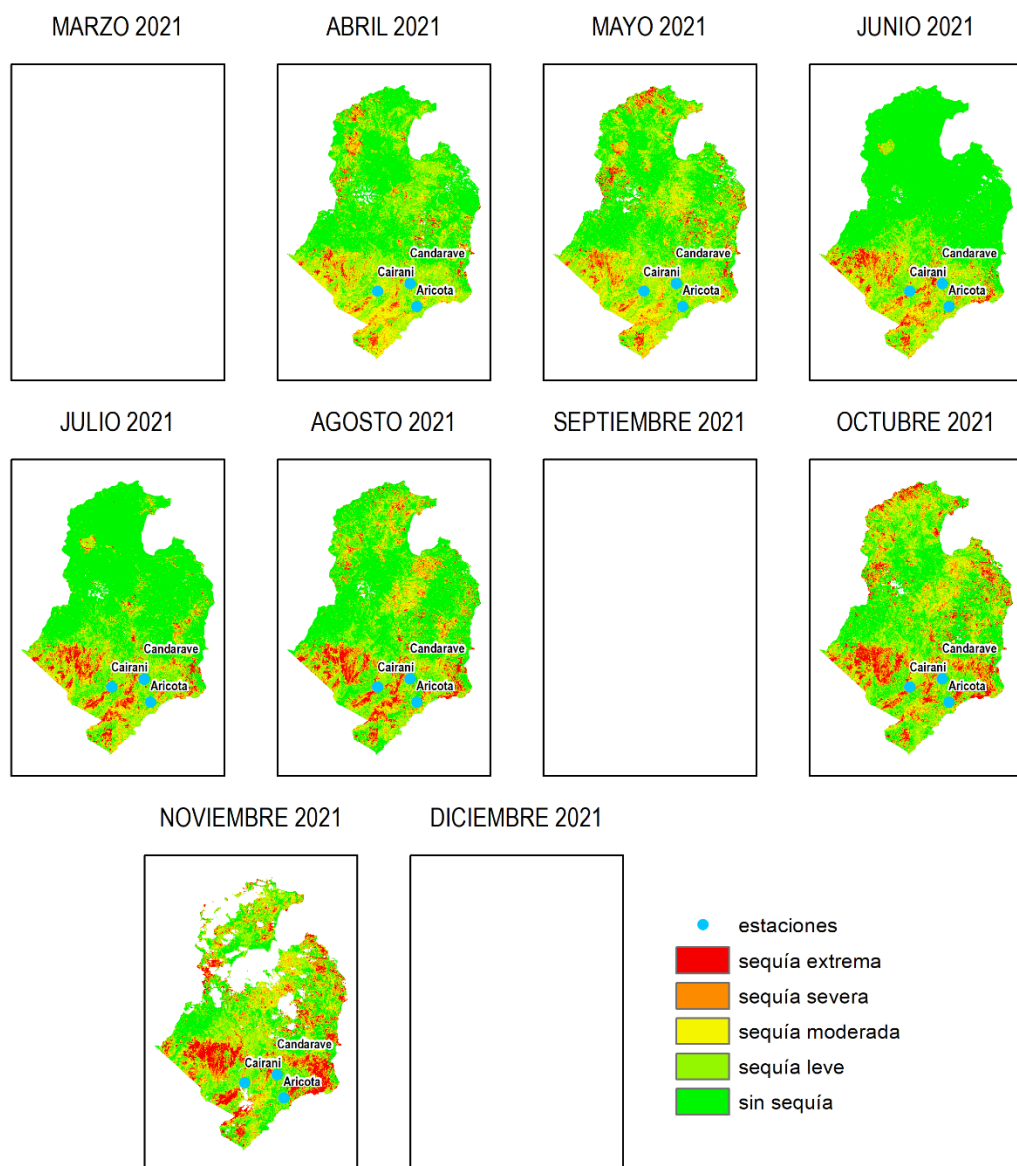
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Ago 2020 – Nov 2020 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 35**

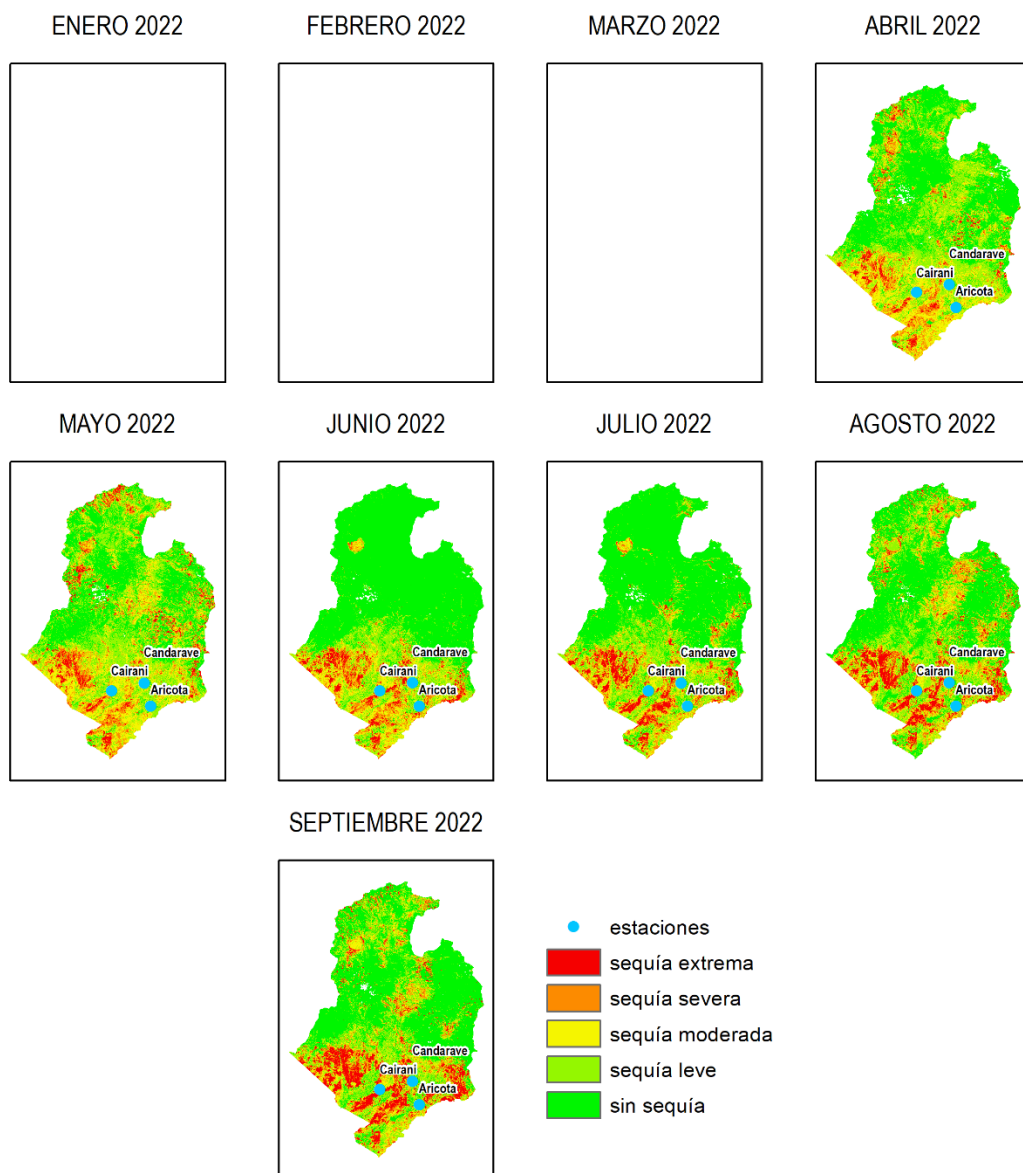
*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Mar 2021 – Dic 2021 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 36**

*Clasificación del VCI – 1 de los meses críticos Ene 2022 – Sep 2022 en la provincia de Candarave*



*Nota.* Elaboración propia.

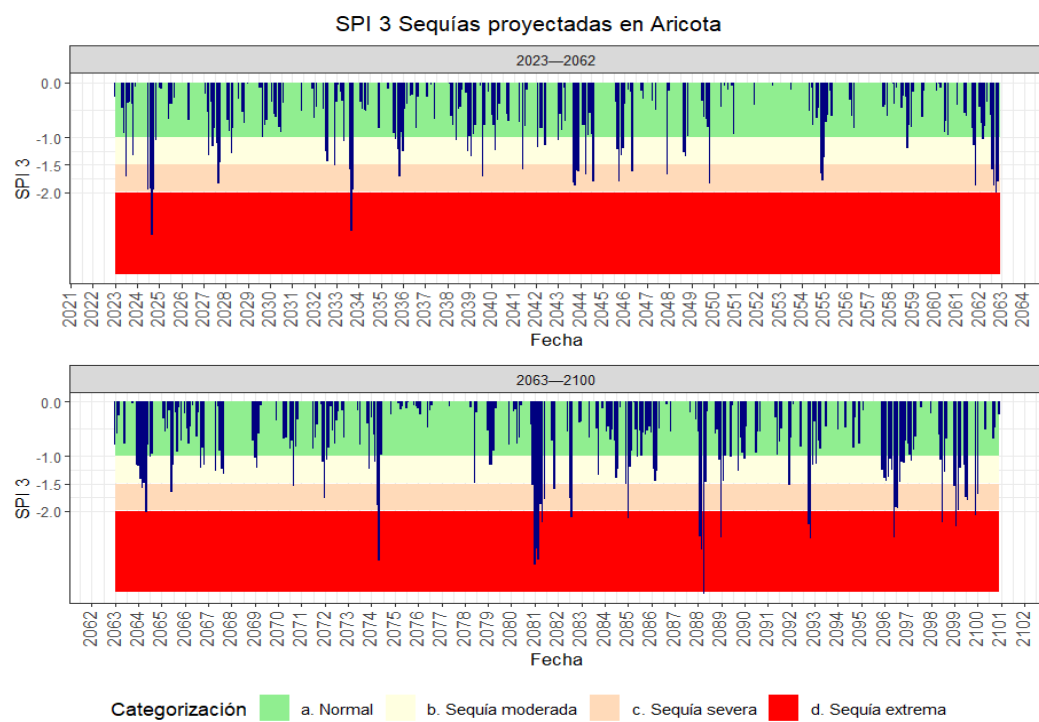
### **4.3 Caracterización de las sequías futuras utilizando el modelo climático (CMIP6) y el escenario Climático SSP3-7.0.**

Las sequías proyectadas para el periodo 2023-2100 fueron caracterizadas mediante los índices SPI y SPEI, empleando modelos socioeconómicos y datos de la base BASD-CMIP6-PE, ajustados para el territorio peruano a través de técnicas de downscaling; a continuación, se muestran los resultados en gráficos de la clasificación SPI y SPEI:

**a. Caracterización de sequías futuras con el índice de precipitación estandarizada (SPI) para las estaciones meteorológicas de Aricota, Candarave y Cairani, con escalas de 3 meses, 6 meses, y 9 meses:**

**Figura 37**

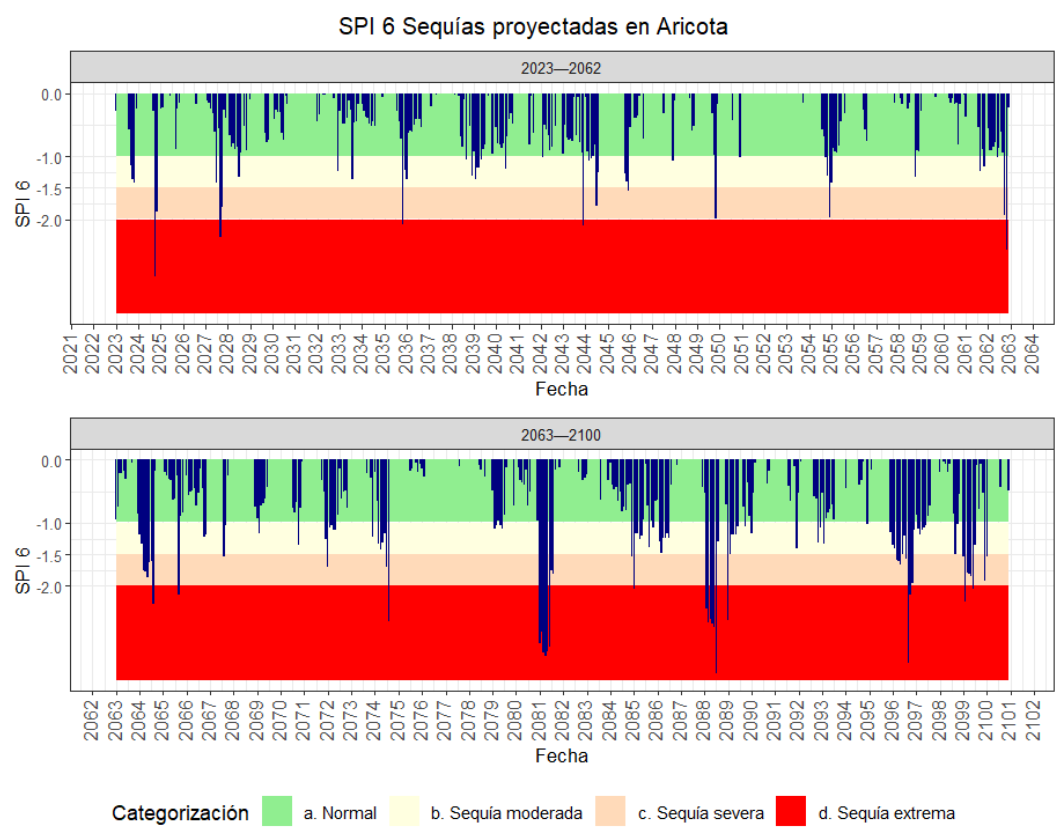
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-3 meses en la estación meteorológica de Aricota.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 38**

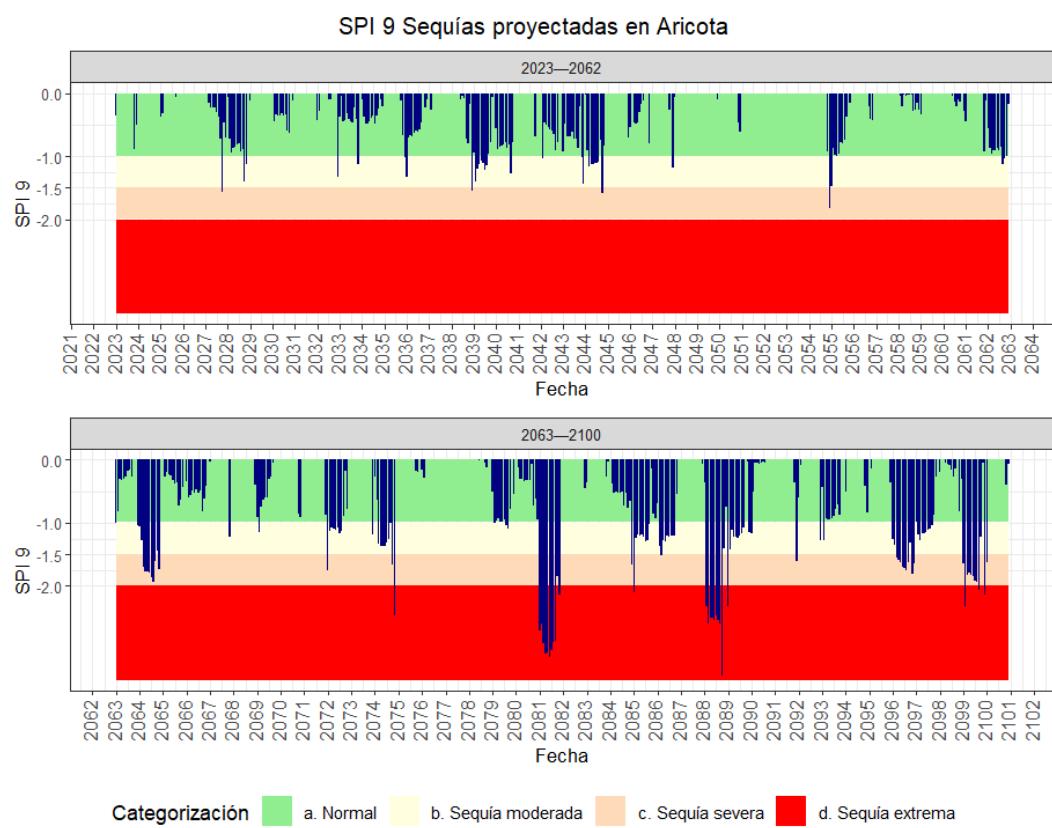
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-6 meses en la estación meteorológica de Aricota.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 39**

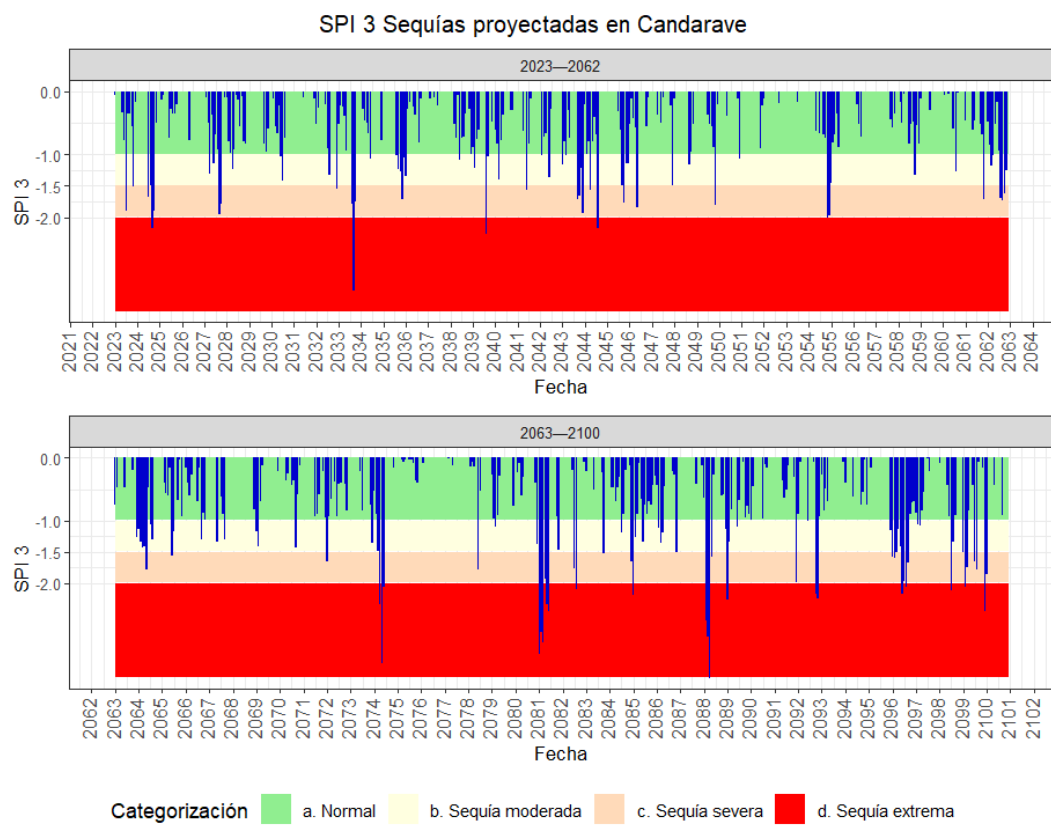
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-9 meses en la estación meteorológica de Aricota.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 40**

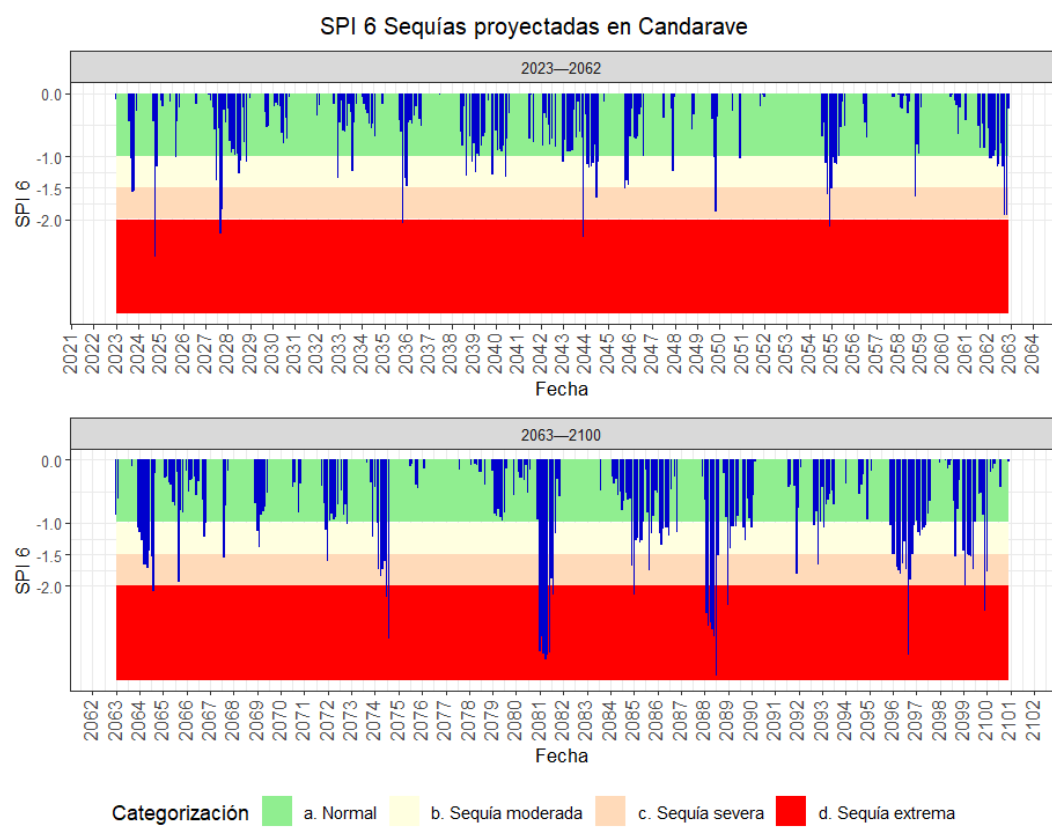
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-3 meses en la estación meteorológica de Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 41**

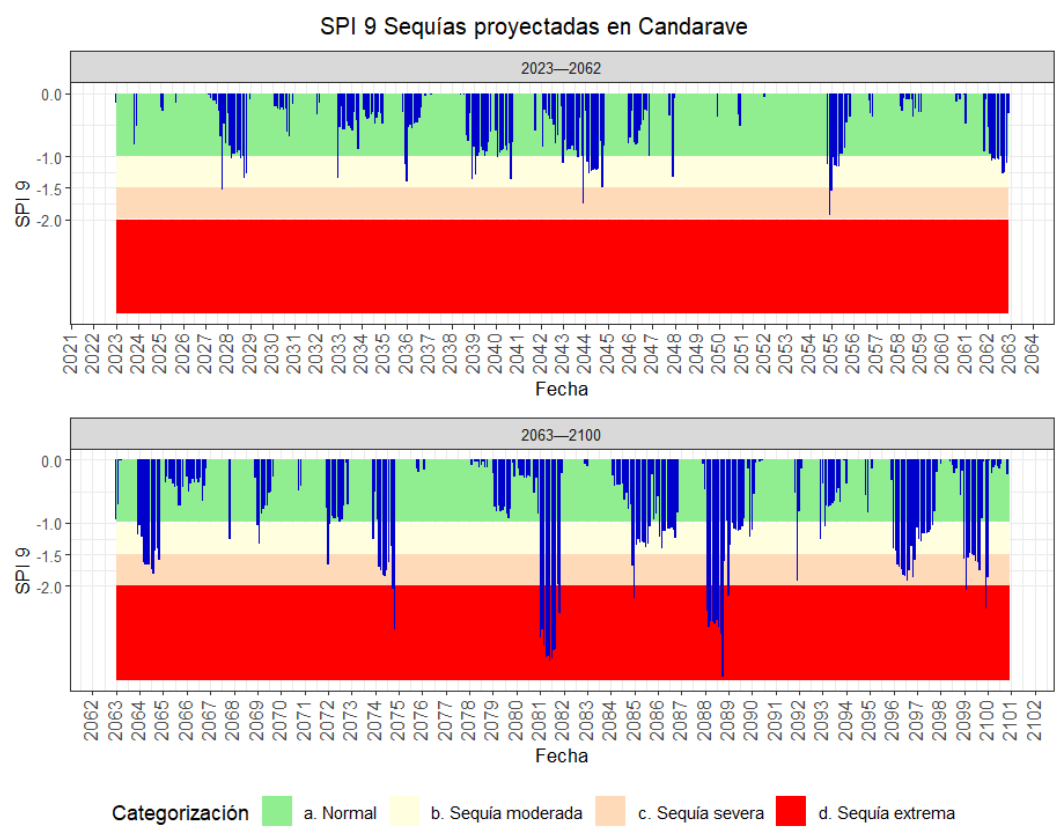
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-6 meses en la estación meteorológica de Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 42**

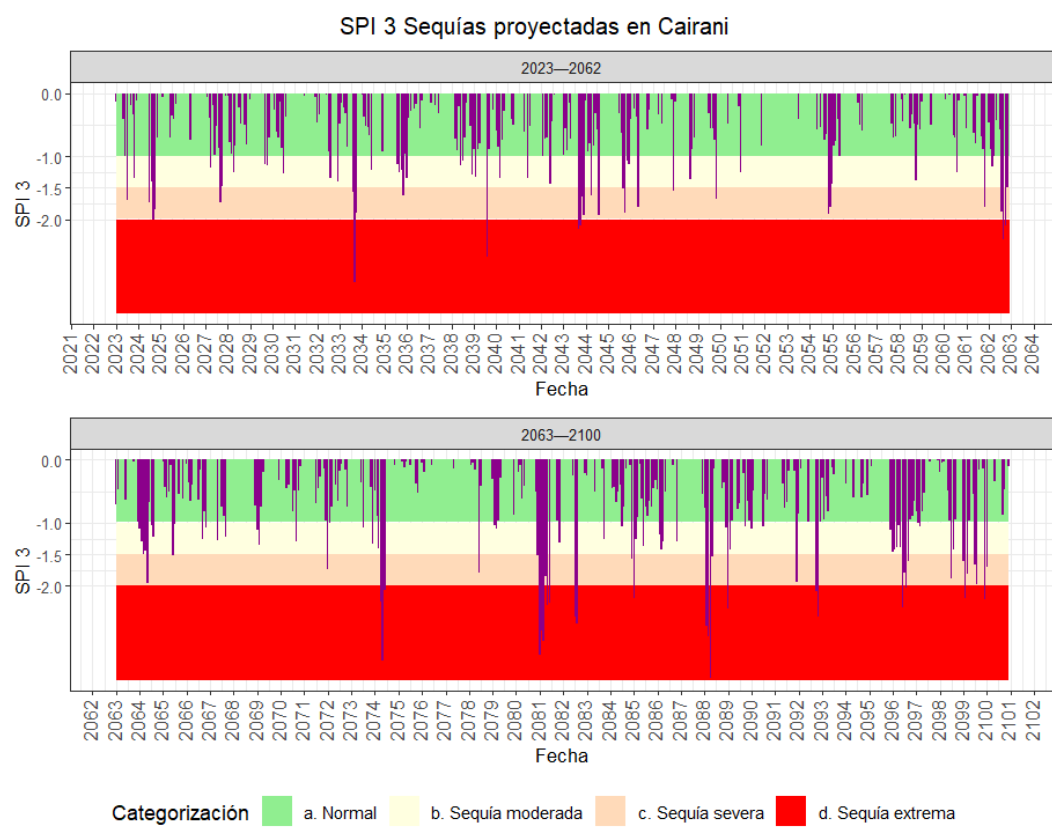
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-9 meses en la estación meteorológica de Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 43**

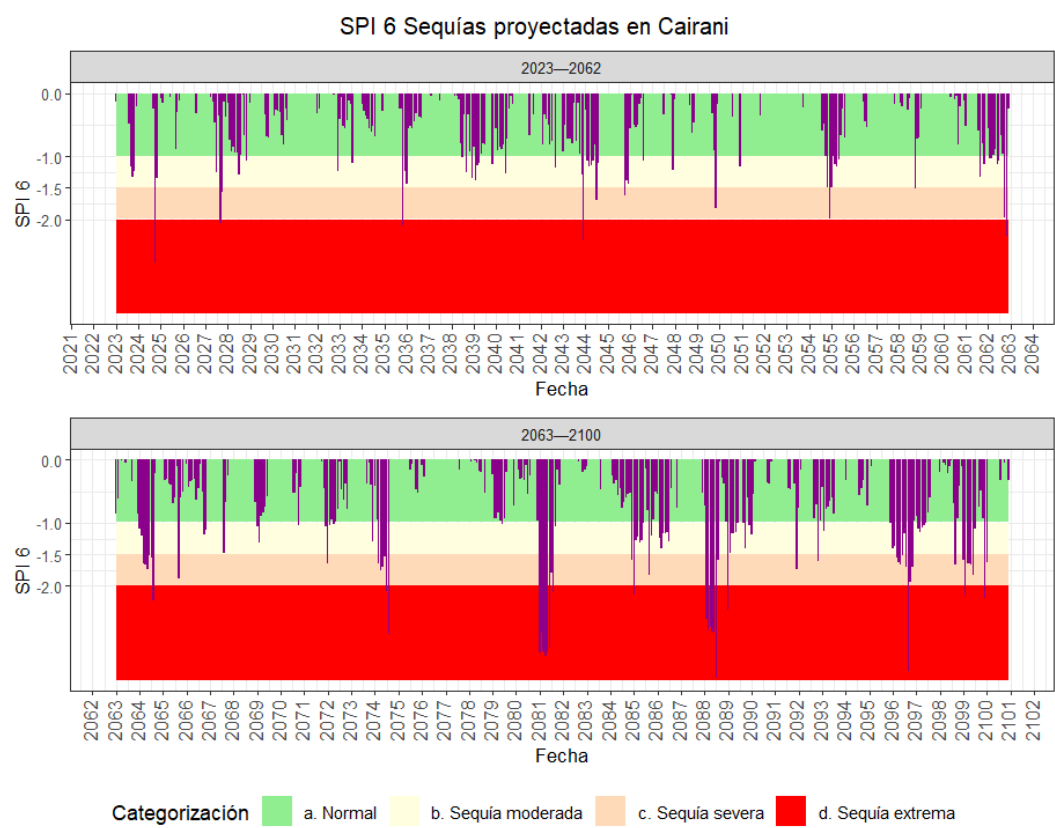
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-3 meses en la estación meteorológica de Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia.

### Figura 44

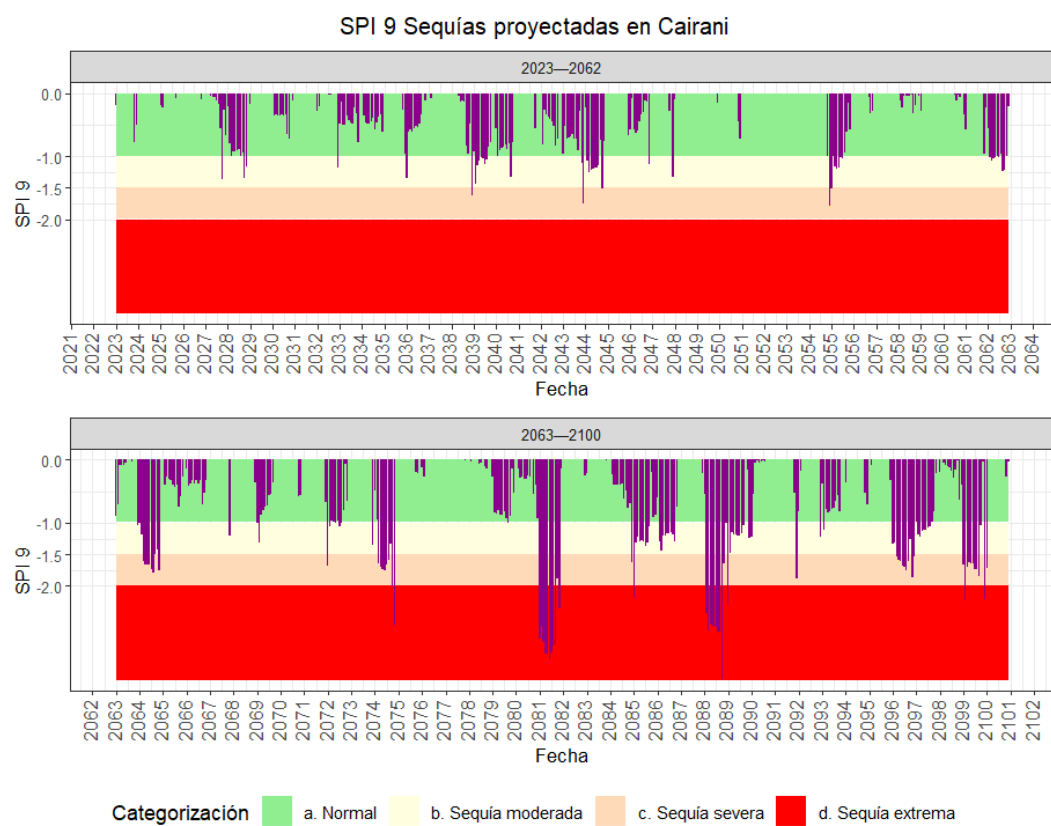
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-6 meses en la estación meteorológica de Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 45**

*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPI-9 meses en la estación meteorológica de Cairani.*

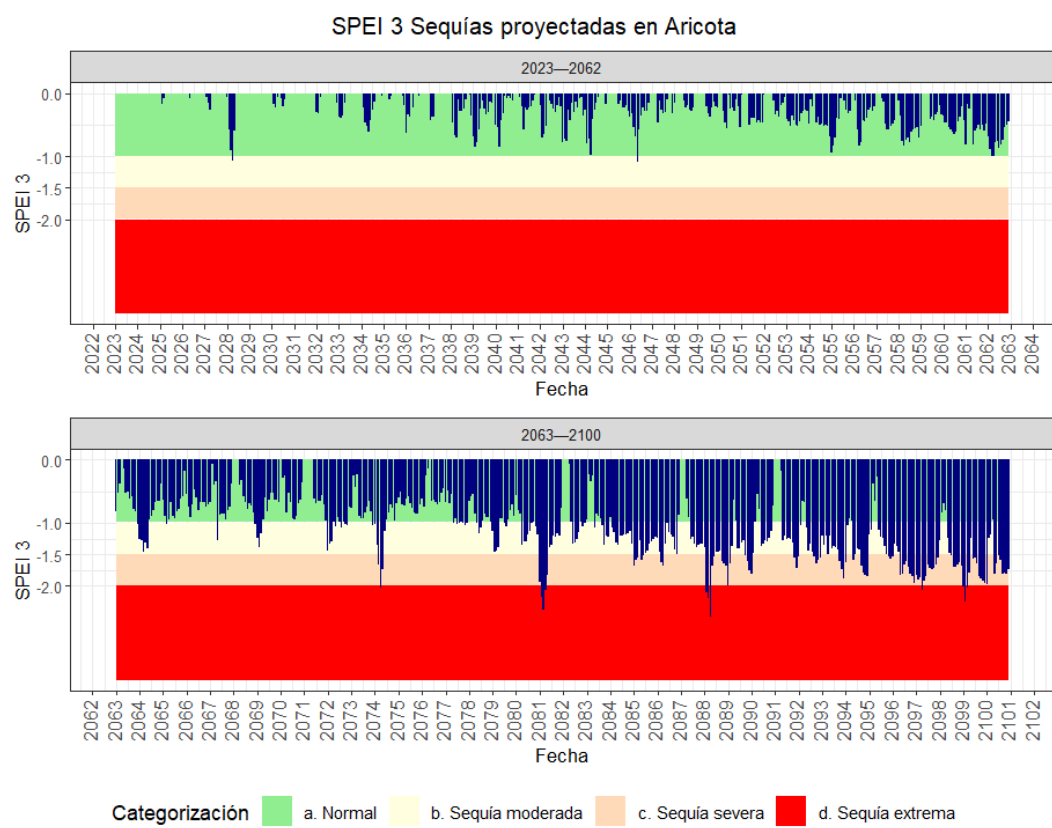


*Nota.* Elaboración propia.

**b. Caracterización de sequías futuras con el Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) para las estaciones meteorológicas de Aricota, Candarave y Cairani, con escalas de 3 meses, 6 meses, y 9 meses:**

**Figura 46**

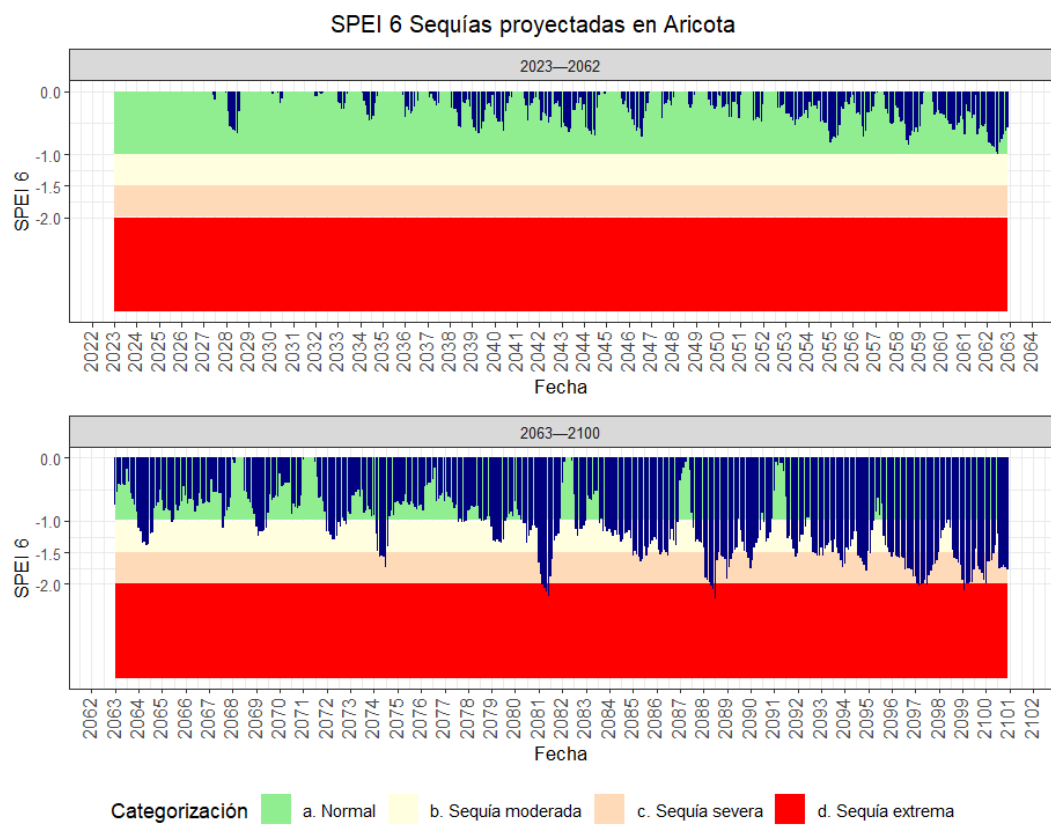
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-3 meses en la estación meteorológica de Aricota.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 47**

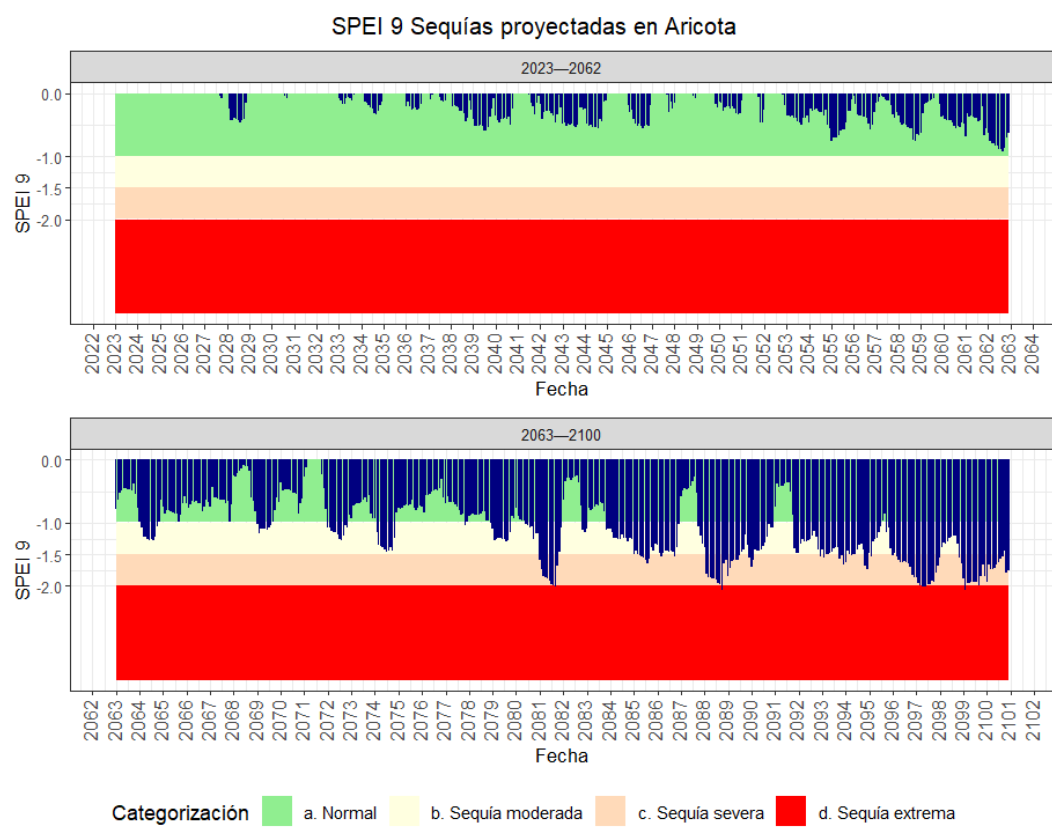
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-6 meses en la estación meteorológica de Aricota.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 48**

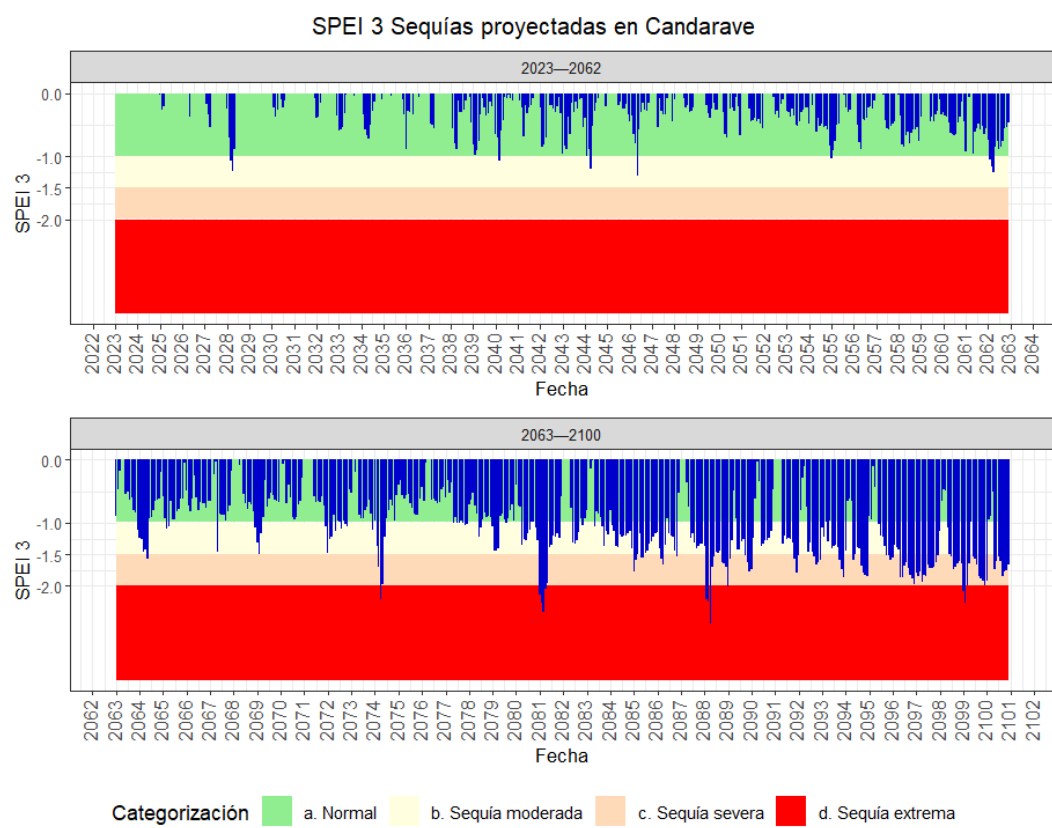
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-9 meses en la estación meteorológica de Aricota.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 49**

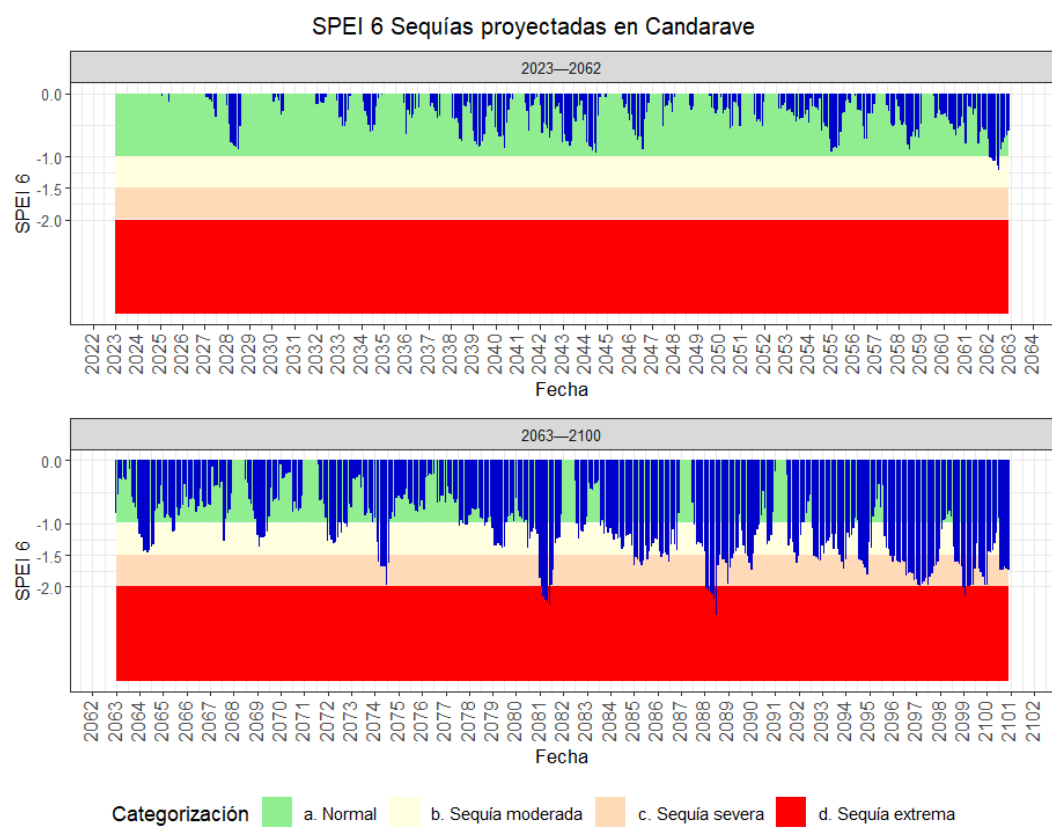
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-3 meses en la estación meteorológica de Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 50**

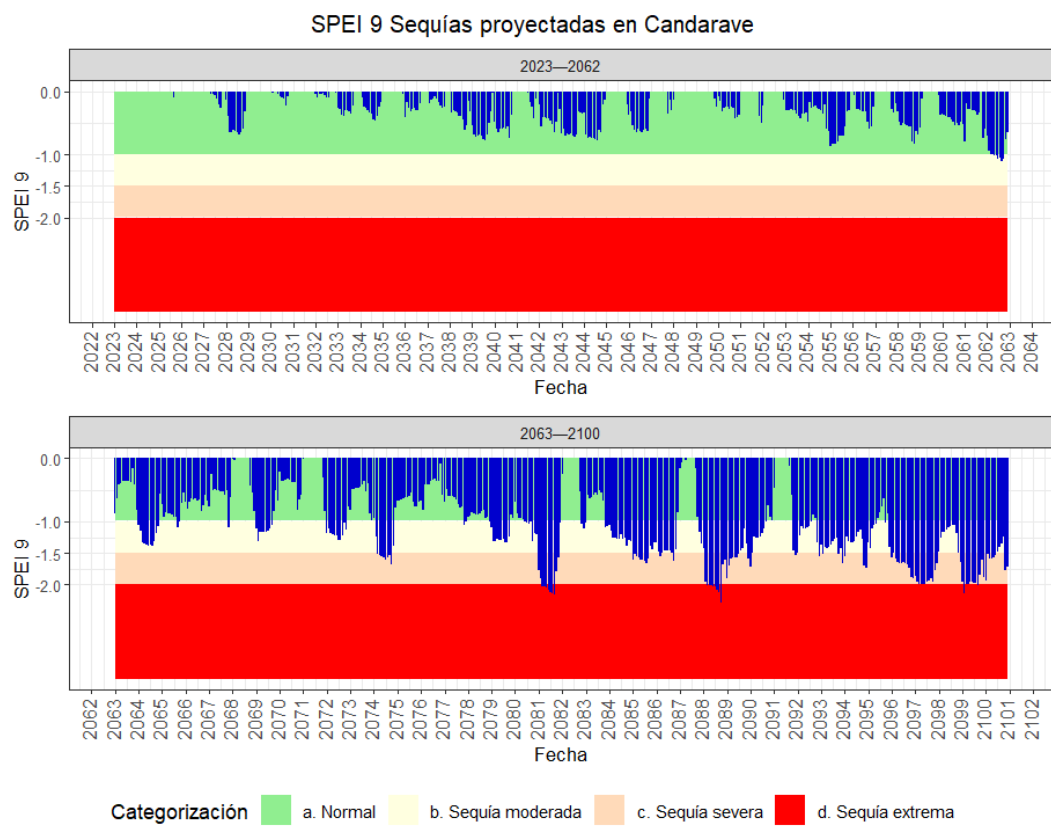
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-6 meses en la estación meteorológica de Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 51**

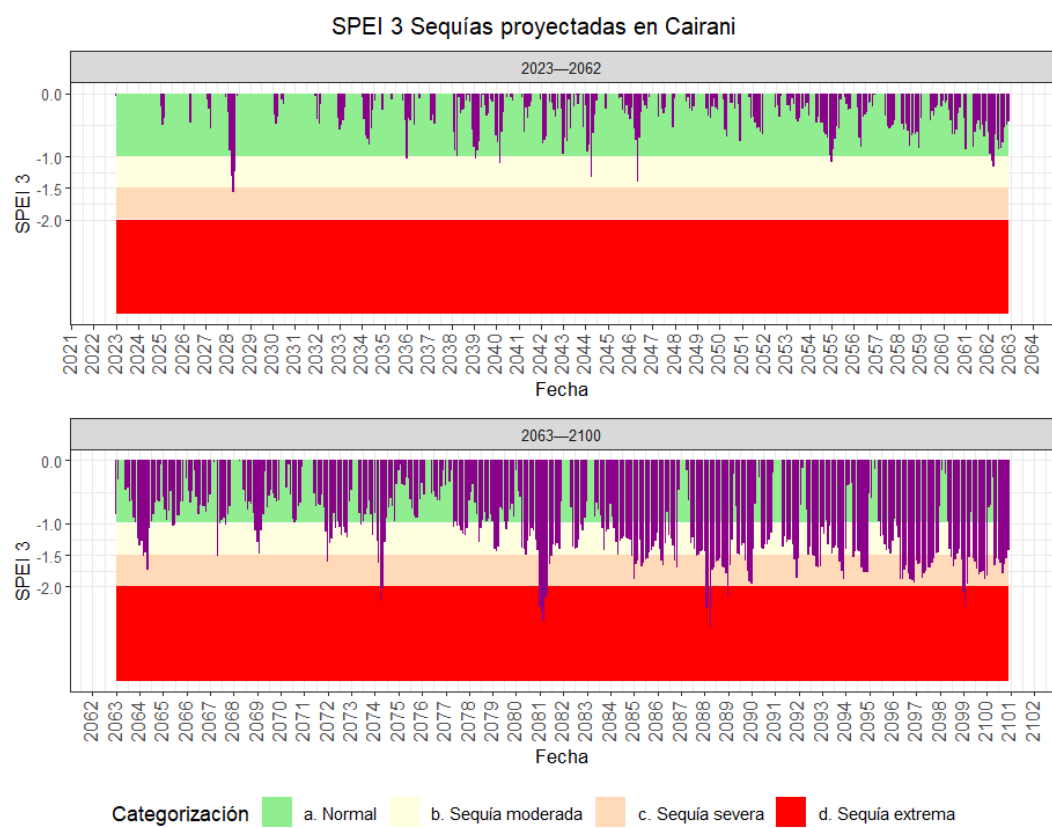
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-9 meses en la estación meteorológica de Candarave.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 52**

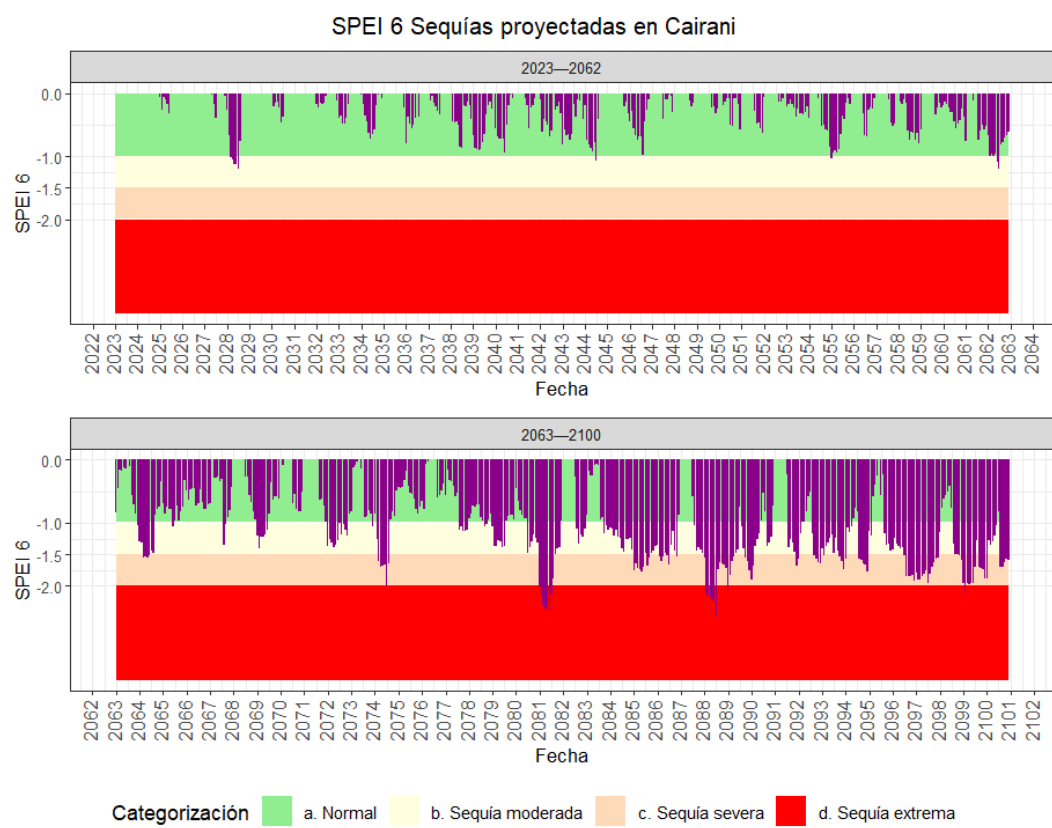
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-3 meses en la estación meteorológica de Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 53**

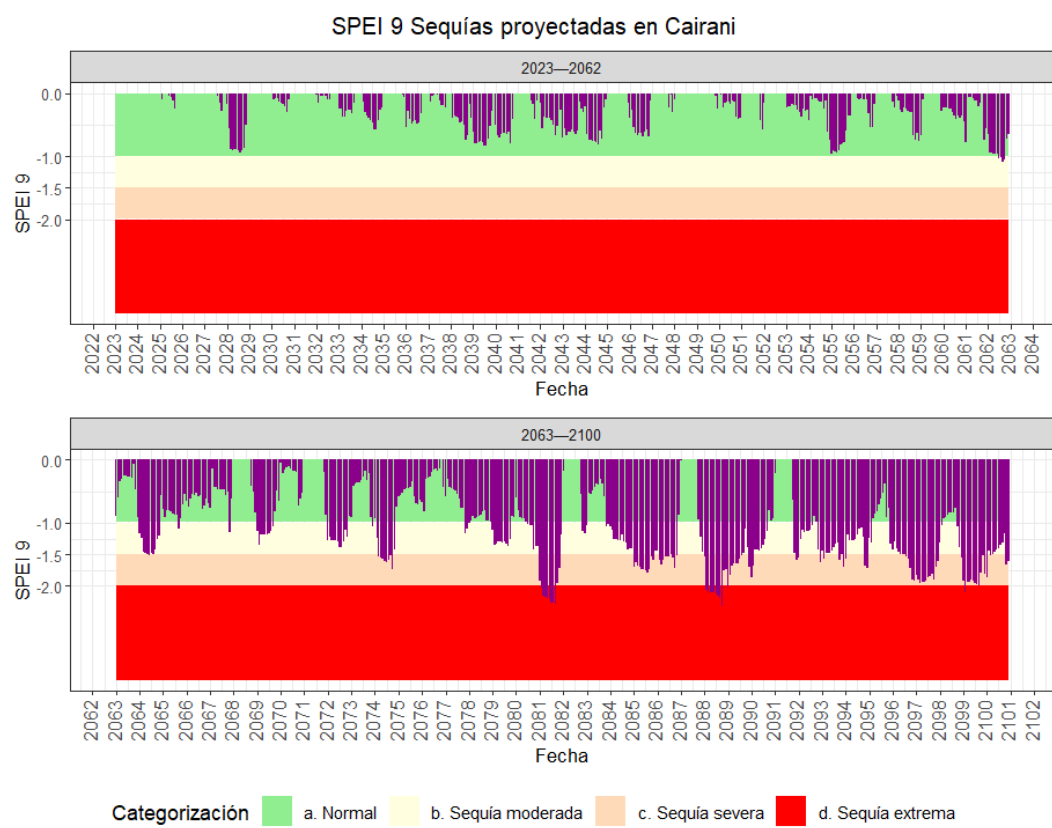
*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-6 meses en la estación meteorológica de Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia.

### Figura 54

*Caracterización de sequías (2023-2100) usando el SPEI-9 meses en la estación meteorológica de Cairani.*



*Nota.* Elaboración propia.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1 Calidad de la data meteorológica disponible para el uso de los índices de sequía**

Los datos meteorológicos obtenidos de las estaciones convencionales del SENAMHI correspondientes al período 1980-2022 mostraron un porcentaje de datos faltantes superior al 10%, lo cual excede el límite aceptable para realizar un análisis representativo y confiable. Este nivel de datos faltantes podría comprometer la precisión de los resultados y afectar la validez de las conclusiones sobre la variabilidad climática en la región de estudio.

Ante esta limitación, se optó por utilizar la base de datos grillada PISCO, un producto del SENAMHI que ofrece datos interpolados de precipitación. Aunque PISCO ha demostrado ser una herramienta valiosa en estudios de cambio climático y sequía, es importante señalar algunas limitaciones en su resolución espacial y temporal, las cuales fueron consideradas durante el análisis.

Para complementar y corregir los datos faltantes en la serie temporal, se aplicó el paquete CLIMATOL en el entorno de software libre R. Este procedimiento permitió homogenizar y completar los datos, reduciendo los sesgos y asegurando la consistencia en las series temporales de precipitación, temperatura máxima y mínima en la provincia de Candarave. Posteriormente, se realizaron pruebas

estadísticas de consistencia, homogeneidad y tendencia para garantizar que los datos meteorológicos fueran representativos de las condiciones locales y adecuadamente consistentes a lo largo del período de estudio.

Finalmente, se verificó que los datos hidrometeorológicos resultantes estaban libre de errores o inconsistencias significativas que pudieran obstaculizar el desarrollo de la investigación y el cálculo de los índices de sequía SPI, SPEI y VCI.

## **5.2 Caracterización de las sequías históricas utilizando el SPI, SPEI y VCI (1980 – 2022).**

Las tres estaciones evaluadas representan diferentes áreas de la provincia de Candarave, lo que permitió analizar cómo varían las sequías espacialmente, además de identificar las más vulnerables, al utilizar las escalas de 3,6 y 9 meses se identificaron tendencias en la duración e intensidad estos ayudaron a determinar si existieron ciertos periodos estacionarios o persistentes, lo que ayuda a realizar una gestión de los recursos hídricos.

### **5.2.1 Caracterización histórica aplicando el SPI escala 3, 6 y 9 meses**

Con respecto a la caracterización de sequías históricas evaluadas en las estaciones meteorológicas de Aricota, Candarave y Cairani las cuales se enmarcan dentro de la Provincia de Candarave, respecto al SPI escala de 3 meses, 6 meses y

9 meses, las cuales permiten analizar niveles de sequía ya sea corto, mediano y largo plazo respectivamente siguiendo la clasificación según Tabla 1.

Realizando la comparación de las 3 estaciones en la escala de 3 meses, en el caso de las sequías extremas identificadas se considera los años: 1983 con una duración de 6 meses a comienzos del enero y finalizando a comienzos de julio de Intensidad -2.96 y severidad -11.2; el año 1996 con una duración de 4 meses, severidad -7.76, Intensidad -2.81 se detectó a principios de febrero hasta inicios de junio; y a comienzos del mes diciembre de 1991 hasta julio del 1992 con una duración de 7 meses de severidad -12.88 y Intensidad de -3.01; por último se tiene identificada en el año 2015/2016 únicamente en la estación meteorológica de Candarave, se tiene una Intensidad de -2.66, frecuencia de -4.84 y duración de 4 meses empezando de diciembre de 2015 y finalizando a comienzos de abril, estos resultados a dicha escala reflejan una duración considerable de las sequías extremas ya que en la escala de 3 meses, un evento puntual de sequía intensa tiene un gran impacto en el SPI produciendo desviaciones más pronunciadas con respecto a la media histórica, las cuales son de suma importancia por el gran impacto socioeconómico e hidrológico donde se considera periodos secos sin presencia de precipitación, perjudicando cultivos principales de la población así como también posible disminución de volumen de caudales de la cuenca Locumba.

Para el caso de la escala de 6 meses, las sequías extremas históricas destacan los años: 1983 desde el mes de enero hasta fines de diciembre de 1983 con una duración de 12 meses, con Intensidad de -3.01 y severidad -21.92; 1989 con una duración de 9 meses desde noviembre hasta fines de julio de 1990, Intensidad de -2.04 y severidad -12.41; 1991 con una duración de 12 meses desde diciembre hasta diciembre de 1992 de Intensidad -3.31 y severidad de -25.1; 1996 desde el mes de febrero hasta fines de diciembre con una duración de 10 meses de Intensidad -2.84 y severidad -14.08; 2015 con una duración de 7 meses que van desde diciembre hasta finales de junio con una Intensidad de -2.76 y severidad -4.01.

De la escala de 6 meses reflejaron una mayor duración de las sequías ya que captura condiciones de sequía que afectan la humedad del suelo y los recursos hídricos a mediano plazo. Estas sequías suelen ser menos intensas en cuanto a déficit de precipitación, pero están persistiendo durante periodos más prolongados, reflejando una duración mayor. Por tanto, esta escala es útil para observar tendencias de humedad que afectan tanto la disponibilidad de agua en el suelo como los recursos hídricos en general, proporcionando una visión menos volátil y más representativa de las condiciones de sequía.

Para la escala de 9 meses, las sequías extremas destacan en los años: 1983 con una duración de 12 meses a inicios de enero hasta fines de 1983 con una Intensidad de -3.00, intensidad de -29.66; 1989 con una duración de 11 meses a

inicios de diciembre hasta fines de octubre de 1990 con una Intensidad de -2.09 e intensidad de -15.61; 1991 con duración de 12 meses a inicio de diciembre hasta fines de noviembre de 1992 con Intensidad de -3.39 e intensidad -34.15; 1996 con una duración de 10 meses a inicios de febrero hasta fines de diciembre con una Intensidad de -2.87 e intensidad -18.61; 2009 con una duración de 12 meses a inicios de diciembre hasta fines de noviembre de 2010 con Intensidad -2.01 e intensidad -16.17; 2016 con una duración de 1 mes desde enero , con una Intensidad de -2.47 e intensidad de -2.47.

La escala de 9 meses integró la precipitación acumulada a lo largo de tres trimestres, lo cual amortiguó las fluctuaciones de precipitación mensual. Esto significa que eventos anómalos, como los descritos en un mes muy seco o muy húmedo, tienen menor impacto sobre el SPI, ya que su efecto se disminuye al promediarse con otros meses del periodo de 9 meses.

### **5.2.2 Caracterización histórica aplicando el SPEI escala 3, 6 y 9 meses**

Para la escala de 3 meses en las estaciones meteorológicas de Aricota, Candarave y Cairani, considerando la clasificación de SPEI, considerando los eventos de sequía extrema se tiene los periodos siguientes: **Año 1983**, con una duración de 5 meses, iniciando desde enero hasta 31 de mayo con una Intensidad de -2.15 y severidad -9.99, Año **1997** y **1998** se tuvo una sequía extrema de duración de 1 mes las fueron de fecha 1/12/1997 a 31/12/1997 y 01/05/1998 a

31/05/1998 la cual tuvo una intensidad de -2.38 y -2.42 respectivamente de estas sequías a pesar de que tuvieron un mes de duración se considera corta extrema con gran impacto histórico, Año **2011** con una duración de 5 meses a inicio del mes de julio hasta 30 de noviembre, el cual tuvo una Intensidad de -2.49 y severidad de -10.08 identificada en la estación de Aricota, Año **2015- 2016** se identifica con una duración de 7 meses, iniciando del mes de noviembre hasta el 31 de mayo con una Intensidad de -2.12 y severidad -9.14, en tanto se toma en cuenta que 3 periodos de fechas **01/05/2021** a **30/06/2021** de duración 2 meses, **01/09/2021** a **31/12/2021** de duración 4 meses y **01/06/2022** a **31/08/2022** de duración 3 meses, tuvieron una Intensidad de -2.06, -2,56 y -2.19, las cuales se puede evidenciar que a finales del año **2021** comenzó un evento de sequía extrema que tuvo duración muy larga de esto se puede evidenciar una variación en el cambio climático perjudicando la producción de cultivos debido a la ausencia de precipitación y temperaturas elevadas, las cuales se diferencian con otros años.

Referente a la escala de 3 meses del SPEI se indaga que

De la escala de 6 meses para el SPEI en las estaciones de Aricota, Candarave y Cairani, se tuvieron periodos de sequía extremas más críticas en el año **1983** con una duración de 4 meses a inicios de marzo hasta 30 de junio con una Intensidad de -2.10 y severidad de -8.36, cabe resaltar que este periodo solo es clasificado como sequía extrema, más se observa una sequía de duración tres meses

anteriores y posteriores, pero de clasificación severa, por lo que se toma en cuenta que el índice solo clasifica, ya que para el mes de diciembre se detectó una sequía extrema de 1 mes de duración y de Intensidad  $-2.33$ , en tanto se debe evaluar qué anterior o posteriormente se tuvieron sequías pero de características severas y moderadas indicando que antes de un periodo de sequía extrema siempre tienden restaurarse por un periodo húmedo. En el **año 2010** se caracterizó un evento de sequía extremo el cual abarca 2 meses desde inicios del mes de agosto hasta 30/09/2010 con una Intensidad de  $-2.04$  y que de la misma manera se tuvieron eventos de sequías moderadas y severas anterior a dichos meses y posteriores a estos meses resaltando que debemos tener en cuenta el periodo de sequía general de 12 meses considerando dichas características, pero es importante resaltar la Intensidad debido a que estas sequías generan mayor impacto. El año **2011** se tuvo otro evento de sequía como se muestra en la **Tabla 25** los cuales comenzaron en octubre y finalizaron en noviembre con una Intensidad de  $-2.27$  y severidad  $-4.30$ , para esto también se observa sequías severas 2 meses anteriores y posterior se detectan periodos húmedos. También el índice detectó un periodo extremo de sequía de mayor duración el año 2021 con una duración de 9 meses de Intensidad  $-2.26$  y severidad  $-19.26$  a inicio del mes de setiembre hasta el 31/05/2022 dichos registros son en las estaciones de Candarave y Cairani las que preceden 14 meses de periodos de sequía modera y extrema. En el año 2022 existió un periodo de

sequía extrema de duración 1 mes la cual tuvo una Intensidad de -2.03, posteriormente se muestra 3 meses de sequía severa.

Aplicando la escala de 9 meses en las estaciones meteorológicas de Aricota, Candarave y Cairani, en la caracterización de sequías se obtuvo un periodo crítico el cual fue en el año **1983** con una duración de 10 meses, la cual inició a inicios del mes de marzo hasta 31/12/1983 de Intensidad -2.27 y severidad -21.35, cabe resaltar que se tuvo sequías moderadas y severas que dieron inicio a febrero de 1982, incrementándose hasta llegar a una sequía extrema. En el Año **1998** con una duración de 1 mes se caracterizó una sequía extrema de Intensidad -2.08 la cual le precedió una sequía moderada y sequía severa posterior al evento considerando un periodo de sequía prolongada las cuales no fueron identificadas en él, también se tuvieron periodos de sequía extrema los años 2010 y 2016 a comienzo de los meses de noviembre y enero respectivamente con una intensidad de -2.05 y -2.19 , las cuales como se observó en los resultados existe precedentes en el año 2010 de sequía moderada y severa , y para el año 2016 posterior a una sequía extrema se detectó sequía moderada. También se detectó una sequía extrema de duración 13 meses (01/09/2021 a 30/09/2022), con una Intensidad de -2.27 y severidad de -27.95, de esta sequía se observa que precedentemente se tuvo sequías sequía moderada y severas que dieron comienzo a noviembre de 2019, en el año 2022 se tuvo una sequía extrema la cual duró 2 meses en el periodo 1/11/2022 a 31/12/2022 con una Intensidad de -2.00.

### 5.2.3 Caracterización de sequías aplicando el VCI escala 1 mes

La presencia de espacios vacíos en algunos mapas e incluso la ausencia de algunos puede ser atribuida a la falta de imágenes satelitales adecuadas o a la exclusión deliberada de imágenes con más del 10% de nubosidad. Esta limitación puede afectar la capacidad para realizar un análisis exhaustivo y puede influir en la interpretación sobre la salud de la vegetación durante períodos críticos.

El periodo de diciembre 1989 a febrero de 1990 presentó una disminución significativa en el VCI, reflejando condiciones de sequía que afectaron la salud de la vegetación y redujeron la producción agrícola. Este evento tuvo una duración aproximada de tres meses, con una Intensidad severa que impactó considerablemente la agricultura local. Asimismo, 1990 coincide no solo con un reporte del SENAMHI acerca de episodios de sequías (Endara, 2019) sino con otra investigación realizada en la provincia de Candarave (Sulca et al., 2022).

Durante el periodo de noviembre 1991 a octubre de 1992, se registraron condiciones de sequía prolongadas, evidenciadas por un VCI bajo que persistió por varios meses. La vegetación sufrió un deterioro continuo, con una reducción notable en la producción agrícola. Los meses más críticos abarcaron de noviembre de 1991 a octubre de 1992, periodo en el que se observaron los niveles más bajos de VCI. Este evento tuvo una duración aproximada de un año y una Intensidad severa, dejando un impacto duradero en la región. Asimismo, 1992 coincide no solo con

un reporte del SENAMHI acerca de episodios de sequías (Endara, 2019) sino con otra investigación realizada en la provincia de Candarave (Sulca et al., 2022).

En el periodo de enero a noviembre de 1996, el VCI reflejó condiciones de sequía moderada a severa, con un impacto significativo en la vegetación. Los meses críticos comprendieron de febrero a noviembre, cuando el VCI se mantuvo en niveles bajos, indicando un estrés considerable en la vegetación. Este evento tuvo una duración de aproximadamente diez meses y una intensidad severa, afectando tanto la producción agrícola como la disponibilidad de recursos hídricos.

En el periodo de octubre a diciembre de 1997, la región de Candarave experimentó un evento de sequía severa, con un VCI que mostró niveles bajos. Este período fue crítico para la vegetación, que sufrió un estrés significativo debido a la falta de precipitaciones.

El periodo de marzo a noviembre de 1998 muestra un VCI consistentemente bajo, reflejando condiciones de sequía severa que afectaron significativamente la vegetación. El mes más crítico fue noviembre de 1998, marcando el final del evento con un impacto prolongado y severo. Este evento destaca por su larga duración.

En el periodo de noviembre de 2009 a diciembre de 2009 se observan condiciones de sequía, y con una mejoría en diciembre del 2009, sin embargo, debido a la falta de imágenes satelitales de enero de 2010, no se puede corroborar si se debe a una recuperación progresiva o puntual.

Durante el período de junio a diciembre de 2010, la región de Candarave experimentó condiciones de sequía que afectaron la salud de la vegetación. El VCI mostró niveles bajos, indicando un estrés significativo en la cobertura vegetal.

En el caso de julio a noviembre de 2011, se observa un deterioro progresivo en la salud de la vegetación, con noviembre de 2011 como el mes más crítico. Aunque más corto que el evento de 1998, este periodo representa un impacto significativo.

Durante el periodo de noviembre de 2015 a enero de 2016, el VCI mostró una disminución notable, indicando una severa afectación de la vegetación. Enero de 2016 se identificó como el mes más crítico, aunque este evento fue de corta duración, el impacto fue agudo.

El periodo de agosto a noviembre de 2020 evidenció una disminución en el VCI, aunque con un impacto menos severo en comparación con eventos anteriores. El mes más crítico fue noviembre de 2020, aunque el impacto general fue menor.

Entre marzo y diciembre de 2021, se presentó un VCI bajo durante varios meses, reflejando condiciones de sequía prolongadas. Diciembre de 2021 se destacó como el mes más crítico, similar al evento de 1998 en términos de duración.

Finalmente, el periodo de enero a septiembre de 2022 mostró un deterioro sostenido en la salud de la vegetación, especialmente durante los meses de invierno.

Septiembre de 2022 fue el mes más crítico, con niveles alarmantemente bajos de VCI. Este evento destacó tanto por su duración como por la severidad de su impacto.

### 5.3 Caracterización de las sequías futuras utilizando el modelo climático (CMIP6) y el escenario climático SSP3-7.0

Para el índice SPI-3:

**Tabla 33**

*Cuadro resumen de sequías extremas periodo 2023-2100 aplicando el SPI escala 3 meses.*

Estación	Inicio	Fin	Duración (meses)	Intensidad	Severidad
Aricota	Julio 2024	Noviembre 2024	5	-2.77	-9.67
	Agosto 2033	Octubre 2033	3	-2.71	-6.25
	Mayo 2074	Junio 2074	2	-2.56	-3.68
	Enero 2081	Junio 2081	6	-3.55	-14.41
	Febrero 2088	Junio 2088	5	-3.79	-10.5
	Enero 2089	Marzo 2089	3	-2.68	-5.73
	Enero 2099	Abril 2099	4	-2.69	-8.21
Cairani	Agosto 2033	Octubre 2033	3	-2.99	-6.44
	Agosto 2039	Setiembre 2039	1	-2.6	-2.6
	Agosto 2062	Noviembre 2062	4	-2.32	-7.78
	Mayo 2074	Junio 2074	2	-2.57	-4.38
	Enero 2081	Junio 2081	6	-3.68	-14.27
	Febrero 2088	Junio 2088	5	-3.75	-10.37
	Enero 2089	Abril 2089	4	-2.68	-5.84
Candarave	Julio 2024	Octubre 2024	4	-2.18	-7.24
	Agosto 2033	Octubre 2033	3	-3.16	-6.69
	Agosto 2039	Setiembre 2039	2	-2.26	-3.3
	Setiembre 2043	Agosto 2044	12	-2.18	-14.13
	Marzo 2074	Junio 2074	4	-3.28	-9.15
	Diciembre 2080	Junio 2081	7	-3.12	-16.91
	Febrero 2088	Mayo 2088	4	-3.51	-10.54
	Octubre 2092	Noviembre 2092	2	-2.25	-4.42
Diciembre 2095	Setiembre 2096	10	-2.16	-16.24	

*Nota.* Elaboración propia

En la estación Aricota, los eventos más destacados incluyen uno de 6 meses de duración entre enero y junio de 2081, con una intensidad máxima de -3.55 y una

severidad de -14.41, y otro de 5 meses entre febrero y junio de 2088, con una intensidad máxima de -3.79 y severidad de -10.5. Otros eventos menores se registraron en 2074, 2089 y 2099, con duraciones de 2 a 4 meses e intensidades máximas alrededor de -2.7.

En la estación Cairani, se observaron eventos similares, destacando uno de 6 meses de duración entre enero y junio de 2081, con una intensidad máxima de -3.68 y una severidad de -14.27, y otro de 5 meses entre febrero y junio de 2088, con una intensidad de -3.75 y severidad de -10.37. Otros eventos de menor duración se registraron en 2074, 2089 y 2099.

En la estación Candarave, se observaron dos periodos incidentes extremos de duración prolongada Setiembre 2043 a Agosto 2044 de Intensidad -2.18 y severidad -14.13 y otro evento que inició en el mes de Diciembre de 2095 hasta setiembre de 2096 con una duración de 10 meses con una Intensidad de -2.16 y severidad -16.24.

Se puede observar que los periodos largos son consecuentes a bajas precipitaciones y llegan a un punto extremo la cual es caracterizada según el SPI como Intensidad de sequía, en cambio en otros periodos se tienen sequías extremas con duración menor, esto nos indica que los periodos más largos le anteceden una baja precipitación como un indicio de que generaría una sequía extrema.

En el caso del índice SPEI-3 para las Estaciones Meteorológicas de Aricota, Cairani y Candarave:

**Tabla 34**

*Cuadro Resumen de sequías Extremas periodo 2023-2100 aplicando el SPEI escala 3 meses.*

<b>Estación</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>	<b>Duración (mes)</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Severidad</b>
Aricota	Diciembre 2073	Abril 2076	29	-2.03	-25.10
	Abril 2080	Diciembre 2081	21	-2.38	-29.17
	Junio 2087	Diciembre 2090	43	-2.49	-60.70
	Junio 2095	Diciembre 2100	67	-2.25	-107.87
Cairani	Febrero 2074	Febrero 2076	25	-2.23	-19.94
	Marzo 2080	Diciembre 2081	21	-2.53	-32.33
	Junio 2087	Marzo 2090	34	-2.63	-52.84
	Junio 2098	Diciembre 2100	31	-2.32	-47.76
Candarave	Febrero 2074	Junio 2074	5	-2.20	-8.46
	Noviembre 2080	Noviembre 2081	13	-2.40	-20.70
	Junio 2087	Marzo 2089	22	-2.59	-35.00
	Mayo 2098	Abril 2099	12	-2.27	-20.49

*Nota.* Elaboración Propia

Para Aricota, el evento más crítico se extendió por 67 meses, desde junio de 2095 hasta diciembre de 2100, con una intensidad máxima de -2.25 y una severidad acumulada de -107.87. Otro evento significativo ocurrió entre junio de 2087 y diciembre de 2090, con una duración de 43 meses, intensidad de -2.49 y severidad de -60.7. También se identificaron sequías de 21 y 29 meses en los periodos 2080-2081 y 2073-2076, respectivamente.

En Cairani, el evento más prolongado duró 34 meses, desde junio de 2087 hasta marzo de 2090, con una intensidad máxima de -2.63 y severidad de -52.84. Otro evento relevante abarcó 31 meses entre junio de 2098 y diciembre de 2100, con intensidad de -2.32 y severidad de -47.76. También se identificaron eventos de 21 y 25 meses en los periodos 2080-2081 y 2074-2076.

En Candarave, se tuvieron 4 eventos de sequías relevantes las cuales tuvieron duraciones de 5 ,13 ,22 y 12 meses, la primera tuvo inicio en la fecha de Febrero del año 2074 hasta Junio de 2074 con Intensidad -2.20 y severidad de -8.46 el siguiente en Noviembre 2080 hasta Noviembre 2081 de Intensidad -2.40 y severidad -20.70 , el tercer evento se estimó en la fecha de Junio 2087 hasta Marzo de 2089 con una Intensidad -2.59 y severidad -35.00 y finalmente en Mayo 2098 hasta abril 2099 con una Intensidad de -2.27 y severidad -20.49.

Índice SPI-6:

**Tabla 35**

*Cuadro Resumen de sequías Extremas periodo 2023-2100 aplicando el SPI escala 6 meses.*

Estación	Inicio	Fin	Duración (mes)	Intensidad	Severidad
Aricota	Octubre 2024	Noviembre2024	2	-2.91	-4.79
	Noviembre 2035	Enero 2036	3	-2.08	-4.67
	Setiembre 2027	Octubre 2027	2	-2.28	-4.09
	Octubre 2062	Noviembre 2062	2	-2.49	-4.43
	Enero 2064	Agosto 2064	8	-2.28	-13.45

	Agosto 2074	Agosto 2074	1	-2.56	-2.56
	Enero 2081	Agosto 2081	8	-3.11	-21.36
	Febrero 2088	Agosto 2088	7	-3.38	-17.41
	Enero 2089	Julio 2089	6	-2.54	-8.65
	Diciembre 2095	Junio 2097	19	-3.22	-27.79
	Enero 2099	Julio 2099	7	-2.25	-12.61
	Noviembre 2035	Junio 2036	8	-2.27	-4.39
	Diciembre 2050	Diciembre 2050	1	-2.06	-2.06
	Noviembre 2051	Diciembre 2051	2	-2.12	-2.7
	Agosto 2067	Octubre 2067	3	-2.1	-4.32
Cairani	Agosto 2074	Agosto 2074	1	-2.14	-2.14
	Enero 2081	Setiembre 2081	9	-3.65	-23.03
	Febrero 2088	Julio 2089	18	-3.77	-30.7
	Setiembre 2096	Agosto 2097	12	-2.27	-13.84
	Enero 2099	Julio 2099	7	-2.63	-13.96
	Octubre 2024	Noviembre 2024	2	-2.59	-3.75
	Setiembre 2027	Octubre 2027	2	-2.23	-4.07
	Diciembre 2043	Diciembre 2043	1	-2.29	-2.29
	Octubre 2054	Mayo 2055	8	-2.12	-10.59
	Diciembre 2063	Agosto 2064	9	-2.08	-13.59
Candarave	Marzo 2074	Agosto 2074	6	-2.84	-11.92
	Enero 2081	Setiembre 2081	9	-3.17	-23.42
	Diciembre 2084	Mayo 2085	6	-2.14	-8.94
	Febrero 2088	Agosto 2088	7	-3.42	-18.07
	Diciembre 2095	Junio 2097	19	-3.09	-28.05
	Diciembre 2099	Enero 2100	2	-2.39	-4.17

*Nota.* Elaboración Propia

En la estación **Aricota**, los eventos más relevantes incluyen:

Un evento de **19 meses** entre diciembre de 2095 y junio de 2097, con una intensidad máxima de -3.22 y una severidad de -27.79

Un evento prolongado de **8 meses** entre enero y agosto de 2081, con una intensidad máxima de -3.11 y severidad acumulada de -21.36.

Otros eventos críticos incluyen los de 7 meses febrero-agosto en el año 2088, con intensidades máximas de -3.38 y severidad -17.41.

Evento de sequía extrema año 2089 desde enero a julio de intensidad -2.54 y severidad -8.65.

Dos eventos de 8 meses, en el año 2064 de enero a agosto con una intensidad de -2.28 y severidad -13.45, en enero 2099 a julio 2099 de intensidad -2.25 y severidad -12.61.

Eventos menores, como los de 1 a 3 meses en 2024,2035,2027, 2062 y 2074, presentaron intensidades entre -2.08 y -2.91, reflejando sequías menos prolongadas pero relevantes.

En la estación **Cairani**, destacan:

Un evento crítico de **18 meses** entre febrero de 2088 y julio de 2089, con una intensidad máxima de -3.77 y severidad acumulada de -30.7.

Otro evento de **9 meses** entre enero y septiembre de 2081, con una intensidad de -3.65 y severidad de -23.03.

Evento de sequía importante también es de 12 meses el cual inicia en setiembre 2096 y termina en agosto 2097 cuenta con una intensidad de -2.27 y severidad de -13.84.

Eventos adicionales de menor duración (1-3 meses) ocurrieron en 2050, 2051, 2067 y 2074, con intensidades que oscilaron entre -2.06 y -2.14, aunque con impactos menos severos.

#### Índice SPEI-6:

Estación	Inicio	Fin	Duración (mes)	Intensidad	Severidad
Aricota	Abril 2080	Febrero 2082	23	-2.19	-30.62
	Agosto 2087	Diciembre 2100	161	-2.24	-234.84
Cairani	Febrero 2074	Abril 2076	27	-2.02	-22.74
	Julio 2080	Diciembre 2081	18	-2.41	-30.73
	Agosto 2087	Diciembre 2090	41	-2.50	-62.56
	Agosto 2098	Diciembre 2100	29	-2.12	-46.40
Candarave	Julio 2080	Noviembre 2081	17	-2.28	-27.32
	Agosto 2087	Junio 2089	23	-2.44	-38.18
	Agosto 2098	Diciembre 2100	29	-2.16	-48.61

Nota. Elaboración Propia

Para la estación **Aricota**, los eventos más destacados incluyen:

Una sequía extremadamente prolongada de **161 meses** entre agosto de 2087 y diciembre de 2100, con una intensidad máxima de -2.24 y severidad acumulada de -234.84, siendo el evento más crítico.

Otro evento significativo de **23 meses**, entre abril de 2080 y febrero de 2082, con una intensidad de -2.19 y severidad de -30.62.

En la estación **Cairani**, los eventos críticos incluyen:

Una sequía prolongada de **41 meses** entre agosto de 2087 y diciembre de 2090, con una intensidad máxima de -2.50 y severidad de -62.56.

Otro evento extenso de **29 meses** entre agosto de 2098 y diciembre de 2100, con una intensidad de -2.12 y severidad acumulada de -46.40.

Además, se identificó un evento de **27 meses** entre febrero de 2074 y abril de 2076, con una intensidad de -2.02 y severidad de -22.74, así como uno de 18 meses en el periodo 2080-2081 con intensidad de -2.41 y severidad de -30.73.

En Candarave se identificó 3 periodos de sequía en junio 2080 hasta noviembre 2081 con una intensidad de -2.28 y severidad 27.32, otra es en el año 2087 entre agosto y junio del año 2089, se tiene una intensidad de -2.44 y severidad de -38.18, finalmente se tiene para el año 2098 entre agosto y diciembre 2100 una duración de 29 meses con una intensidad de -2.16 y severidad -48.61.

Índice SPI-9:

**Tabla 36**

*Cuadro Resumen de sequías Extremas periodo 2023-2100 aplicando el SPI escala 9 meses.*

Estación	Inicio	Fin	Duración (mes)	Intensidad	Severidad
Aricota	Marzo 2074	Noviembre 2074	9	-2.47	-12.13
	Enero 2081	Noviembre 2081	11	-3.12	-30.19
	Enero 2085	Enero 2085	1	-2.11	-2.11

	Febrero 2088	Enero 2089	12	-3.43	-27.98
	Enero 2099	Diciembre 2099	12	-2.33	-20.59
	Octubre 2074	Noviembre 2074	2	-2.63	-4.64
Cairani	Enero 2081	Noviembre 2081	11	-3.14	-30.83
	Enero 2085	Enero 2085	1	-2.19	-2.19
	Febrero 2088	Enero 2089	12	-3.47	-24.61
	Febrero 2099	Febrero 2099	1	-2.23	-2.23
	Diciembre 2099	Diciembre 2099	1	-2.22	-2.22
	Octubre 2074	Noviembre 2074	2	-2.68	-4.72
Candarave	Enero 2081	Noviembre 2081	11	-3.19	-31.42
	Febrero 2088	Enero 2089	12	-3.44	-28.8
	Febrero 2099	Febrero 2099	1	-2.07	-2.07
	Diciembre 2084	Febrero 2085	2	-2.2	-5.23
	Diciembre 2099	Diciembre 2099	1	-2.35	-2.35

Nota. Elaboración Propia.

En Aricota se estimó 4 eventos importantes de 9, 11, 12 y 12 meses de duración, el primero tiene una intensidad de -2.47 y severidad -12.13, el siguiente en enero 2081 hasta noviembre 2081 con intensidad 3.12 y severidad -30.19, el tercero se identifica entre febrero del 2088 a enero de 2089 de intensidad -3.43 y severidad -27.98, para enero 2099 hasta diciembre 2099 con una intensidad -2.33 y severidad -20.59.

En Cairani se tuvo dos eventos importantes el primer con 11 meses de duración entre enero 2081 hasta noviembre 2081 con una intensidad -3.14 y severidad -30.83, la siguiente en febrero 2088 hasta enero 2089 con una intensidad de -3.47 y severidad -24.61.

En Candarave se estimó que en enero 2081 hasta noviembre 2081 ocurrirá una sequía de 11 meses el cual tendrá una intensidad de -3.19 y severidad -31.42, en el mes de febrero 2088 hasta enero 2089 con una duración de 12 meses, intensidad 3.44 y severidad -28.8.

Índice SPEI-9:

**Tabla 37**

*Cuadro Resumen de sequías Extremas periodo 2023-2100 aplicando el SPEI escala 9 meses.*

Estación	Inicio	Fin	Duración (mes)	Intensidad	Severidad
Aricota	Junio 2080	Diciembre 2081	19	-2.01	-28.76
	Octubre 2087	Diciembre 2090	39	-2.06	-59.88
	Octubre 2095	Diciembre 2100	63	-2.05	-105.79
Cairani	Julio 2080	Diciembre 2081	18	-2.28	-31.60
	Noviembre 2087	Setiembre 2090	35	-2.32	-59.16
	Octubre 2098	Diciembre 2100	27	-2.09	-44.46
Candarave	Octubre 2080	Diciembre 2081	15	-2.16	-26.36
	Noviembre 2087	Setiembre 2090	35	-2.11	-55.54
	Diciembre 2095	Diciembre 2100	61	-2.13	-101.31

*Nota.* Elaboración propia

En Aricota, se proyectó 3 eventos extremos, el primero fue entre junio 2080 hasta diciembre 2081 con una duración de 19 meses con una intensidad de -2.01 y severidad -28.76, el siguiente evento sucederá en octubre 2087 hasta diciembre 2090 con una duración de 39 meses con una intensidad de -2.06 y severidad de -59.88, el ultimo evento extremo se estima que para octubre 2095 hasta diciembre 2100 con una duración de 63 meses e intensidad -2.05 y severidad -105.79.

En Cairani, se tienen 3 eventos de sequía extremo, estimados para Julio 2080 hasta diciembre 2081 con una duración de 18 meses y una intensidad de -2.28 y una severidad de -31.60, la siguiente será en noviembre 2087 hasta setiembre 2090 con una duración de 35 meses e intensidad -2.32 y una severidad de -59.16, otro evento de sequía extrema es en octubre de 2098 hasta diciembre 2100 con una duración de 27 meses, intensidad de -2.09 y severidad de -44.46.

En Candarave, ocurrirá 3 eventos de sequía extrema, el primero en octubre 2080 y diciembre 2081 con una duración de 15 meses con intensidad de -2.16 y severidad de -26.36, el siguiente evento será en noviembre 2087 hasta setiembre 2090 con una duración de 35 meses, de intensidad -2.11 y severidad -55.54, otro evento de sequía será en diciembre 2095 hasta diciembre 2100 con una duración de 61 meses, intensidad -2.13 y una severidad de -101.31.

## CONCLUSIONES

- A pesar de los datos faltantes en las estaciones convencionales del SENAMHI, que en el caso de la estación Aricota alcanzaban un 62.98% de información faltante de precipitación, un 22.87% en la estación Candarave y un 3.10% en la estación Cairani, la utilización de la base de datos PISCO y el paquete CLIMATOL en R permitió completar y homogeneizar la información meteorológica para la provincia de Candarave. Esto garantizó la consistencia y validez de los datos, aspectos cruciales para el análisis de la variabilidad climática y el cálculo de índices de sequía.
- Se caracterizaron las sequías históricas en el periodo de 1980- 2022 aplicando los índices SPI, SPEI y VCI, lo que permitió una evaluación integral y consistente con estudios previos y reportes del SENAMHI. El SPI identificó 8 eventos de sequía extrema en 1983, 1989, 1991, 1992, 1996, 2009, 2015 y 2016, con duraciones de hasta 12 meses según las escalas de 3, 6 y 9 meses, evidenciando un aumento en la frecuencia de sequías a lo largo de las décadas mientras que el SPEI, por su parte, identificó 11 eventos en 1983, 1997, 1998, 2010, 2011, 2012, 2015, 2016, 2021 y 2022, predominando periodos cortos, aunque algunos alcanzaron los 13 meses debido a la inclusión de la evapotranspiración en su cálculo.

Mientras que el VCI se aplicó a los periodos críticos identificados por el SPI y SPEI, aportando una visión espacial dinámica que complementó la aplicación de estos índices, a pesar de tener limitaciones con la resolución en los datos satelitales.

- Se logró caracterizar las sequías futuras utilizando el modelo climático CMIP6 utilizando el escenario Climático SSP3-7.0 ,no obstante de los diez modelos incluidos en la base de datos BASD-CMIP6-PE desarrollada para el territorio peruano, los modelos climáticos CanESM5, IPSL-CM6A-LR y UKESM1-0-LL no tienen un buen desempeño en el área de estudio, aún así se estimó sequías extremas de gran importancia que tienen una duración máxima de 161 meses con una severidad de -234.84 y una intensidad de -2.24 identificado en la estación de Aricota con la escala de 6 meses en el año 2087 hasta 2100 donde se tiene la laguna de Aricota dando a conocer sobre la extinción de dicha laguna debido al calentamiento global, al igual que en las otras zonas se estiman que a partir del año 2062 se proyectan sequias de largas duraciones e intensidades que enmarcan a un a sequía severa a extrema.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios adicionales que integren otros índices de sequía, como el SSMI (Soil Moisture Index), para obtener una visión más completa sobre la humedad del suelo y su relación con los eventos de sequía, verificando la calidad de los datos empleados.
- Implementar un sistema de monitoreo continuo utilizando tanto índices meteorológicos como datos satelitales, garantizando una evaluación constante de la calidad y consistencia de la información. Esto permitirá detectar cambios en tiempo real y anticipar eventos extremos.
- Ampliar el análisis sobre la aplicabilidad del VCI en la región, teniendo en cuenta las limitaciones de cobertura de nubes en imágenes Landsat, lo que podría afectar la interpretación histórica de las sequías.
- Considerar estudios adicionales que comparen el desempeño del VCI con otros índices satelitales para superar las limitaciones de Landsat y mejorar la representación de la vegetación en el área de estudio.
- Incorporar los resultados de las proyecciones climáticas como una base para diseñar políticas públicas orientadas a la mitigación del cambio climático y la gestión de recursos hídricos en la región.

- Implementar programas educativos dirigidos a las comunidades locales sobre el manejo sostenible del agua y la adaptación a condiciones climáticas cambiantes.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Abara, M., Komariah, & Budiastuti, S. (2020). Drought Frequency, Severity, and Duration Monitoring Based on Climate Change in Southern and Southeastern Ethiopia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 477(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/477/1/012011>
- Arana Ruedas, D. P. R., Soto Guerra, L., Popli, K., & Gambo Madaki, S. (2023). Spatio-Temporal Drought Assessment Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) over Mantaro Valley, Peru. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 25(3), 159–170. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.525>
- Aranda, D. F. C. (2018). Quantification with SPEI of historical Droughts and under probable climatic change in the climatological station Zacatecas, Mexico. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(2), 210–233. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-09>
- Ashraf, M. S., Shahid, M., Waseem, M., Azam, M., & Rahman, K. U. (2023). Assessment of Variability in Hydrological Droughts Using the Improved Innovative Trend Analysis Method. *Sustainability (Switzerland)*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/su15119065>

- Bouramdane, A. A. (2023). Assessment of CMIP6 Multi-Model Projections Worldwide: Which Regions Are Getting Warmer and Are Going through a Drought in Africa and Morocco? What Changes from CMIP5 to CMIP6? *Sustainability (Switzerland)*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/su15010690>
- Charusombat, U., & Niyogi, D. (2011). A Hydroclimatological Assessment of Regional Drought Vulnerability: A Case Study of Indiana Droughts. *Earth Interactions*, 15(26), 1–65. <https://doi.org/10.1175/2011EI343.1>
- Delgado, M., & Llorca, J. (2004). Estudios longitudinales: concepto y particularidades. *Revista Española de Salud Pública*, 78(2), 141–148.
- Dissanayake, M. A. K. L. (2016). Basic and applied scientific research, innovation and economic development. *Ceylon Journal of Science*, 45(1), 1. <https://doi.org/10.4038/CJS.V45I1.7368>
- Endara, S. , A. J. , V. F. , F. C. , C. K. , & Á. G. (2019). *Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981-2018)*.
- Escoto Castillo, A., Sánchez Peña, L., & Gachuz Delgado, S. (2017). Shared Socioeconomic Pathways (SSP): New ways to assess climate and social change. In *Estudios Demograficos y Urbanos* (Vol. 32, Issue 3, pp. 669–

693). Colegio de Mexico, A.C., Departamento de Publicaciones.  
<https://doi.org/10.24201/edu.v32i3.1684>

Eslamian, S., & Eslamian, F. (2017). *Handbook of Drought and Water Scarcity Principles of Drought and Water Scarcity*.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937–1958.  
<https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

Fassouli, V. P., Karavitis, C. A., Tsesmelis, D. E., & Alexandris, S. G. (2021). Factual Drought Index (FDI): a composite index based on precipitation and evapotranspiration. *Hydrological Sciences Journal*, 66(11), 1638–1652. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1957477>

Fernandez-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Vega-Jácome, F., Menz, C., Gleixner, S., & Bronstert, A. (2024). High-resolution climate projection dataset based on CMIP6 for Peru and Ecuador: BASD-CMIP6-PE. *Scientific Data*, 11(1), 34. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02863-z>

Guajardo-Panes, R. A., Granados-Ramírez, G. R., Sánchez-Cohen, I., Díaz-Padilla, G., & Barbosa-Moreno, F. (2017). Validación espacial de datos climatológicos y pruebas de homogeneidad: Caso Veracruz, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(5), 157–177. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-11>

Guttman, N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311–322. <https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.1999.TB03592.X>

Hasan, N. A., Dongkai, Y., & Al-Shibli, F. (2023). SPI and SPEI Drought Assessment and Prediction Using TBATS and ARIMA Models, Jordan. *Water (Switzerland)*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/w15203598>

Instituto nacional de defensa Civil. (2011). *Plan de uso del suelo y medidas de mitigación ante desastres en la Ciudad de Candarave*. [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_Tacna/candarave/candarave.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Tacna/candarave/candarave.pdf)

Karavitis, C. A., Alexandris, S., Tsesmelis, D. E., & Athanasopoulos, G. (2011). Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. *Water (Switzerland)*, 3(3), 787–805. <https://doi.org/10.3390/W3030787>

- Lee, S. H., Yoo, S. H., Choi, J. Y., & Bae, S. (2017). Assessment of the impact of climate change on drought characteristics in the Hwanghae Plain, North Korea using time series SPI and SPEI: 1981–2100. *Water (Switzerland)*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/w9080579>
- Lei, X., Xu, C., Liu, F., Song, L., Cao, L., & Suo, N. (2023). Evaluation of CMIP6 Models and Multi-Model Ensemble for Extreme Precipitation over Arid Central Asia. *Remote Sensing*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/rs15092376>
- Li, Z., Ye, Y., Lv, X., Bai, M., & Li, Z. (2024). Hydrological Drought and Flood Projection in the Upper Heihe River Basin Based on a Multi-GCM Ensemble and the Optimal GCM. *Atmosphere*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/atmos15040439>
- Liang, L., Qiu, S., Yan, J., Shi, Y., & Geng, D. (2021). VCI-Based Analysis on Spatiotemporal Variations of Spring Drought in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health 2021, Vol. 18, Page 7967, 18(15), 7967*. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18157967>
- Mathbout, S., Martin-Vide, J., & Bustins, J. A. L. (2023a). Drought characteristics projections based on CMIP6 climate change scenarios in Syria. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101581>

- Mathbout, S., Martin-Vide, J., & Bustins, J. A. L. (2023b). Drought characteristics projections based on CMIP6 climate change scenarios in Syria. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101581>
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to time scales. *Eighth Conference on Applied Climatology*, 17–22.
- Montes, A. (2023). Estimación de índices de sequía en la cuenca del rio Ichu utilizando datos generados por teledetección-Huancavelica-2019. *Revista Científica Ciencias Ingenieriles*, 3(1), 44–50. <https://doi.org/10.54943/ricci.v3i1.223>
- Mupepi, O., & Matsa, M. M. (2023). A combination of vegetation condition index, standardized precipitation index and human observation in monitoring spatio-temporal dynamics of drought. A case of Zvishavane District in Zimbabwe. *Environmental Development*, 100802. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100802>
- Orimoloye, I. R., Belle, J. A., Orimoloye, Y. M., Olusola, A. O., & Ololade, O. O. (2022). Drought: A Common Environmental Disaster. In *Atmosphere* (Vol. 13, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/atmos13010111>

- Pei, Z., Fang, S., Wang, L., & Yang, W. (2020a). Comparative analysis of drought indicated by the SPI and SPEI at various timescales in inner Mongolia, China. *Water (Switzerland)*, *12*(7). <https://doi.org/10.3390/w12071925>
- Pei, Z., Fang, S., Wang, L., & Yang, W. (2020b). Comparative analysis of drought indicated by the SPI and SPEI at various timescales in inner Mongolia, China. *Water (Switzerland)*, *12*(7). <https://doi.org/10.3390/w12071925>
- Pino-Vargas, E., Chávarri-Velarde, E., Ingol-Blanco, E., Mejía, F., Cruz, A., & Vera, A. (2022). Impacts of Climate Change and Variability on Precipitation and Maximum Flows in Devil's Creek, Tacna, Peru. *Hydrology*, *9*(1). <https://doi.org/10.3390/hydrology9010010>
- Platero Huanca, M. M. (2020). *Gestión regional del conflicto socioambiental con la empresa Southern en Tacna. Periodo 2007 - 2018* [PUCP]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17625>
- Politi, N., Vlachogiannis, D., Sfetsos, A., Nastos, P. T., & Dalezios, N. R. (2022). High Resolution Future Projections of Drought Characteristics in Greece Based on SPI and SPEI Indices. *Atmosphere*, *13*(9). <https://doi.org/10.3390/atmos13091468>

- Quille-Mamani, J. A., Huayna, G., Pino-Vargas, E., Chucuya-Mamani, S., Vera-Barrios, B., Ramos-Fernandez, L., Espinoza-Molina, J., & Cabrera-Olivera, F. (2024). Spatio-Temporal Evolution of Olive Tree Water Status Using Land Surface Temperature and Vegetation Indices Derived from Landsat 5 and 8 Satellite Imagery in Southern Peru. *Agriculture (Switzerland)*, *14*(5). <https://doi.org/10.3390/agriculture14050662>
- Rahman, A., & Pekkat, S. (2024). Identifying and ranking of CMIP6-global climate models for projected changes in temperature over Indian subcontinent. *Scientific Reports*, *14*(1), 3076. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52275-1>
- Rascón, J., Gosgot Angeles, W., Quiñones Huatangari, L., Oliva, M., & Barrena Gurbillón, M. Á. (2021). Dry and Wet Events in Andean Populations of Northern Peru: A Case Study of Chachapoyas, Peru. *Frontiers in Environmental Science*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.614438>
- Santini, M., Noce, S., Mancini, M., & Caporaso, L. (2023). A Global Multiscale SPEI Dataset under an Ensemble Approach. *Data*, *8*(2). <https://doi.org/10.3390/data8020036>
- SENAMHI. (2016). *Análisis del riesgo de sequías en el sur del Perú*.

- Senhorelo, A. P., Sousa, E. F. de, Santos, A. R. dos, Ferrari, J. L., Peluzio, J. B. E., Zanetti, S. S., Carvalho, R. de C. F., Camargo Filho, C. B., Souza, K. B. de, Moreira, T. R., Costa, G. A., Kunz, S. H., & Dias, H. M. (2023). Application of the Vegetation Condition Index in the Diagnosis of Spatiotemporal Distribution of Agricultural Droughts: A Case Study Concerning the State of Espírito Santo, Southeastern Brazil. *Diversity*, *15*(3). <https://doi.org/10.3390/d15030460>
- Sesabo, J. K. (2024). Deciphering the Drivers of Food Security in Tanzania: Non-experimental Research Design. *SCIENCE MUNDI*, *4*(1), 12–24. <https://doi.org/10.51867/SCIMUNDI.4.1.2>
- Sotelo, F. (2019). *ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE RIESGO POR CAMBIO CLIMATICO EN LA CUENCA CAPLINA - TACNA*.
- Sulca, S., Calle, V., & Acuña, D. (2022). PATRÓN OCEÁNICO-ATMOSFÉRICO DE MACROESCALA ASOCIADO A LAS SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EXTREMAS EN LA SIERRA SUR DEL PERÚ. *Ecología Aplicada*, *21*(1), 57–66. <https://doi.org/10.21704/rea.v21i1.1875>
- Thom, H. C. (1958). A Note on the Gamma Distribution. *Monthly Weather Review*, *86*, 117–122.

- Tsesmelis, D. E., Vasilakou, C. G., Kalogeropoulos, K., Stathopoulos, N., Alexandris, S. G., Zervas, E., Oikonomou, P. D., & Karavitis, C. A. (2021). Drought assessment using the standardized precipitation index (SPI) in GIS environment in Greece. *Computers in Earth and Environmental Sciences: Artificial Intelligence and Advanced Technologies in Hazards and Risk Management*, 619–633. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89861-4.00025-7>
- Urrutia-Mosquera, J. A. (2016). *Metodología para la imputación de datos faltantes en Metereología*. <https://www.researchgate.net/publication/308024316>
- Vélez-nicolás, M., García-lópez, S., Ruiz-ortiz, V., Zazo, S., & Molina, J. L. (2022). Precipitation Variability and Drought Assessment Using the SPI: Application to Long-Term Series in the Strait of Gibraltar Area. *Water (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/w14060884>
- 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>
- Viloria, J. A., Olivares, B. O., García, P., Paredes-Trejo, F., & Rosales, A. (2023). Mapping Projected Variations of Temperature and Precipitation

Due to Climate Change in Venezuela. *Hydrology*, 10(4).  
<https://doi.org/10.3390/hydrology10040096>

Wagesho, N., & Claire, M. (2016). Analysis of Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationship for Rwanda. *Journal of Water Resource and Protection*, 08(07), 706–723.  
<https://doi.org/10.4236/JWARP.2016.87058>

Wang, L., Shu, Z., Wang, G., Sun, Z., Yan, H., & Bao, Z. (2022a). Analysis of Future Meteorological Drought Changes in the Yellow River Basin under Climate Change. *Water (Switzerland)*, 14(12).  
<https://doi.org/10.3390/w14121896>

Wang, L., Shu, Z., Wang, G., Sun, Z., Yan, H., & Bao, Z. (2022b). Analysis of Future Meteorological Drought Changes in the Yellow River Basin under Climate Change. *Water (Switzerland)*, 14(12).  
<https://doi.org/10.3390/w14121896>

Wang, X., Yang, J., Xiong, J., Shen, G., Yong, Z., Sun, H., He, W., Luo, S., & Cui, X. (2022). Investigating the Impact of the Spatiotemporal Bias Correction of Precipitation in CMIP6 Climate Models on Drought Assessments. *Remote Sensing*, 14(23).  
<https://doi.org/10.3390/rs14236172>

- Xu, F., Bento, V. A., Qu, Y., & Wang, Q. (2023). Projections of Global Drought and Their Climate Drivers Using CMIP6 Global Climate Models. *Water (Switzerland)*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/w15122272>
- Yang, S., & Cui, X. (2019). Building regional sustainable development scenarios with the SSP framework. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 20). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su11205712>
- Yang, S., Zhao, Y., Yang, D., & Lan, A. (2024). Analysis of Vegetation NDVI Changes and Driving Factors in the Karst Concentration Distribution Area of Asia. *Forests*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/f15030398>
- Zambrano, F., Lillo-Saavedra, M., Verbist, K., & Lagos, O. (2016). Sixteen years of agricultural drought assessment of the biobío region in Chile using a 250 m resolution vegetation condition index (VCI). *Remote Sensing*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/rs8060530>
- Zhao, B., Yang, D., Yang, S., & Santisirisomboon, J. (2022). Spatiotemporal Characteristics of Droughts and Their Propagation during the past 67 Years in Northern Thailand. *Atmosphere*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/atmos13020277>

Zuñiga, S. (2021). *Impactos del cambio climático sobre las sequias en la cuenca Río Tambo-Perú, bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5.*

## ANEXOS

Tabla 38

*Precipitación total mensual (mm) – Estación Aricota, rellenado*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm) - RELLENADO													
ESTACIÓN ARICOTA													
LATITUD		17° 19' 44.9"				DEPARTAMENTO				TACNA			
LONGITUD		70° 14' 14.3"				PROVINCIA				CANDARAVE			
ALTITUD		2850.0 msnm				DISTRITO				QUILAHUANI			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1980	9.9	6.3	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	1.2	33.2
1981	24.2	45.5	10.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	2.1	8.9	94.9
1982	26.3	8.4	11.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.6	0.6	3.0	53.1
1983	0.0	2.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	2.7	5.7
1984	44.7	60.2	32.0	0.0	0.0	1.8	0.0	1.0	0.0	9.6	10.6	0.4	160.3
1985	3.9	74.3	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	7.4	34.2	132.6
1986	56.2	39.8	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	2.1	27.0	149.3
1987	52.1	5.2	2.8	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	67.4
1988	36.9	0.0	14.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	55.6
1989	17.9	70.2	5.9	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.5
1990	8.7	5.6	9.3	0.0	0.1	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	51.2	87.8
1991	24.6	0.9	21.2	0.3	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5
1992	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	24.6	27.8
1993	74.2	5.1	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	8.5	104.3
1994	10.5	90.1	0.0	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	124.0
1995	27.2	0.0	77.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	12.6	118.2
1996	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.6	28.0
1997	31.6	77.9	64.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.3	0.0	0.0	2.4	177.4
1998	10.3	27.8	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	2.1	43.2
1999	2.4	64.5	56.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	125.0
2000	91.8	58.8	29.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	184.4
2001	27.9	129.7	42.4	1.2	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	202.7
2002	13.4	37.5	21.8	0.2	0.0	0.0	16.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	92.7
2003	14.8	2.2	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.9
2004	19.7	52.1	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.0
2005	21.3	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	19.4	74.6

<b>2006</b>	33.4	52.8	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	114.3
<b>2007</b>	41.1	21.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	6.4	71.4
<b>2008</b>	92.5	9.7	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	3.2	114.2
<b>2009</b>	1.7	51.1	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	62.6
<b>2010</b>	2.0	17.0	0.7	0.4	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	30.8
<b>2011</b>	43.5	71.8	2.4	5.3	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	36.7	165.1
<b>2012</b>	82.1	71.6	47.2	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	27.6	242.5
<b>2013</b>	35.9	51.4	33.4	0.0	6.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	129.7
<b>2014</b>	30.4	0.2	1.2	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	35.1
<b>2015</b>	29.6	63.2	87.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	181.3
<b>2016</b>	2.3	56.8	0.0	0.8	0.0	2.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	64.6
<b>2017</b>	62.4	47.6	35.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.8	167.6
<b>2018</b>	33.8	10.6	9.6	0.0	0.0	2.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	61.0
<b>2019</b>	63.5	62.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	136.8
<b>2020</b>	78.3	88.7	27.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.9	0.0	60.4	256.9
<b>2021</b>	16.1	11.4	5.2	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	1.0	37.3
<b>2022</b>	26.2	11.1	19.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.9	86.1

*Nota.* Obtenido a partir de datos del SENAMHI



<b>2007</b>	29.4	33.1	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	66.2
<b>2008</b>	85.3	22.5	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	2.9	122.8
<b>2009</b>	2.8	42.8	23.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	70.3
<b>2010</b>	3.9	13.7	0.0	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	7.2	32.2
<b>2011</b>	65.6	86.5	0.0	2.2	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.8	198.6
<b>2012</b>	102.7	102.5	22.7	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	40.0	293.7
<b>2013</b>	38.2	65.6	25.9	0.0	8.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	147.0
<b>2014</b>	31.7	0.2	2.6	6.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0	0.5	0.0	42.2
<b>2015</b>	32.6	79.3	108.6	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	223.8
<b>2016</b>	2.2	52.3	0.7	3.0	0.0	0.6	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	64.3
<b>2017</b>	105.0	49.2	48.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	218.4
<b>2018</b>	34.5	20.9	10.0	0.2	0.0	2.3	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	74.1
<b>2019</b>	55.4	83.8	3.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	8.9	152.3
<b>2020</b>	120.9	103.6	24.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.3	0.0	59.9	313.6
<b>2021</b>	24.7	11.3	4.6	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.7	4.5	47.6
<b>2022</b>	26.9	13.5	23.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	18.9	88.5

*Nota.* Obtenido a partir de datos del SENAMHI

**Tabla 40***Precipitación total mensual (mm) – Estación Candarave, rellenado*

<b>PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm) - RELLENADO</b>													
<b>ESTACIÓN CANDARAVE</b>													
<b>LATITUD</b>		17° 16' 3.9"				<b>DEPARTAMENTO</b>				TACNA			
<b>LONGITUD</b>		70° 15' 19.3"				<b>PROVINCIA</b>				CANDARAVE			
<b>ALTITUD</b>		3415.0 msnm				<b>DISTRITO</b>				CANDARAVE			
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
<b>1980</b>	8.7	18.1	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	0.0	2.5	74.4
<b>1981</b>	60.8	132.8	23.6	11.2	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	1.5	24.3	255.8
<b>1982</b>	50.4	24.5	16.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.2	4.9	99.7
<b>1983</b>	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	7.5	13.5
<b>1984</b>	86.1	113.5	55.1	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	7.5	11.1	0.0	275.8
<b>1985</b>	7.7	136.9	21.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.7	25.6	209.0
<b>1986</b>	90.7	71.3	38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	37.1	238.6
<b>1987</b>	102.9	5.5	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	112.9
<b>1988</b>	66.9	0.0	18.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	89.8
<b>1989</b>	25.1	82.1	7.4	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	117.4
<b>1990</b>	15.1	7.6	15.2	0.0	0.8	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	26.8	56.2	142.0
<b>1991</b>	42.8	1.5	51.8	1.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.7
<b>1992</b>	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	72.3	82.5
<b>1993</b>	108.8	9.2	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.2	0.0	10.0	148.8
<b>1994</b>	75.0	134.7	2.1	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	17.5	248.2
<b>1995</b>	43.5	0.0	74.0	2.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	12.3	133.3
<b>1996</b>	44.0	25.6	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.7	3.5	76.4
<b>1997</b>	60.8	70.3	39.7	0.0	0.2	0.0	0.0	9.5	23.6	0.0	0.0	12.0	216.1
<b>1998</b>	92.5	32.7	1.6	2.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	8.4	148.1
<b>1999</b>	22.1	146.4	120.6	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0	17.2	319.1
<b>2000</b>	119.8	75.2	104.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	310.2
<b>2001</b>	53.7	228.2	63.8	9.7	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	8.8	367.2
<b>2002</b>	16.7	91.7	34.5	3.5	0.0	0.0	29.3	0.0	0.0	6.4	6.2	15.0	203.3
<b>2003</b>	28.5	13.3	57.5	0.4	2.1	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	3.2	106.0
<b>2004</b>	63.8	51.6	1.3	0.0	0.0	0.0	12.4	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	130.6
<b>2005</b>	52.9	46.5	14.5	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0	1.1	20.1	148.4
<b>2006</b>	58.7	72.2	40.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	5.9	178.5

<b>2007</b>	46.9	57.8	4.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	9.9	122.7
<b>2008</b>	61.7	34.8	18.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	6.1	124.6
<b>2009</b>	9.0	164.2	39.3	3.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	4.1	1.5	221.6
<b>2010</b>	4.8	34.6	1.7	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	9.6	54.8
<b>2011</b>	92.1	146.6	4.9	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	94.5	349.6
<b>2012</b>	121.9	196.7	80.4	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	44.1	467.5
<b>2013</b>	93.1	60.4	63.6	0.0	10.3	3.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	19.0	251.5
<b>2014</b>	83.5	2.1	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1.2	96.4
<b>2015</b>	39.3	87.1	81.2	12.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	221.6
<b>2016</b>	2.3	89.2	0.0	9.9	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	110.2
<b>2017</b>	113.9	68.1	71.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.3	283.1
<b>2018</b>	61.8	38.5	17.9	0.6	0.0	4.3	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	138.3
<b>2019</b>	115.9	143.8	4.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	1.3	0.0	11.7	277.8
<b>2020</b>	87.5	29.8	36.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	4.6	0.0	66.8	226.2
<b>2021</b>	19.8	20.5	7.4	1.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	5.6	58.0
<b>2022</b>	35.0	13.3	22.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	82.8

*Nota.* Obtenido a partir de datos del SENAMHI

**Tabla 41***Temperatura máxima media mensual (°C) – Estación Aricota, rellenado*

TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL (°C) - RELLENADO													
ESTACIÓN ARICOTA													
LATITUD	17° 19' 44.9"						DEPARTAMENTO	TACNA					
LONGITUD	70° 14' 14.3"						PROVINCIA	CANDARAVE					
ALTITUD	2850.0 msnm						DISTRITO	QUILAHUANI					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
1980	20.6	20.6	19.6	20.2	19.3	18.5	18.0	18.6	18.3	19.2	20.2	21.0	19.5
1981	19.2	18.9	19.4	19.3	18.9	17.9	18.0	17.5	18.4	19.4	20.3	20.9	19.0
1982	19.7	20.7	19.3	19.1	19.0	17.5	18.4	18.8	19.5	19.9	20.3	21.5	19.5
1983	22.1	21.1	22.1	21.0	19.2	18.6	20.1	19.7	19.7	20.0	21.4	21.3	20.5
1984	18.4	18.1	18.7	18.8	18.8	17.3	17.8	18.8	19.7	20.0	19.6	20.3	18.9
1985	19.5	18.4	20.2	18.3	18.1	18.3	17.8	18.8	18.5	20.5	18.9	19.5	18.9
1986	20.0	18.7	18.9	18.9	18.3	17.9	17.1	18.2	18.7	20.1	20.8	20.0	19.0
1987	20.0	21.2	20.7	20.0	18.6	18.0	18.1	20.3	20.0	19.7	20.5	21.9	19.9
1988	19.7	19.6	18.3	18.2	18.5	17.0	17.6	19.3	19.5	19.8	20.5	19.8	19.0
1989	19.5	19.2	19.7	18.1	17.5	17.5	17.2	18.0	18.3	19.4	20.0	20.3	18.7
1990	19.6	19.6	19.5	18.7	18.1	16.2	16.8	17.8	19.3	19.2	19.7	20.3	18.7
1991	19.7	19.1	18.9	19.1	18.4	18.1	18.1	18.1	19.0	19.6	20.1	20.7	19.1
1992	19.6	19.5	19.8	20.5	19.6	17.9	17.8	17.8	18.7	19.6	20.4	19.9	19.3
1993	19.2	19.6	18.9	20.0	18.9	18.9	18.2	18.2	18.9	19.7	20.3	20.1	19.2
1994	19.5	18.8	19.7	19.8	18.8	18.1	17.5	18.9	19.4	20.3	20.7	20.6	19.3
1995	20.2	19.3	18.6	19.4	18.5	18.0	18.0	17.7	18.6	19.4	19.9	19.2	18.9
1996	19.0	18.7	18.5	19.3	17.5	16.3	17.0	17.2	17.8	19.5	19.2	19.1	18.3
1997	18.8	18.5	18.9	19.8	19.4	19.5	19.3	17.3	18.9	20.3	20.0	21.3	19.3
1998	21.2	20.1	20.4	21.3	19.6	18.3	18.5	18.0	18.1	18.9	19.7	19.9	19.5
1999	19.2	18.0	18.3	19.1	17.5	17.3	17.5	17.8	18.1	18.8	19.2	19.5	18.4
2000	18.7	18.2	18.4	20.2	18.2	16.6	17.0	17.6	18.4	18.7	19.6	19.6	18.4
2001	18.8	18.8	18.5	19.4	17.5	17.1	17.6	17.7	18.4	19.0	19.4	19.4	18.5
2002	19.4	18.5	18.7	19.0	18.0	16.7	16.7	17.9	18.5	19.5	20.0	20.4	18.6
2003	19.7	19.9	18.9	19.3	18.0	17.5	18.0	17.1	17.6	19.8	20.6	20.1	18.9
2004	19.4	18.9	19.6	19.8	17.8	17.0	16.8	18.1	18.8	19.4	20.0	20.7	18.9
2005	19.8	18.4	19.4	19.4	17.5	17.1	16.9	18.0	17.4	18.3	18.8	18.3	18.3
2006	19.2	18.9	18.5	18.8	19.0	18.6	19.2	19.2	19.1	19.2	18.9	18.9	19.0

<b>2007</b>	19.5	18.5	18.8	19.1	19.0	18.8	17.5	18.8	19.7	18.7	19.0	17.5	18.7
<b>2008</b>	16.9	17.2	17.4	18.0	18.3	18.3	18.7	18.5	19.2	18.7	19.1	17.5	18.2
<b>2009</b>	18.1	17.6	17.9	19.2	18.6	18.7	18.5	19.4	20.3	19.7	19.1	19.1	18.9
<b>2010</b>	19.7	20.7	20.4	20.9	19.9	19.9	18.8	21.0	20.5	19.7	19.0	18.5	19.9
<b>2011</b>	18.7	18.0	18.9	19.5	20.9	19.8	19.5	20.8	21.2	19.7	20.0	19.7	19.7
<b>2012</b>	18.6	17.5	20.0	19.6	20.7	19.3	20.3	20.0	20.4	19.3	19.1	18.0	19.4
<b>2013</b>	19.4	18.4	18.6	19.9	19.1	18.9	18.6	19.0	20.0	19.6	18.7	18.8	19.1
<b>2014</b>	18.2	18.6	18.2	19.8	18.6	19.8	19.8	19.0	19.6	20.0	19.2	19.3	19.2
<b>2015</b>	19.5	17.9	18.1	19.6	19.5	20.4	19.2	20.1	20.3	20.1	20.1	21.1	19.7
<b>2016</b>	20.0	19.9	20.0	20.3	19.8	19.5	19.1	19.6	20.0	19.7	19.4	18.7	19.7
<b>2017</b>	17.3	17.0	17.6	19.4	19.9	18.7	19.3	19.1	19.8	20.1	19.2	18.8	18.9
<b>2018</b>	18.0	18.3	18.8	18.6	19.2	18.3	18.5	19.5	19.8	19.1	19.1	19.6	18.9
<b>2019</b>	19.2	19.0	19.7	19.7	19.9	20.7	19.6	20.1	19.8	19.4	19.8	19.5	19.7
<b>2020</b>	19.4	18.8	19.7	19.5	18.7	18.1	18.0	18.6	19.5	19.7	20.7	18.0	19.1
<b>2021</b>	18.2	19.2	18.2	19.1	19.2	18.7	19.7	19.0	20.0	20.4	18.9	19.9	19.2
<b>2022</b>	18.8	18.8	17.6	19.7	19.8	18.0	19.1	18.9	19.4	19.4	19.7	18.7	19.0

*Nota.* Obtenido a partir de datos del SENAMHI

**Tabla 42***Temperatura máxima media mensual (°C) – Estación Cairani, rellenado*

<b>TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL (°C) - RELLENADO</b>													
<b>ESTACIÓN CAIRANI</b>													
<b>LATITUD</b>	17° 16' 52.35"						<b>DEPARTAMENTO</b>	TACNA					
<b>LONGITUD</b>	70° 21' 45.67"						<b>PROVINCIA</b>	CANDARAVE					
<b>ALTITUD</b>	3386.0 msnm						<b>DISTRITO</b>	CAIRANI					
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Prom</b>
<b>1980</b>	15.0	14.0	14.0	13.9	14.6	14.4	13.5	14.2	14.6	15.1	15.1	15.0	14.4
<b>1981</b>	13.1	12.3	12.7	12.7	13.9	13.2	13.6	12.9	14.0	15.0	14.8	15.2	13.6
<b>1982</b>	12.8	12.6	13.0	13.4	13.2	13.5	14.3	14.8	14.8	15.1	14.6	15.0	13.9
<b>1983</b>	16.1	15.1	15.4	15.5	15.0	13.6	13.7	14.3	13.8	15.3	15.5	13.4	14.7
<b>1984</b>	10.8	12.1	11.7	12.8	13.5	12.7	13.1	13.1	14.4	14.5	12.7	13.5	12.9
<b>1985</b>	11.5	12.4	12.1	12.1	13.1	13.1	12.6	13.7	14.3	14.9	13.0	12.3	12.9
<b>1986</b>	12.2	11.1	11.4	13.3	13.0	13.4	13.3	14.2	15.1	14.8	15.1	13.7	13.4
<b>1987</b>	12.4	14.5	13.0	14.3	13.9	13.6	13.8	14.8	15.5	15.5	15.2	15.6	14.3
<b>1988</b>	13.2	14.0	12.6	13.0	13.5	13.1	13.5	14.8	13.7	15.1	15.3	13.2	13.7
<b>1989</b>	13.1	11.8	11.2	12.6	13.5	13.0	13.0	14.0	14.4	15.4	15.3	14.5	13.5
<b>1990</b>	13.9	14.2	15.1	14.4	14.1	13.6	13.2	14.6	15.1	14.8	15.4	13.6	14.3
<b>1991</b>	12.4	14.1	13.2	14.4	15.0	13.8	13.9	14.8	14.9	15.0	14.5	14.3	14.2
<b>1992</b>	14.0	14.0	15.4	14.8	14.5	13.6	13.3	13.8	14.1	14.9	14.1	14.0	14.2
<b>1993</b>	12.4	12.8	12.6	14.0	13.5	14.7	13.2	13.8	14.6	15.2	14.6	13.5	13.7
<b>1994</b>	12.7	12.0	13.0	13.6	14.6	13.8	13.8	14.6	15.5	14.9	14.9	14.4	14.0
<b>1995</b>	13.7	14.6	13.2	15.0	15.3	14.4	13.8	15.4	15.7	16.0	15.9	15.4	14.9
<b>1996</b>	13.8	13.8	13.2	13.8	14.6	13.7	14.0	14.0	15.2	15.2	14.8	14.6	14.2
<b>1997</b>	12.1	14.1	13.6	14.2	14.9	13.4	15.4	13.7	14.7	16.0	16.1	17.3	14.6
<b>1998</b>	15.7	16.0	16.9	16.3	15.7	14.6	14.6	14.8	15.1	16.1	15.6	14.9	15.5
<b>1999</b>	14.6	12.5	11.9	14.1	14.3	13.6	13.4	14.8	14.7	15.5	15.2	14.5	14.1
<b>2000</b>	11.7	11.9	12.4	13.9	14.4	13.1	13.0	14.7	14.8	15.9	15.3	15.6	13.9
<b>2001</b>	12.9	13.1	12.1	13.7	13.5	13.9	14.2	14.6	14.9	15.8	15.8	16.1	14.2
<b>2002</b>	15.7	12.8	13.9	13.4	14.1	14.3	12.2	15.0	15.5	16.1	16.0	16.2	14.6
<b>2003</b>	15.1	14.9	15.0	15.4	15.0	14.9	13.7	14.5	15.2	16.2	16.3	15.2	15.1
<b>2004</b>	14.2	13.9	15.3	15.2	14.6	14.5	13.1	13.6	15.1	15.6	16.0	15.5	14.7
<b>2005</b>	14.1	14.1	14.2	15.2	14.8	14.4	14.1	15.2	13.9	15.4	15.7	14.2	14.6
<b>2006</b>	12.9	13.3	13.3	14.0	13.9	14.0	14.8	15.0	15.2	15.7	16.1	15.8	14.5

<b>2007</b>	15.8	14.0	13.9	14.8	14.6	14.7	13.4	14.3	15.6	15.6	16.0	14.4	14.8
<b>2008</b>	13.0	13.1	13.1	13.7	14.3	13.9	14.0	14.7	15.3	15.6	16.0	14.0	14.2
<b>2009</b>	13.4	12.6	13.1	14.1	14.2	14.5	13.6	15.1	16.1	16.7	16.3	15.7	14.6
<b>2010</b>	16.0	15.9	16.6	16.0	14.7	14.7	13.8	15.5	15.4	15.2	15.2	14.0	15.3
<b>2011</b>	14.0	11.6	12.7	13.8	14.9	13.9	13.5	14.8	15.7	14.9	15.9	14.7	14.2
<b>2012</b>	15.4	12.6	14.5	14.1	15.5	15.1	15.5	16.2	17.1	16.5	16.8	13.4	15.2
<b>2013</b>	17.5	14.5	16.1	16.7	16.4	15.3	16.1	15.5	16.5	17.4	17.1	17.3	16.4
<b>2014</b>	17.5	18.2	18.1	17.7	17.1	16.0	16.8	17.3	17.1	18.1	18.0	18.1	17.5
<b>2015</b>	18.2	17.3	16.7	17.2	17.3	17.5	16.6	16.6	16.7	15.4	15.7	16.6	16.8
<b>2016</b>	16.5	15.9	16.8	16.8	15.6	15.7	14.8	14.6	15.8	15.8	15.5	15.3	15.8
<b>2017</b>	13.6	11.9	10.6	13.3	13.5	13.4	14.9	14.0	14.6	15.0	14.4	14.0	13.6
<b>2018</b>	13.6	13.6	13.9	14.7	14.7	13.5	14.3	14.5	15.1	14.8	15.3	15.7	14.5
<b>2019</b>	14.9	14.2	15.1	15.0	15.2	15.4	15.0	15.7	15.1	15.3	15.6	15.3	15.1
<b>2020</b>	15.3	15.0	15.8	14.9	15.5	14.4	14.4	14.1	15.9	16.5	16.2	14.4	15.2
<b>2021</b>	13.6	15.0	14.2	15.7	14.9	14.3	15.3	14.7	15.7	16.2	14.7	15.1	14.9
<b>2022</b>	14.8	14.5	13.8	16.6	15.8	13.9	15.7	15.3	15.6	15.4	15.9	15.2	15.2

*Nota.* Obtenido a partir de datos del SENAMHI

**Tabla 43***Temperatura máxima media mensual (°C) – Estación Candarave, rellenado*

TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL (°C) - RELLENADO													
ESTACIÓN CANDARAVE													
LATITUD	17° 16' 3.9"						DEPARTAMENTO	TACNA					
LONGITUD	70° 15' 19.3"						PROVINCIA	CANDARAVE					
ALTITUD	3415.0 msnm						DISTRITO	CANDARAVE					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
1980	15.4	14.6	15.1	14.9	15.1	14.0	13.4	14.1	14.4	15.2	15.8	13.9	14.7
1981	12.1	11.1	15.8	16.2	13.3	13.2	13.0	14.8	15.3	14.2	15.6	15.9	14.2
1982	13.4	13.3	13.8	14.3	14.2	14.5	13.7	15.4	14.9	14.0	15.2	15.6	14.4
1983	17.4	17.4	17.3	16.6	15.8	14.3	13.5	15.0	14.6	16.9	16.2	16.6	16.0
1984	11.0	11.3	11.1	14.1	15.4	12.1	12.9	11.1	14.6	16.2	13.3	16.8	13.3
1985	14.0	12.5	14.8	14.2	13.7	12.5	14.0	14.8	14.6	18.0	14.4	16.1	14.5
1986	15.0	11.7	12.2	14.1	14.0	14.4	14.3	14.8	16.0	15.5	15.8	13.3	14.3
1987	14.1	17.2	16.6	15.2	14.9	13.7	10.5	15.1	16.4	16.1	16.9	16.3	15.3
1988	16.3	14.7	10.0	15.8	15.4	12.3	14.0	15.8	14.6	15.8	16.0	12.2	14.4
1989	13.7	13.6	12.4	14.8	14.5	12.8	11.7	15.1	15.2	16.1	16.0	15.2	14.3
1990	14.6	14.9	15.3	17.9	15.3	14.6	14.2	15.5	16.0	15.6	16.1	14.2	15.3
1991	13.0	14.5	15.2	16.0	16.1	14.8	10.9	15.8	15.1	15.7	15.2	14.9	14.8
1992	14.6	15.7	16.2	14.8	15.2	15.6	15.9	15.3	14.9	18.9	14.7	9.2	15.1
1993	10.8	14.3	14.8	14.9	15.4	15.7	13.1	14.7	15.4	16.0	15.3	14.1	14.5
1994	11.3	12.8	13.8	14.5	15.6	14.3	14.8	15.5	16.4	15.7	15.5	15.0	14.6
1995	13.1	16.4	11.9	13.1	16.3	15.4	14.1	15.8	15.3	16.8	16.7	14.9	15.0
1996	9.3	13.9	14.0	15.2	14.9	13.0	12.8	14.5	16.5	16.0	15.5	12.9	14.0
1997	9.7	13.0	16.0	15.4	15.9	13.1	13.2	11.7	15.5	16.8	16.9	18.0	14.6
1998	14.7	16.8	16.2	17.3	14.1	14.5	15.6	15.8	12.2	16.9	16.3	12.3	15.2
1999	12.8	11.1	11.3	14.1	14.5	13.7	13.4	15.7	15.5	16.3	15.9	11.9	13.9
2000	9.6	9.5	11.2	14.5	13.7	14.2	12.3	13.2	15.7	16.6	16.0	16.3	13.6
2001	10.3	11.1	10.2	14.6	12.9	14.9	13.9	15.6	15.8	16.6	16.6	16.8	14.1
2002	15.7	10.1	14.7	14.3	15.1	14.5	9.3	14.0	16.4	16.9	16.8	13.5	14.3
2003	13.5	14.8	11.9	14.3	12.3	12.4	12.4	15.5	16.1	17.0	14.5	14.7	14.1
2004	13.6	11.6	13.7	16.1	12.9	13.4	10.2	13.9	15.9	14.7	14.9	15.0	13.8
2005	13.0	13.9	14.4	15.1	15.3	14.1	13.6	15.5	11.8	15.2	16.4	13.7	14.3
2006	12.9	13.4	13.6	13.8	13.8	14.9	15.9	15.4	14.7	16.5	16.8	16.5	14.9

<b>2007</b>	16.5	14.7	14.7	15.2	14.1	15.1	13.1	14.8	16.3	16.1	16.1	15.3	15.2
<b>2008</b>	16.2	16.1	16.2	16.1	16.1	15.7	15.8	16.0	16.6	17.0	16.5	16.9	16.3
<b>2009</b>	14.1	15.2	15.2	16.0	15.2	14.8	15.4	16.0	16.8	16.8	17.0	16.4	15.7
<b>2010</b>	20.1	19.6	17.5	17.0	14.6	14.9	15.1	15.9	17.9	19.0	19.8	19.0	17.5
<b>2011</b>	14.7	14.5	13.5	17.7	15.7	14.9	14.6	15.8	16.6	15.6	16.6	15.4	15.5
<b>2012</b>	14.0	13.0	13.7	13.3	18.3	19.0	15.5	16.2	17.1	16.5	16.8	14.4	15.6
<b>2013</b>	15.5	14.1	15.1	16.7	15.0	13.4	14.2	15.4	19.6	16.9	16.0	15.2	15.6
<b>2014</b>	14.0	15.9	18.1	16.2	15.5	18.2	15.8	16.1	16.2	17.1	16.6	16.4	16.3
<b>2015</b>	16.0	18.3	17.2	18.4	16.7	15.7	15.9	16.3	17.3	17.3	18.4	18.9	17.2
<b>2016</b>	18.4	17.7	18.7	18.1	17.4	15.9	16.0	16.0	17.1	17.3	17.7	17.2	17.3
<b>2017</b>	14.1	15.1	13.3	15.4	15.0	16.5	15.1	16.3	16.8	17.6	17.3	17.0	15.8
<b>2018</b>	15.9	16.4	16.5	16.3	15.7	14.3	14.8	15.9	16.6	15.7	16.8	15.9	15.9
<b>2019</b>	16.9	14.1	16.5	16.5	16.1	16.1	15.8	16.7	16.8	16.5	16.3	16.4	16.2
<b>2020</b>	16.5	16.0	16.4	15.8	16.6	15.5	15.4	17.3	17.2	17.2	17.9	16.1	16.5
<b>2021</b>	15.3	17.1	16.1	17.2	17.0	15.8	16.7	16.2	18.8	17.6	16.7	17.7	16.8
<b>2022</b>	18.2	17.3	16.2	17.4	17.4	15.9	16.4	17.0	15.3	16.0	17.0	15.6	16.6

*Nota.* Obtenido a partir de datos del SENAMHI

**Tabla 44***Temperatura mínima media mensual (°C) – Estación Aricota, relleno*

TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL (°C) - RELLENADO													
ESTACIÓN ARICOTA													
LATITUD		17° 19' 44.9"					DEPARTAMENTO			TACNA			
LONGITUD		70° 14' 14.3"					PROVINCIA			CANDARAVE			
ALTITUD		2850.0 msnm					DISTRITO			QUILAHUANI			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
1980	6.3	6.0	6.2	4.2	2.1	1.0	2.8	1.9	3.1	3.9	4.0	5.2	3.9
1981	6.3	6.5	5.8	4.1	2.1	0.2	-0.3	1.5	2.6	3.2	5.0	6.5	3.6
1982	6.1	6.5	5.3	4.1	2.0	0.3	1.4	2.1	3.8	4.9	5.6	6.8	4.1
1983	8.5	8.1	7.2	6.1	3.9	2.0	3.1	3.4	4.0	4.0	5.2	5.9	5.1
1984	6.0	6.3	6.3	4.7	3.2	1.9	1.3	2.5	3.1	5.4	5.4	6.1	4.4
1985	5.8	6.1	6.4	5.1	3.1	3.1	1.0	1.9	3.9	4.3	4.6	5.7	4.3
1986	6.5	6.1	5.7	4.5	2.7	0.7	0.4	2.3	3.5	3.6	5.1	5.9	3.9
1987	7.9	7.2	7.0	5.4	3.0	2.6	2.6	3.8	4.0	4.9	6.7	7.2	5.2
1988	7.3	6.2	6.5	5.2	3.9	0.2	1.0	2.4	4.1	4.2	5.0	5.7	4.3
1989	6.4	6.8	6.6	5.3	2.1	1.9	1.7	2.5	2.7	3.6	4.9	5.7	4.2
1990	6.7	6.2	5.9	5.0	2.9	2.0	1.0	1.9	3.1	4.8	5.8	6.4	4.3
1991	6.8	6.3	6.1	4.3	3.0	2.1	1.7	1.8	3.8	3.3	5.7	5.7	4.2
1992	7.3	6.4	7.1	5.3	4.3	2.7	1.5	2.3	2.9	4.5	5.5	6.2	4.7
1993	7.1	6.4	6.0	5.5	4.4	2.5	2.0	2.7	3.5	4.6	5.7	6.0	4.7
1994	6.6	6.8	6.4	4.9	4.1	2.3	1.8	2.2	3.8	4.6	5.8	6.5	4.7
1995	7.7	7.3	6.2	4.7	3.1	1.6	1.7	2.6	4.0	5.0	5.3	5.6	4.6
1996	6.1	6.6	5.6	4.3	3.2	1.9	1.4	2.0	3.2	4.3	5.1	5.4	4.1
1997	7.0	6.9	6.5	4.3	4.2	2.7	4.3	1.8	4.6	5.3	6.8	8.1	5.2
1998	9.3	9.7	8.4	5.8	4.5	1.9	3.5	2.7	2.9	4.5	5.6	6.8	5.5
1999	6.6	7.3	6.6	3.8	2.3	0.5	2.3	2.4	3.3	3.8	5.2	6.3	4.2
2000	7.0	6.6	5.9	5.4	2.8	1.8	2.0	2.9	4.3	4.7	6.1	6.8	4.7
2001	7.0	7.6	6.5	4.6	2.7	2.1	1.8	2.6	3.6	4.4	6.2	6.9	4.7
2002	6.8	7.5	7.4	5.3	3.5	2.4	2.0	2.8	3.9	4.7	5.7	6.6	4.9
2003	7.6	8.0	6.8	3.7	3.4	0.7	1.8	1.7	3.0	4.4	5.9	6.5	4.5
2004	7.5	6.9	6.9	4.8	2.6	1.2	2.0	3.0	4.0	5.7	6.8	7.3	4.9
2005	7.9	7.8	6.4	5.4	4.5	1.1	1.8	2.9	3.2	3.9	4.9	5.3	4.6
2006	7.7	7.9	7.9	3.1	1.5	1.3	1.0	2.0	1.3	2.6	3.6	3.8	3.6

<b>2007</b>	5.5	5.2	5.8	3.8	1.5	2.7	1.0	1.9	4.0	2.6	3.5	4.3	3.5
<b>2008</b>	7.6	6.2	6.0	2.6	0.8	1.1	0.7	1.0	1.7	3.9	3.4	6.0	3.4
<b>2009</b>	6.6	9.5	5.9	5.2	3.3	1.6	2.7	1.5	4.2	4.0	6.1	6.4	4.8
<b>2010</b>	7.3	9.0	6.6	5.0	3.6	1.9	-0.3	1.9	2.7	2.5	2.6	6.5	4.1
<b>2011</b>	7.4	8.3	5.8	4.1	3.6	2.5	1.9	1.8	3.0	1.2	3.0	5.9	4.0
<b>2012</b>	6.2	7.4	6.2	5.0	2.4	0.7	1.7	2.3	3.6	4.4	4.8	8.3	4.4
<b>2013</b>	8.9	8.4	7.2	3.7	3.6	3.4	4.1	4.1	4.5	6.0	5.2	7.3	5.5
<b>2014</b>	8.0	5.3	5.8	5.2	2.5	1.9	3.2	3.9	6.0	5.6	4.9	5.7	4.8
<b>2015</b>	7.0	7.7	7.8	5.2	3.5	3.2	2.1	3.6	3.9	4.6	6.1	6.7	5.1
<b>2016</b>	7.1	9.4	6.2	6.2	3.8	2.8	3.3	3.0	3.5	4.1	4.6	5.9	5.0
<b>2017</b>	9.7	7.9	8.5	5.0	4.4	2.2	2.5	2.0	4.9	4.5	5.3	6.4	5.3
<b>2018</b>	7.6	8.5	7.0	5.0	2.7	3.8	3.5	3.5	3.0	4.9	4.9	7.2	5.1
<b>2019</b>	8.7	9.1	6.8	5.1	3.5	3.4	2.6	2.9	5.2	4.2	6.3	6.3	5.3
<b>2020</b>	9.1	9.6	8.1	5.4	4.2	2.8	2.6	3.3	4.7	5.1	6.8	6.6	5.7
<b>2021</b>	8.1	7.7	7.3	4.5	4.6	2.7	3.6	2.4	4.7	4.3	4.9	7.4	5.2
<b>2022</b>	7.0	6.3	6.2	2.2	1.3	0.1	2.5	2.6	2.5	2.4	4.3	6.4	3.6

*Nota.* Obtenido a partir de datos del SENAMHI

**Tabla 45***Temperatura mínima media mensual (°C) – Estación Cairani, rellenado*

TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL (°C) - RELLENADO													
ESTACIÓN CAIRANI													
LATITUD		17° 16' 52.35"					DEPARTAMENTO			TACNA			
LONGITUD		70° 21' 45.67"					PROVINCIA			CANDARAVE			
ALTITUD		3386.0 msnm					DISTRITO			CAIRANI			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
1980	6.1	5.6	5.5	3.6	2.7	1.6	1.4	1.5	2.7	4.5	4.7	5.4	3.8
1981	6.1	6.3	4.9	3.1	2.2	1.0	0.6	1.2	1.8	4.4	5.3	6.4	3.6
1982	5.9	5.8	5.1	3.2	1.5	1.1	0.5	1.3	2.6	4.1	5.3	5.7	3.5
1983	7.0	6.6	6.2	4.8	3.5	2.0	1.9	1.9	3.2	4.1	4.4	5.2	4.2
1984	5.5	5.8	5.3	3.0	2.6	1.0	0.3	0.5	1.8	4.5	4.9	5.6	3.4
1985	5.2	6.0	5.0	3.5	2.0	0.4	-0.1	1.6	2.4	4.2	4.9	5.7	3.4
1986	6.2	5.7	5.1	4.0	1.5	1.3	-0.4	1.2	2.6	3.2	5.1	6.4	3.5
1987	6.6	5.9	5.0	3.8	3.1	1.1	1.1	1.8	3.1	4.3	5.7	6.0	3.9
1988	7.0	5.8	5.3	4.4	2.6	1.0	1.4	2.2	2.6	4.2	4.9	5.7	3.9
1989	5.9	5.8	4.7	3.8	2.6	1.6	0.9	1.3	2.9	4.6	4.9	6.0	3.7
1990	6.7	5.6	5.5	3.7	3.1	1.0	0.5	1.6	2.3	4.5	5.7	6.1	3.9
1991	6.0	6.4	5.4	4.1	2.5	1.5	1.3	2.5	2.8	4.3	5.1	5.8	4.0
1992	6.3	5.9	5.1	4.3	3.2	2.0	0.8	1.5	2.7	4.2	4.8	5.9	3.9
1993	6.4	5.2	5.1	4.1	2.6	1.2	0.9	1.0	2.6	4.3	5.2	6.4	3.8
1994	6.2	5.8	5.0	4.1	2.6	2.0	1.5	2.3	3.1	4.0	5.0	6.4	4.0
1995	6.7	6.1	5.6	3.9	3.2	1.6	1.4	2.9	3.6	4.2	6.1	6.2	4.3
1996	5.8	6.3	4.9	4.2	2.8	1.6	0.8	1.8	2.5	4.2	5.0	6.4	3.8
1997	6.3	6.6	5.3	3.7	3.3	1.9	1.6	1.1	3.5	4.6	6.0	7.3	4.3
1998	7.9	7.4	6.6	4.8	3.3	2.4	2.5	2.7	3.3	4.6	5.6	6.1	4.8
1999	6.3	6.4	5.3	4.0	2.3	1.5	1.8	1.7	2.7	4.5	4.7	6.3	4.0
2000	8.2	7.6	7.0	5.8	4.7	3.4	2.1	3.9	5.1	7.0	7.2	8.9	5.9
2001	8.3	8.5	7.2	6.1	4.7	4.4	2.7	4.0	5.3	6.5	7.5	8.4	6.1
2002	8.8	8.4	7.7	6.4	4.4	4.4	1.7	3.1	5.3	6.8	8.1	8.6	6.1
2003	9.0	8.6	8.2	6.1	4.2	3.2	3.1	3.3	4.5	6.6	7.9	8.8	6.1
2004	8.8	8.0	8.0	6.0	4.7	3.8	2.7	3.9	4.8	6.5	7.8	8.6	6.1
2005	8.6	8.4	7.7	6.6	5.0	3.1	3.7	3.6	4.6	6.5	7.8	8.3	6.1
2006	8.6	8.1	7.8	6.0	4.5	3.8	3.0	4.1	5.0	6.5	8.0	8.7	6.2

<b>2007</b>	9.1	8.5	7.8	6.3	5.3	4.3	3.3	4.4	5.7	6.7	7.7	8.0	6.4
<b>2008</b>	8.4	7.7	6.9	5.1	4.2	3.4	3.3	3.5	4.8	6.7	7.8	8.1	5.8
<b>2009</b>	8.2	8.3	7.0	5.9	5.0	3.4	3.3	3.3	6.1	7.1	8.5	8.8	6.2
<b>2010</b>	9.6	9.6	8.4	7.0	5.5	4.8	3.6	4.5	5.4	6.5	7.3	8.3	6.7
<b>2011</b>	8.4	8.0	6.7	5.8	5.1	4.3	3.4	4.4	5.3	6.1	7.8	8.5	6.1
<b>2012</b>	8.1	7.8	7.5	6.0	4.3	3.4	3.5	4.0	5.9	6.8	8.1	13.4	6.6
<b>2013</b>	11.3	8.6	9.0	8.6	8.9	7.4	7.6	6.7	6.6	8.4	7.7	9.4	8.4
<b>2014</b>	9.5	10.2	10.3	10.2	9.5	8.7	8.4	9.3	9.2	10.0	9.9	10.3	9.6
<b>2015</b>	10.5	11.0	10.6	9.8	9.0	8.3	8.2	8.9	9.2	8.7	9.1	8.9	9.4
<b>2016</b>	9.0	9.7	9.1	10.0	8.6	8.3	8.1	8.5	9.3	10.1	9.9	9.4	9.2
<b>2017</b>	8.9	8.2	8.2	8.4	8.8	7.4	8.3	8.2	8.7	8.3	7.5	8.1	8.3
<b>2018</b>	8.6	9.1	8.5	8.8	8.0	7.4	7.4	7.1	7.1	7.6	7.5	8.3	7.9
<b>2019</b>	8.5	8.0	8.5	8.8	8.2	8.2	6.8	7.9	6.7	7.1	7.9	7.6	7.9
<b>2020</b>	5.7	6.6	5.8	4.0	3.4	2.3	1.2	2.3	3.7	4.4	3.4	4.2	3.9
<b>2021</b>	4.7	4.8	4.7	3.7	3.3	1.5	2.2	1.6	2.8	3.1	3.6	5.0	3.4
<b>2022</b>	5.2	3.9	4.8	4.1	2.3	1.8	3.7	2.5	2.9	2.7	4.1	4.4	3.5

*Nota.* Obtenido a partir de datos del SENAMHI

**Tabla 46***Temperatura mínima media mensual (°C) – Estación Candarave, relleno*

<b>TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL (°C) - RELLENADO</b>													
<b>ESTACIÓN CANDARAVE</b>													
<b>LATITUD</b>	17° 16' 3.9"						<b>DEPARTAMENTO</b>	TACNA					
<b>LONGITUD</b>	70° 15' 19.3"						<b>PROVINCIA</b>	CANDARAVE					
<b>ALTITUD</b>	3415.0 msnm						<b>DISTRITO</b>	CANDARAVE					
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Prom</b>
<b>1980</b>	8.5	9.5	10.3	7.5	6.7	7.2	5.3	5.4	6.7	8.4	6.7	8.2	7.5
<b>1981</b>	7.2	7.4	9.2	9.2	6.8	6.7	6.2	6.7	7.6	7.4	8.2	8.4	7.6
<b>1982</b>	7.9	7.8	7.1	5.2	3.5	3.1	5.7	7.3	6.7	9.3	7.3	7.7	6.6
<b>1983</b>	10.0	10.9	11.6	10.2	9.5	6.7	6.4	6.5	5.2	9.0	6.4	10.5	8.6
<b>1984</b>	6.6	7.8	7.5	7.6	10.0	5.7	5.2	4.1	8.7	10.1	6.7	8.4	7.4
<b>1985</b>	6.5	6.6	7.0	7.4	6.9	6.1	6.2	7.2	7.9	7.2	7.4	9.3	7.1
<b>1986</b>	8.7	7.7	7.1	6.0	3.5	3.3	1.6	6.4	4.6	5.2	7.1	8.2	5.8
<b>1987</b>	9.3	9.9	9.5	5.8	5.1	7.2	4.9	5.8	5.1	6.9	7.6	8.0	7.1
<b>1988</b>	9.6	7.8	5.6	8.5	6.0	5.8	6.4	6.9	4.6	6.2	6.9	6.5	6.7
<b>1989</b>	7.9	9.3	6.6	9.0	4.6	6.1	3.8	5.3	4.9	6.6	6.9	8.0	6.6
<b>1990</b>	8.7	7.6	9.1	9.2	9.5	3.0	2.5	3.6	4.3	6.5	7.7	8.1	6.6
<b>1991</b>	8.0	10.2	8.8	6.7	9.4	3.5	4.9	4.5	7.8	6.3	7.1	7.8	7.1
<b>1992</b>	8.3	7.4	7.1	7.2	8.0	6.3	7.5	6.0	4.7	8.8	6.8	8.5	7.2
<b>1993</b>	7.0	6.1	8.3	6.1	6.2	3.2	7.1	3.0	4.6	6.3	7.2	8.4	6.1
<b>1994</b>	8.2	8.9	7.0	6.1	4.6	6.2	3.5	4.3	5.1	6.0	7.0	8.4	6.3
<b>1995</b>	7.7	7.4	8.0	5.8	5.2	3.6	8.7	7.7	9.2	6.2	8.1	8.4	7.2
<b>1996</b>	6.5	7.9	6.9	8.5	8.3	5.8	5.3	7.4	10.0	6.2	7.0	11.0	7.6
<b>1997</b>	7.6	7.1	11.0	10.2	5.3	4.7	6.2	4.3	5.5	6.6	8.0	9.3	7.1
<b>1998</b>	10.3	9.4	10.3	6.8	5.1	6.9	4.5	4.7	5.3	6.6	7.6	6.8	7.0
<b>1999</b>	7.8	8.4	7.9	9.7	6.1	5.2	5.9	3.7	4.7	6.5	6.7	7.2	6.6
<b>2000</b>	6.7	6.8	6.9	5.7	6.4	4.1	4.8	6.3	5.9	7.6	7.8	9.3	6.5
<b>2001</b>	7.4	7.9	6.9	7.2	3.7	5.6	5.9	5.0	6.1	7.1	8.0	9.0	6.6
<b>2002</b>	9.4	7.9	8.6	7.5	5.6	6.2	3.3	7.8	6.1	7.4	8.6	10.1	7.4
<b>2003</b>	9.1	8.6	8.7	7.6	7.6	4.5	4.9	4.4	5.3	7.2	7.2	8.4	7.0
<b>2004</b>	8.2	7.7	8.5	7.1	6.3	4.4	3.7	7.7	5.6	6.0	7.6	5.5	6.5
<b>2005</b>	8.2	8.9	7.3	8.7	7.0	6.0	6.4	7.0	5.6	7.0	8.3	7.7	7.3
<b>2006</b>	8.1	8.7	8.9	8.5	6.6	7.3	7.5	7.0	8.1	7.1	8.5	9.2	8.0

<b>2007</b>	9.7	9.2	8.5	7.8	7.5	7.4	4.9	6.6	8.5	8.7	10.2	7.1	8.0
<b>2008</b>	9.2	8.8	8.3	6.5	6.4	4.9	3.9	5.9	6.2	6.9	8.6	11.3	7.2
<b>2009</b>	8.8	7.9	8.2	7.6	6.9	3.9	5.3	6.7	8.1	9.2	8.9	9.3	7.6
<b>2010</b>	12.0	10.3	9.2	8.0	6.8	5.6	5.5	6.4	7.8	7.8	7.1	7.1	7.8
<b>2011</b>	9.0	6.0	7.7	8.0	7.1	5.5	8.1	5.3	6.1	6.8	8.3	9.0	7.2
<b>2012</b>	8.7	9.4	8.4	7.1	9.1	8.4	4.6	5.0	6.7	7.4	8.5	9.0	7.7
<b>2013</b>	9.7	9.0	8.2	7.2	6.6	5.3	5.6	4.9	6.2	8.9	7.7	9.5	7.4
<b>2014</b>	9.3	8.8	11.3	7.8	6.4	8.7	4.8	5.2	6.6	7.8	8.3	9.5	7.9
<b>2015</b>	10.0	9.2	8.4	9.9	8.6	9.1	9.4	9.1	9.2	7.7	8.3	9.7	9.0
<b>2016</b>	9.6	9.1	9.2	8.7	8.1	7.5	7.1	6.8	7.8	8.0	7.7	8.0	8.1
<b>2017</b>	8.1	8.9	8.5	7.9	7.0	2.9	5.8	5.8	8.2	8.1	8.3	8.5	7.3
<b>2018</b>	8.4	8.7	4.8	4.4	3.2	2.9	3.4	3.2	7.6	8.4	8.6	10.2	6.2
<b>2019</b>	6.6	9.5	6.3	5.4	6.9	4.8	4.0	4.0	5.2	5.6	7.1	6.6	6.0
<b>2020</b>	5.7	6.1	5.0	4.3	4.6	3.1	2.0	1.1	2.9	3.2	2.6	3.3	3.6
<b>2021</b>	3.6	3.6	3.6	2.0	1.3	0.7	2.2	0.9	2.2	3.4	3.4	3.8	2.6
<b>2022</b>	4.4	3.4	3.7	2.0	1.4	0.0	1.0	1.6	2.3	2.4	3.9	4.5	2.5

*Nota.* Obtenido a partir de datos del SENAMHI

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES E INDICADORES</b>		
			<b>Variable independiente: Índices de sequía</b>		
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Nivel y rango</b>
¿Cómo se caracterizan las sequías históricas y sus proyecciones futuras utilizando índices de sequía en Candarave, Tacna?	Caracterizar las sequías históricas y sus proyecciones futuras utilizando índices de sequía en Candarave, Tacna.	Los índices de sequía permitirán caracterizar las sequías históricas y sus proyecciones futuras en Candarave, Tacna.	Índices de sequías atmosféricas, índices de anomalías de precipitación, índices de aridez, índices recursivos, índices obtenidos por teledetección.	Sequías excepcionales, sequías extremas, sequías severas, sequías moderadas, anormalmente seco, condiciones normales o húmedas.	Nivel: A nivel de estaciones meteorológicas en Candarave.
			<b>Variable dependiente:</b> Caracterización de las sequías históricas y las proyecciones futuras		
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Nivel y rango</b>
¿Cuál es la calidad de la data meteorológica disponible para el uso de los índices de sequía en la provincia de Candarave, Tacna?	Determinar la calidad de la data meteorológica disponible para el uso de los índices de sequía en la provincia de Candarave, Tacna.	Se determinará la calidad de la data meteorológica disponible en la Provincia de Candarave para aplicar los índices de sequía.	Magnitud, duración y frecuencia.	Déficit de disponibilidad de hídrica; temporalidad; la cantidad de veces que ocurren en un periodo.	Rango: Desde 1980 hasta 2022 para el análisis histórico y proyecciones futuras hasta 2050.
			<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>		<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b>
¿Cómo se caracterizan las sequías históricas en la provincia de Candarave, Tacna, mediante los índices SPI, SPEI y VCI?	Caracterizar las sequías históricas en la provincia de Candarave, Tacna utilizando los índices SPI, SPEI y VCI.	Los índices SPI, SPEI y VCI permitirán caracterizar las sequías históricas en la provincia de Candarave, Tacna.	<b>Enfoque:</b> Cuantitativo <b>Tipo:</b> Aplicada <b>Diseño:</b> No experimental <b>Corte:</b> Longitudinal		<b>Población:</b> Provincias de la Zona Altoandina de Tacna  <b>Muestra:</b> Provincia de Candarave
			<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</b>		<b>MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS</b>
¿Cómo se caracterizan las sequías futuras en la provincia de Candarave, Tacna, utilizando los índices de sequía, a partir de las proyecciones generadas con el modelo climático CMIP6 y el escenario climático SSP3-7?	Caracterizar las sequías futuras en la provincia de Candarave empleando índices de sequía basados en proyecciones generadas con el modelo climático CMIP6 y el escenario climático SSP3-7.	Las proyecciones generadas con el modelo CMIP6 y el escenario SSP3-7 permiten identificar las características de las sequías futuras en la Provincia de Candarave, Tacna.	<b>Variable Independiente:</b> Técnica: Recopilación de información. Instrumento: modelo climático global.  <b>Variable Dependiente:</b> Técnica: Recopilación de información. Instrumento: data PISCO		Inspección ocular.  Recopilación de información.  Metodología SPI , DATA PISCO  Test Mann Kendall, Pettit, Buishand, homogeneidad estándar normal, T de student  Factores climáticos GCM - RCP



PERÚ Ministerio del Ambiente



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DIRECCION ZONAL 7

ESTACION : CO-CAIRANI

LAT.: 17° 16' 52.33"

DPTO. TACNA

PARAMETRO : PRECIPITACION TOTAL (mm.)

LONG. 70° 21' 45.67"

PROV.: CANDARAVE

CODIGO : 117030

ALT. : 3386 msnm.

DIST. : CAIRANI

DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2016	1.3	43.1	S/D	S/D	0.0	0.6	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
2017	88.5	48.4	40.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2
2018	33.1	19.0	8.4	0.2	0.0	2.3	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
2019	52.1	79.7	1.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	6.8
2020	105.9	104.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.1	4.3	0.0	63.8
2021	26.3	11.3	3.3	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.2	4.5
2022	26.2	14.5	22.0	0.0	0.0	0.0	S/D	0.0	0.0			

Informacion preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Testista UNJGB

Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI/DZ-7

S/D = Sin Datos



SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA  
E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DIRECCION ZONAL 7

ESTACION : CO-CAIRANI

LAT.: 17° 16' 52.33"

DPTO. TACNA

PARAMETRO : PRECIPITACION TOTAL (mm.)

LONG. 70° 21' 45.67"

PROV.: CANDARAVE

CODIGO : 117030

ALT. : 3386 msnm.

DIST. : CAIRANI

DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1980	5.9	2.1	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.9
1981	35.3	50.5	13.5	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	8.2
1982	57.0	16.3	20.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0
1983	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
1984	76.6	51.8	33.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	6.1	0.0
1985	4.3	82.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	S/D	S/D	S/D	9.7	20.2
1986	38.2	56.1	55.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	20.2
1987	55.6	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	0.0	S/D
1988	25.3	0.0	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.7
1989	34.5	100.9	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1990	9.0	6.3	18.6	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.0
1991	41.9	1.9	23.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1992	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.9
1993	74.3	13.8	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	5.3
1994	47.9	55.9	0.0	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6
1995	32.4	0.0	76.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
1996	29.4	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	5.8
1997	58.6	54.8	43.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	25.5	0.0	0.0	4.3
1998	57.6	10.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	5.2
1999	7.6	105.0	39.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	16.6
2000	98.0	42.4	40.2	2.9	0.0	1.6	0.0	S/D	0.0	0.0	0.0	5.3
2001	49.5	154.9	66.9	4.3	0.0	0.0	0.0	2.1	2.1	0.0	0.0	5.3
2002	5.9	54.9	7.6	1.9	1.9	5.3	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2003	14.5	5.3	18.5	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
2004	30.2	44.3	7.7	0.0	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2005	32.5	22.6	3.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	S/D
2006	30.3	38.5	23.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
2007	29.3	S/D	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
2008	84.8	22.3	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	2.6
2009	2.1	41.3	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
2010	3.6	13.2	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	7.0
2011	65.5	86.2	0.0	1.9	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3
2012	101.8	102.0	21.4	25.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.4
2013	36.9	65.5	25.7	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4
2014	30.9	0.2	2.6	6.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0	0.5	0.0
2015	32.2	78.4	108.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Información preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Tesista UNJGB

Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI/DZ-7

S/D = Sin Datos



PERÚ Ministerio del Ambiente



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DIRECCION ZONAL 7

ESTACION : CO-CAIRANI

LAT.: 17° 16' 52.33"

DPTO. TACNA

PARAMETRO : TEMPERATURA MINIMA (°C)

LONG. 70° 21' 45.67"

PROV.: CANDARAVE

CODIGO : 117030

ALT. : 3386 msnm.

DIST. : CAIRANI

DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2012	5.2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	4.2	4.3	5.0	4.6	4.2	1.7	2.4	3.3	4.7	4.2	4.5	4.9
2018	5.2	5.4	4.6	4.4	2.1	2.3	2.5	2.1	2.6	3.9	3.8	4.8
2019	5.7	5.9	4.6	4.6	4.1	3.6	2.1	2.3	2.5	2.9	4.1	4.2
2020	5.7	6.6	5.8	S/D	S/D	S/D	S/D	2.3	3.7	4.4	3.4	4.0
2021	4.7	4.8	4.7	3.7	3.3	1.5	2.2	1.6	2.8	3.1	3.6	5.0
2022	5.2	4.0	4.8	4.1	2.3	1.9	3.7	2.5	2.9			

Información preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Tesista UNJGB

Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI/DZ-7

S/D = Sin Datos



SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA  
E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



**PERÚ** Ministerio del Ambiente



*"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"*  
*"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"*

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DIRECCION ZONAL 7

**ESTACION : CO-CAIRANI**

**LAT.:** 17° 16' 52.33"

**DPTO. TACNA**

**PARAMETRO : TEMPERATURA MAXIMA (°C)**

**LONG.** 70° 21' 45.67"

**PROV. : CANDARAVE**

**CODIGO : 117030**

**ALT. :** 3386 msnm.

**DIST. : CAIRANI**

DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2017	S/D	S/D	13.9	15.3	15.5	15.0	15.9	14.9	15.5	16.0	15.5	15.1
2018	14.4	14.6	14.9	15.7	15.7	14.5	15.2	15.4	16.1	15.7	16.1	16.5
2019	15.6	14.9	16.0	16.1	16.4	16.7	16.0	16.8	16.0	16.2	16.5	16.0
2020	15.3	15.0	15.8	S/D	S/D	S/D	S/D	14.1	15.9	16.5	16.2	14.4
2021	13.6	15.0	14.2	15.7	14.9	14.3	15.3	14.7	15.7	16.2	14.6	15.1
2022	14.8	14.5	13.8	16.6	15.9	13.9	15.7	15.3	15.6			

Información preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Testista UNJGB

Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI /DZ-7

S/D = Sin Datos



**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA  
E HIDROLOGÍA DEL PERÚ**



PERÚ Ministerio del Ambiente



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DIRECCION ZONAL 7

ESTACION : CO-CANDARAVE

LAT.: 17° 16.3' 86"

DPTO. TACNA

PARAMETRO : PRECIPITACION TOTAL (mm)

LONG. 70° 15' 19.53"

PROV.: CANDARAVE

CODIGO : 117012

ALT. : 3415 msnm.

DIST. : CANDARAVE

DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2015	39.3	S/D	81.2	12.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016	2.3	89.2	0.0	9.9	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3
2017	113.9	68.1	71.8	0.0	S/D	S/D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.3
2018	61.8	38.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	0.0	11.1
2019	115.9	143.8	4.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	1.3	0.0	11.7
2020	156.1	104.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	1.6	0.0	103.5
2021	40.1	S/D	S/D	S/D	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	3.8
2022	34.0	18.0	31.6	0.0	S/D	0.0	0.0	0.0	0.0			

Información preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Tesista UNJGB

Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI/ DZ-7

S/D = Sin Datos



SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA  
E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DIRECCION ZONAL 7

ESTACION : CO-CANDARAVE

LAT.: 17° 16.3' 86"

DPTO. TACNA

PARAMETRO : PRECIPITACION TOTAL (mm)

LONG. 70° 15' 19.53"

PROV.: CANDARAVE

CODIGO : 117012

ALT. : 3415 msnm.

DIST. : CANDARAVE

DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1980	8.7	18.1	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	0.0	2.5
1981	60.8	132.8	23.6	11.2	S/D	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	1.5	S/D
1982	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	S/D	0.0	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	0.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	S/D	S/D	S/D	0.0	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	S/D	S/D	S/D
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	S/D	S/D	0.0	17.7	25.6
1986	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	37.1
1987	102.8	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	0.0	0.0	S/D	0.0	0.0
1988	S/D	0.0	S/D	1.1	0.0	0.0	S/D	0.0	S/D	S/D	S/D	3.7
1989	S/D	82.0	S/D	2.8	0.0	0.0	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	S/D
1990	S/D	S/D	15.2	0.0	S/D	20.3	S/D	S/D	S/D	S/D	26.8	S/D
1991	S/D	1.5	51.7	1.1	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1992	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	72.3
1993	108.8	9.2	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	S/D	0.0	S/D
1994	75.0	134.7	2.1	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	17.5
1995	43.5	0.0	73.9	2.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	12.3
1996	44.0	25.5	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.7	3.4
1997	60.7	70.3	39.6	0.0	0.2	0.0	S/D	9.5	23.6	0.0	0.0	12.0
1998	92.5	32.7	1.6	2.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	8.4
1999	22.1	146.4	120.6	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0	17.2
2000	119.5	75.2	104.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4
2001	53.7	228.2	63.4	9.7	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	8.8
2002	16.6	91.7	34.5	3.5	0.0	0.0	29.3	0.0	0.0	6.4	6.2	15.0
2003	28.5	13.3	57.5	0.4	2.1	0.0	S/D	S/D	0.0	0.0	0.0	3.2
2004	63.8	51.5	1.3	0.0	0.0	0.0	12.4	0.5	S/D	0.0	S/D	1.0
2005	S/D	S/D	14.5	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0	1.1	S/D
2006	58.7	72.2	40.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	5.9
2007	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	S/D	S/D	0.0	S/D	9.9
2008	61.6	34.8	18.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	6.0
2009	8.9	164.1	39.2	3.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	4.1	1.5
2010	4.8	34.6	1.7	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	9.6
2011	92.1	146.6	4.9	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	94.5
2012	121.9	196.7	80.4	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	44.1
2013	93.1	60.4	63.6	0.0	10.3	3.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	19.0
2014	83.5	2.1	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1.2

Información preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Tesista UNJGB

Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI/DZ-7

S/D = Sin Datos



PERÚ Ministerio del Ambiente



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DIRECCION ZONAL 7

ESTACION : CO-CANDARAVE

LAT.: 17° 16.3' 86"

DPTO. TACNA

PARAMETRO : TEMPERATURA MINIMA (°C)

LONG. 70° 15' 19.53"

PROV.: CANDARAVE

CODIGO : 117012

ALT. : 3415 msnm.

DIST. : CANDARAVE

DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1997	5.2	5.8	4.5	3.1	0.7	-1.9	S/D	2.8	4.2	3.0	3.8	5.0
1998	6.6	5.8	4.3	S/D	1.7	1.8	1.9	1.4	-0.8	S/D	3.6	4.0
1999	3.3	6.3	5.4	4.3	1.7	0.8	1.7	2.4	2.5	3.4	1.9	3.0
2000	4.7	4.5	4.2	2.9	2.3	0.8	0.3	1.2	2.1	3.4	2.4	4.8
2001	5.2	5.7	5.0	4.9	3.1	1.9	1.2	2.7	4.0	4.2	3.8	4.6
2002	4.2	5.0	5.4	3.8	3.2	2.4	1.0	2.6	2.9	2.8	3.2	3.8
2003	4.1	4.2	3.4	2.4	1.5	0.6	1.9	2.7	4.0	3.0	3.7	3.8
2004	4.2	5.1	6.0	3.7	2.4	2.5	1.2	2.5	3.2	2.7	3.6	3.6
2005	4.7	6.1	4.4	5.0	2.8	1.5	2.1	2.9	2.7	3.2	4.4	5.2
2006	5.7	6.1	5.9	4.3	2.5	3.0	1.9	2.2	2.6	2.7	3.4	3.7
2007	S/D	S/D	5.1	4.9	3.5	2.4	0.4	2.4	4.5	2.9	2.9	3.5
2008	5.7	5.3	5.6	2.5	1.9	1.8	1.4	2.9	2.5	4.6	4.9	5.4
2009	6.0	5.6	4.6	4.6	3.4	-0.1	1.3	1.6	3.6	6.1	6.2	6.2
2010	6.9	7.3	7.3	6.0	3.5	0.1	-2.4	1.5	4.3	S/D	S/D	S/D
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	3.8	5.2
2016	5.5	6.9	5.6	5.1	1.4	1.4	1.3	1.8	2.2	3.6	2.2	3.8
2017	6.1	4.5	5.2	4.3	3.4	S/D	1.4	0.9	2.1	3.2	4.1	4.3
2018	5.3	5.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	3.8	3.6	3.9	4.7
2019	5.6	5.4	4.3	3.5	2.6	3.1	2.5	2.3	3.2	3.3	4.7	4.4
2020	5.7	6.1	4.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	3.1	3.3	2.4	3.7
2021	3.6	3.6	3.7	2.2	1.5	0.8	2.2	1.1	2.4	3.6	3.5	3.8
2022	4.4	3.4	3.7	2.1	1.3	0.4	1.2	1.8	1.4			

Información preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Tesista UNJGB

Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI/DZ-7

S/D = Sin Datos



PERÚ Ministerio del Ambiente



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DIRECCION ZONAL 7

ESTACION : CO-CANDARAVE

LAT.: 17° 16.3' 86"

DPTO. TACNA

PARAMETRO : TEMPERATURA MAXIMA (°C)

LONG. 70° 15' 19.53"

PROV.: CANDARAVE

CODIGO : 117012

ALT. : 3415 msnm.

DIST. : CANDARAVE

DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1980	16.5	16.7	16.3	16.3	16.1	15.1	14.5	15.4	16.5	17.3	17.8	16.8
1981	15.1	13.6	15.8	15.7	14.3	14.0	14.3	15.4	15.9	16.8	16.7	16.3
1982	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	14.9	16.1	16.4	16.8	S/D	18.5
1983	19.8	19.2	19.2	18.4	18.1	15.5	15.1	15.7	S/D	17.8	17.5	17.8
1984	14.8	14.3	15.2	16.4	15.9	14.1	15.0	14.2	15.7	16.9	16.0	17.3
1985	15.6	14.4	15.5	15.4	16.0	14.8	15.1	15.8	15.7	17.2	16.2	16.8
1986	15.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1987	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	14.8	14.9	16.6	17.0	17.5	18.5	18.3
1988	17.6	18.1	17.1	17.1	16.7	15.0	15.1	17.4	16.3	17.4	18.1	16.4
1989	16.6	15.5	15.2	15.7	16.1	14.8	15.4	16.2	16.1	17.5	17.3	16.6
1990	17.2	17.2	17.3	17.1	16.4	15.0	14.2	16.0	16.6	17.2	17.9	S/D
1993	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	16.7	17.5	18.1	17.4
1994	16.0	14.4	16.9	17.1	17.7	15.4	15.8	17.2	17.8	17.8	17.8	17.8
1995	17.6	17.8	15.6	16.9	16.8	15.4	14.8	16.9	17.6	17.6	17.6	16.9
1996	15.3	16.4	16.5	16.9	16.2	15.3	14.6	15.8	17.8	18.0	16.7	17.0
1997	14.1	15.0	15.7	16.2	15.9	14.0	15.8	15.7	15.1	16.8	16.6	17.9
1998	17.3	18.3	18.4	17.5	16.4	15.4	15.5	16.1	14.8	16.6	16.1	16.2
1999	16.3	13.7	14.3	16.0	15.8	14.7	14.6	15.6	15.6	15.9	15.5	15.8
2000	13.8	12.7	14.1	16.2	15.6	13.8	13.7	15.3	15.4	16.3	15.9	16.6
2001	14.1	13.1	13.8	15.1	14.4	13.8	14.0	15.3	15.9	17.1	16.3	16.6
2002	16.4	14.6	15.8	16.0	16.4	16.0	13.8	15.5	16.2	17.1	17.0	18.0
2003	16.7	17.4	16.5	16.1	16.5	17.1	16.2	16.0	16.8	17.4	17.4	16.7
2004	15.9	15.4	17.8	17.3	16.6	15.8	15.4	16.4	17.6	17.0	16.9	16.9
2005	15.1	16.0	16.1	16.9	16.5	15.8	15.5	16.6	15.0	16.3	17.2	16.4
2006	14.5	15.7	15.0	16.3	15.9	15.5	16.5	16.4	16.2	16.3	17.2	17.3
2007	S/D	S/D	17.0	16.8	15.7	15.5	13.5	14.9	16.3	16.3	16.7	16.9
2008	16.8	16.5	16.4	16.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	17.1	16.9	17.7	17.6
2019	17.3	15.5	17.1	17.0	17.1	16.5	16.3	17.2	17.8	17.6	17.1	17.2
2020	16.5	16.0	16.4	S/D	S/D	S/D	S/D	17.3	17.2	17.2	17.9	16.3
2021	15.3	17.1	16.1	17.2	17.0	15.8	16.7	16.2	18.8	17.6	16.7	17.7
2022	18.1	17.3	16.2	17.5	17.4	15.9	16.4	17.1	16.9			

Información preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Tesista UNJGB

Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI/ DZ-7

S/D = Sin Datos



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
 "Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DIRECCION ZONAL 7

**ESTACION : CO-ARICOTA**

**LAT.: 17° 19' 44.89"**

**DPTO. TACNA**

**PARAMETRO : PRECIPITACION TOTAL (mm)**

**LONG. 70° 14' 14.59"**

**PROV.: CANDARAVE**

**CODIGO : 117054**

**ALT. : 2850 msnm.**

**DIST. : QUILAHUANI**

DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2006	S/D	S/D	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
2007	41.1	21.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	6.4
2008	92.5	9.7	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	3.2
2009	1.7	51.1	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0
2010	2.0	17.0	0.7	0.4	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1
2011	43.5	71.8	2.4	5.3	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	36.7
2012	82.1	71.6	47.2	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	27.6
2013	35.9	51.4	33.4	0.0	6.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
2014	30.4	0.2	1.2	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0
2015	29.6	63.2	87.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016	2.3	56.8	S/D	0.8	0.0	2.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
2017	62.4	47.6	35.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.8
2018	33.8	10.6	9.6	0.0	0.0	2.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
2019	63.5	62.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7
2020	78.3	88.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	60.4
2021	16.1	11.4	5.2	0.0	S/D	0.0	0.0	0.0	S/D	0.0	2.9	1.0
2022	26.2	11.1	19.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			

Informacion preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Tesista UNJGB

Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI/ DZ-7

S/D = Sin Datos



PERÚ Ministerio del Ambiente



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

### DIRECCION ZONAL 7

ESTACION : CO-ARICOTA

LAT.: 17° 19' 44.89"

DPTO. TACNA

PARAMETRO : TEMPERATURA MINIMA (°C)

LONG. 70° 14' 14.59"

PROV.: CANDARAVE

CODIGO : 117054

ALT. : 2850 msnm.

DIST. : QUILAHUANI

DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2006	S/D	S/D	7.9	3.1	1.5	1.3	1.0	2.0	1.3	2.6	3.6	3.8
2007	5.5	5.2	5.8	3.8	1.5	2.7	1.0	1.9	4.0	2.6	3.5	4.3
2008	7.6	6.2	6.0	2.6	0.8	1.1	0.7	1.0	1.7	3.9	3.4	6.0
2009	6.6	9.5	5.9	5.2	3.3	1.6	2.7	1.5	4.2	4.0	6.1	6.4
2010	7.3	9.0	6.6	5.0	3.6	1.9	-0.3	1.9	2.7	2.5	2.6	6.5
2011	7.4	8.3	5.8	4.1	3.6	2.5	1.9	1.8	3.0	1.2	3.0	5.9
2012	6.2	7.4	6.2	5.0	2.4	0.7	1.7	2.3	3.6	4.4	4.8	8.3
2013	8.9	8.4	7.2	3.7	3.6	3.4	4.1	4.1	4.5	6.0	5.2	7.3
2014	8.0	5.3	5.8	5.2	2.5	1.9	3.2	3.9	6.0	5.6	4.9	5.7
2015	7.0	7.7	7.8	5.2	3.5	3.2	2.1	3.6	3.9	4.6	6.1	6.7
2016	7.1	9.4	6.2	6.2	3.8	2.8	3.3	3.0	3.5	4.1	4.6	5.9
2017	9.7	7.9	8.5	5.0	4.4	2.2	2.5	2.0	4.9	4.5	5.3	6.4
2018	7.6	8.5	7.0	5.0	2.7	3.8	3.5	3.5	3.0	4.9	4.9	7.2
2019	8.7	9.1	6.8	5.1	3.5	3.4	2.6	2.9	5.2	4.2	6.3	6.3
2020	9.1	9.6	8.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	6.6
2021	8.1	7.7	7.3	4.5	4.6	2.7	3.6	2.4	S/D	4.3	4.9	7.4
2022	7.0	6.3	6.2	2.2	1.3	0.1	2.5	2.6	2.6			

Informacion preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Tesista UNJGB

Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI/ DZ-7

S/D = Sin Datos



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DIRECCION ZONAL 7

ESTACION : CO-ARICOTA

LAT.: 17° 19' 44.89"

DPTO. TACNA

PARAMETRO : TEMPERATURA MAXIMA (°C)

LONG. 70° 14' 14.59"

PROV.: CANDARAVE

CODIGO : 117054

ALT. : 2850 msnm.

DIST. : QUILAHUANI

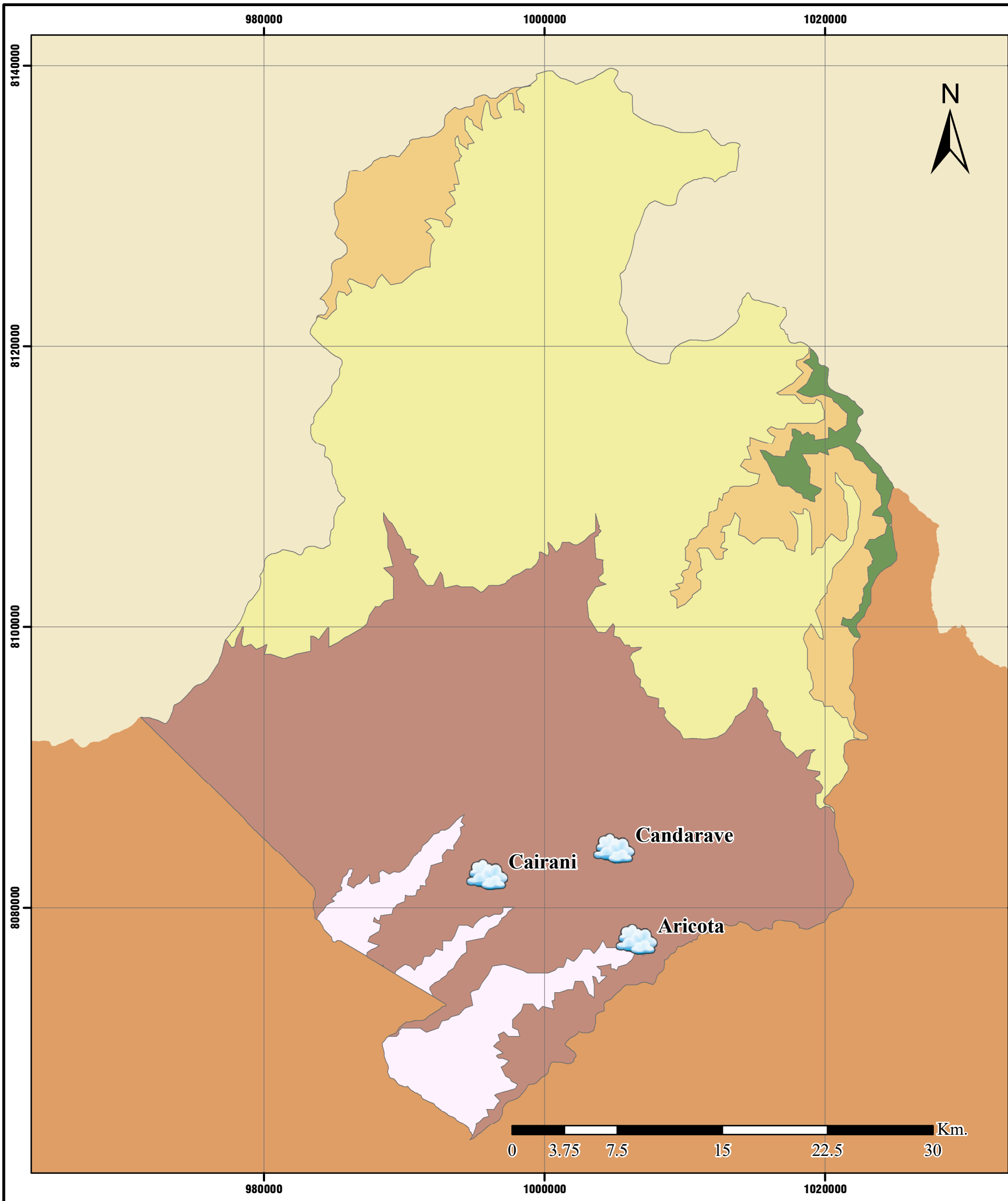
DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2006	S/D	S/D	18.5	18.8	19.0	18.6	19.2	19.2	19.1	19.2	18.9	18.9
2007	19.5	18.5	18.8	19.1	19.0	18.8	17.5	18.8	19.7	18.7	19.0	17.5
2008	16.9	17.2	17.4	18.0	18.3	18.3	18.7	18.5	19.2	18.7	19.1	17.5
2009	18.1	17.6	17.9	19.2	18.6	18.7	18.5	19.4	20.3	19.7	19.1	19.1
2010	19.7	20.7	20.4	20.9	19.9	19.9	18.8	21.0	20.5	19.7	19.0	18.5
2011	18.7	18.0	18.9	19.5	20.9	19.8	19.5	20.8	21.2	19.7	20.0	19.7
2012	18.6	17.5	20.0	19.6	20.7	19.3	20.3	20.0	20.4	19.3	19.1	18.0
2013	19.4	18.4	18.6	19.9	19.1	18.9	18.6	19.0	20.0	19.6	18.7	18.8
2014	18.2	18.6	18.2	19.8	18.6	19.8	19.8	19.0	19.6	20.0	19.2	19.3
2015	19.5	17.9	18.1	19.6	19.5	20.4	19.2	20.1	20.3	20.1	20.1	21.1
2016	20.0	19.9	20.0	20.3	19.8	19.5	19.1	19.6	20.0	19.7	19.4	18.7
2017	17.3	17.0	17.6	19.4	19.9	18.7	19.3	19.1	19.8	20.1	19.2	18.8
2018	18.0	18.3	18.8	18.6	19.2	18.3	18.5	19.5	19.8	19.1	19.1	19.6
2019	19.2	19.0	19.7	19.7	19.9	20.7	19.6	20.1	19.8	19.4	19.8	19.5
2020	19.4	18.8	19.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	18.0
2021	18.2	19.2	18.2	19.1	19.2	18.7	19.7	19.0	S/D	20.4	18.9	19.9
2022	18.8	18.5	17.6	19.7	19.8	18.0	19.1	18.9	19.4			

Información preparada para Raul Vicente Huarahuara Toma - Tesista UNJGB







Tacna, Noviembre 2022

BASE DE DATOS SENAMHI/ DZ-7

S/D = Sin Datos



## LEYENDA

-  estaciones
-  Lluvioso con invierno seco. Frígido
-  Semiseco con invierno seco. Semifrígido
-  Semiseco con invierno seco. Frígido
-  Semiárido con invierno y primavera secos. Frío
-  Árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año. Templado

## UBICACIÓN



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**Proyecto:** USO DE SPI, SPEI Y VCI PARA CARACTERIZAR SEQUÍAS HISTÓRICAS Y SUS PROYECCIONES FUTURAS EN CANDARAVE, TACNA

**Título:** MAPA CLIMÁTICO DE CANDARAVE

**Presentado por:**  
 Raúl Huarahuara Toma  
 Arlette Silva Borda

**Escala:** 1/300,000

**Fecha:** Diciembre 2024