



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE  
LAS SEQUÍAS EN LAS CUENCAS DE LA VERTIENTE  
HIDROGRAFICA DEL TITICACA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. MASSHELK MIREYDA HUARACHA MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS SEQUÍAS EN LAS CUENCAS DE LA VERTIENTE HIDROGRÁFICA DEL TITICACA**

AUTOR

**Mashelk Mireyda Huaracha Mamani**

RECuento DE PALABRAS

**42176 Words**

RECuento DE CARACTERES

**185016 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**229 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**23.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jan 29, 2024 8:04 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jan 29, 2024 8:08 AM GMT-5**

● **15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)
- Material citado



Resumen



## DEDICATORIA

*A Dios, por darme salud, sabiduría y ser mi luz en mi camino para alcanzar mis objetivos.*

*Por darme la fuerza necesaria para culminar mi carrera profesional.*

*A mi madre **Viviana Mamani Frizancho**, por haberme llenado de valores y fuerzas para luchar por todos y cada uno de mis sueños. Mamá, no hubiese llegado a donde estoy si no fuese por ti, te amo y no me alcanzará la vida para agradecerte todo lo que haz echo y sigues haciendo por mí.*

*A mi hermoso hijo **Roosevelt**, por ser mi razón y motivo. Hijo mío, eres mi mayor tesoro y me has enseñado a ser valiente ante toda adversidad.*

*A mi hermano **Jorge Jerson**, por su apoyo incondicional, respaldo en momentos de debilidad y admiración ante mis metas cumplidas.*

*A mis abuelos maternos **Julián y Vicentina**, por sus consejos y llevarme en sus oraciones que me cuidan y protegen ante toda adversidad.*

**Masshelk Mireyda Huaracha Mamani**



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su bendición, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser e apoyo y fortaleza en mis momentos más débiles y difíciles.

A mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano y docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por haber sido parte de mi formación académica y profesional.

Al Dr. Roberto Alfaro Alejo, por su constante asesoramiento y sugerencias, las cuales enriquecieron la calidad de esta investigación.

A los miembros del jurado calificador: presidente M.Sc. Miguel Ángel Flores Barriga, primer miembro Dr. Efraín Lujano Laura y segundo miembro M.Sc. Gina Paola Espinoza Alarcón, por haberme brindado su apoyo, orientación y consejos para la culminación de esta investigación.

A mis compañeros y amigos con los que compartí la etapa universitaria de formación académica.

**Masshelk Mireyda Huaracha Mamani**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2. OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
1.2.1. Objetivo general .....	18
1.2.2. Objetivos específicos .....	18
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISION DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>20</b>
2.1.1. Antecedente de nivel internacional .....	20
2.1.2. Antecedente de nivel nacional .....	20
2.1.3. Antecedente de nivel regional.....	22
<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.2.1. Sequia .....	22
2.2.2. Tipos de sequias .....	23



2.2.3. Caracterización de las sequias.....	25
2.2.4. Índices de sequias.....	26
2.2.5. Cuenca Hidrográfica .....	27
2.2.5.1. Partes de una cuenca hidrográfica .....	27
2.2.5.2. División de una cuenca hidrográfica.....	29
2.2.6. Vertientes hidrográficas del Perú.....	29
2.2.6.1. Vertiente del Pacífico .....	29
2.2.6.2. Vertiente del Atlántico .....	30
2.2.6.3. Vertiente del Titicaca .....	30
2.2.7. Clima y sistema climático .....	30
2.2.7.1. Variabilidad climática.....	31
2.2.7.2. Cambio climático .....	31
2.2.8. Modelos climáticos globales .....	32
2.2.9. Escenarios climáticos .....	34
2.2.9.1. Escenarios de concentración representativas (RCP).....	34
2.2.10. Producto grillado PISCO .....	35
2.2.11. Validación del producto grillado PISCO.....	35
2.2.12. Reducción de escala .....	35

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2. AMBITO DE ESTUDIO .....</b>	<b>37</b>
3.2.1. Ubicación .....	37
3.2.1.1. Ubicación geográfica .....	37
3.2.1.2. Ubicación política .....	39



3.2.1.3. Limites hidrográficos .....	39
<b>3.3. DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>41</b>
3.3.1. Información del producto PISCO.....	41
3.3.2. Extracción de PISCO con RStudio .....	41
3.3.3. Modelo Digital de Elevación .....	41
3.3.4. Precipitación de los GCM .....	42
<b>3.4. MATERIALES .....</b>	<b>42</b>
<b>3.5. METODOLOGIA .....</b>	<b>43</b>
3.5.1. Reducción de escala para modelos de cambio climático .....	44
3.5.2. Determinación de las sequias históricas y proyectadas.....	50
3.5.3. Caracterización de las sequias históricas y proyectadas .....	51

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. REDUCCIÓN DE ESCALA DE LA PRECIPITACION ESTIMADA.....</b>	<b>54</b>
4.1.1. Extracción de datos – precipitación mensual PISCO.....	54
4.1.2. Extracción de precipitación mensual proyectada GCM.....	55
4.1.3. Reducción de escala para los GCM .....	61
<b>4.2. ESTIMACION DE CAMBIOS RESPECTO A PISCO.....</b>	<b>63</b>
<b>4.3. ANALISIS DE SEQUIAS PROYECTADAS EN CAMBIO CLIMATICO</b>	<b>66</b>
4.3.1. Sequias proyectadas GCM (SPI – 3).....	67
4.3.2. Sequias proyectadas GCM (SPI – 6).....	72
4.3.3. Sequias proyectadas GCM (SPI – 12).....	76
<b>4.4. CARACTERIZACION DE SEQUIAS EN TERMINOS DE SU</b>	
<b>DURACION, INTENSIDAD Y SEVERIDAD .....</b>	<b>80</b>
4.4.1. Caracterización de las sequias proyectadas para el SPI 3 .....	80



4.4.2. Caracterización de las sequías proyectadas para el SPI 6 .....	84
4.4.3. Caracterización de las sequías proyectadas para el SPI 12 .....	88
<b>4.5. DISCUSIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>96</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>106</b>

**Área:** Recursos hídricos

**Tema:** Impacto del cambio climático sobre las sequías

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 30 de enero del 2024





## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> División de una cuenca hidrográfica.....	29
<b>Tabla 2</b> Detalle de los modelos de circulación general más aplicados en la actualidad .....	33
<b>Tabla 3</b> Trayectorias de concentración representativas.....	34
<b>Tabla 4</b> Modelos Climáticos Globales para los dos escenarios de representación SSP2-4.5 y SSP5-8.5.....	45
<b>Tabla 5</b> Clasificación de la intensidad de las sequías en base al IPE.....	52
<b>Tabla 6</b> Métricas de desempeño para la cuenca Azángaro.....	57
<b>Tabla 7</b> Resumen de los 10 mejores GCM para el escenario SSP2-4.5.....	59
<b>Tabla 8</b> Resumen de los 10 mejores GCM para el escenario SSP5-8.5.....	60
<b>Tabla 9</b> Modelos CMIP6 representativos de la vertiente hidrográfica del Titicaca..	61
<b>Tabla 10</b> Resumen de los proyecciones mínima, mediana y máxima para un futuro cercano y lejano para ambos escenarios en todas las unidades hidrográficas de la vertiente del Titicaca .....	64
<b>Tabla 11</b> Categorías de Índice de Precipitación Estandarizado (SPI).....	66
<b>Tabla 12</b> Probabilidad de recurrencia .....	67
<b>Tabla 13</b> Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI3 para un futuro cercano (2035 - 2065) bajo los escenarios SSP245 y SSP585.....	81
<b>Tabla 14</b> Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI3 para un futuro lejano (2070 - 2100) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.....	82
<b>Tabla 15</b> Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI6 para un futuro cercano (2035 - 2065) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 .....	85



<b>Tabla 16</b>	Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI6 para un futuro lejano (2070 - 2100) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.....	86
<b>Tabla 17</b>	Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI12 para un futuro cercano (2035 - 2065) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 .....	89
<b>Tabla 18</b>	Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI12 para un futuro lejano (2070 - 2100) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.....	90
<b>Tabla 19</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Azángaro .....	132
<b>Tabla 20</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Callaccame.....	133
<b>Tabla 21</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Coata .....	134
<b>Tabla 22</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Huancané.....	135
<b>Tabla 23</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Ilave.....	136
<b>Tabla 24</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Ilpa .....	137
<b>Tabla 25</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Mauri Chico .....	138
<b>Tabla 26</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Pucara.....	140
<b>Tabla 27</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Suches .....	141
<b>Tabla 28</b>	Métricas de rendimiento para la Inter cuenca 0155 .....	142
<b>Tabla 29</b>	Métricas de rendimiento para la Inter cuenca 0157.....	143
<b>Tabla 30</b>	Métricas de rendimiento para la Inter cuenca 0171 .....	144
<b>Tabla 31</b>	Métricas de rendimiento para la Inter cuenca 0173 .....	145
<b>Tabla 32</b>	Métricas de rendimiento para la Inter cuenca 0175 .....	146
<b>Tabla 33</b>	Métricas de rendimiento para la Inter cuenca Ramis.....	147
<b>Tabla 34</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Lago Titicaca.....	148
<b>Tabla 35</b>	Métricas de rendimiento para la cuenca Lago Titicaca 1.....	149



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Secuencia de las sequías comúnmente aceptadas y sus efectos asociados al déficit del recurso hídrico .....	23
<b>Figura 2</b> Interacción entre la sequía Meteorológica, Agrícola, Hidrológica y socioeconómica.....	25
<b>Figura 3</b> Partes de una cuenca hidrográfica.....	28
<b>Figura 4</b> Componentes del sistema climático, proceso e interacciones .....	31
<b>Figura 5</b> Ubicación geográfica de la vertiente hidrográfica Titicaca .....	38
<b>Figura 6</b> Ubicación política y límites hidrográficas de la vertiente del Titicaca.....	40
<b>Figura 7</b> Diagrama de flujo de la metodología.....	43
<b>Figura 8</b> Delimitación de las cuencas hidrográficas de la vertiente del Titicaca.....	44
<b>Figura 9</b> Caracterización de las sequías .....	53
<b>Figura 10</b> Precipitación mensual del producto PISCO a nivel nacional .....	54
<b>Figura 11</b> Serie temporal de observaciones para precipitación de promedio areal .....	55
<b>Figura 12</b> Diagrama de Taylor de la cuenca Huancané .....	58
<b>Figura 13</b> Reducción de escala para la cuenca Ilpa.....	63
<b>Figura 14</b> Proyecciones de precipitación para un futuro cercano y lejano para ambos escenarios en las cuencas Ilpa, Callacame, Inter cuencas 0155 y 0157 .....	65
<b>Figura 15</b> Series de SPI3 para el periodo 2035 - 2065 para la Inter cuenca 0155 Cuenca Huancané, Suches e Ilpa .....	69
<b>Figura 16</b> Series de SPI3 para el periodo 2070 – 2100 para la Cuenca Ilave y Cuenca Azángaro .....	71
<b>Figura 17</b> Series de SPI6 para el periodo 2070 – 2100 para la Inter Cuenca 0171 y Inter Cuenca Ramis.....	73



<b>Figura 18</b>	Series de SPI6 para el periodo 2070 – 2100 para la Inter Cuenca 0175 y Inter Cuenca 0173 .....	75
<b>Figura 19</b>	Series de SPI12 para el periodo 2070 – 2100 para la Cuenca Ilave y Cuenca Azángaro .....	77
<b>Figura 20</b>	Series de SPI12 para el periodo 2070 – 2100 para la Cuenca Coata y Cuenca Mauri Chico .....	79
<b>Figura 21</b>	Cambios porcentuales (%) en las métricas de sequía promedio para SPI3 con respecto a 1981–2014 (PISCO) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.....	83
<b>Figura 22</b>	Cambios porcentuales (%) en las métricas de sequía promedio para SPI6 con respecto a 1981–2014 (PISCO) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.....	87
<b>Figura 23</b>	Cambios porcentuales (%) en las métricas de sequía promedio para SPI12 con respecto a 1981–2014 (PISCO) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.....	91



## ACRÓNIMOS

<b>CHIRPS</b>	: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations
<b>CMIP</b>	: Proyecto de Inter – comparación de Modelos Acoplados
<b>DEM</b>	: Modelo Digital de Elevación
<b>GCM</b>	: Modelo de Circulación General
<b>IPCC</b>	: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
<b>MME</b>	: Conjunto Multimodelo
<b>OMM</b>	: Organización Meteorológica Mundial
<b>PISCO</b>	: Peruvian Interpolated of the SENAMHI’s Climatological and hydrological Observations
<b>PDSI</b>	: Índice de Severidad de Sequias Palmer
<b>R</b>	: Lenguaje de Programación
<b>RSTUDIO</b>	: IDE (Entorno de Desarrollo Integrado)
<b>RCP</b>	: Rutas de Concentración Representativa
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de hidrología y Meteorología
<b>SPEI</b>	: Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizada
<b>SPI</b>	: Índice de Precipitación Estandarizad



## RESUMEN

Dado que la sequía es uno de los fenómenos naturales más intensos que se han vuelto más comunes en el país y en todo el mundo en los últimos años, se evalúa su comportamiento futuro para prever los efectos del cambio climático provocado por el calentamiento global. El objetivo fue caracterizar las sequías meteorológicas por patrones espacio – temporales para un futuro cercano y lejano utilizando índice de precipitación estandarizado (SPI) bajo las escalas de tiempo de 3, 6 y 12 meses en las cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca. Para este fin, se utilizó la información histórica del producto PISCO con un registro de 1981 – 2014. El impacto del cambio climático en las sequías para un futuro cercano y lejano, analizamos 39 GCM para el escenario SSP2-4.5 y 41 GCM para el escenario de concentración SSP5-8.5 del CMIP6 para evaluar cambios de precipitación, primero se seleccionó los 10 mejores GCM para ambos escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, para esta metodología se analizó métricas de desempeño de índice de acuerdo modificado (md), error cuadrático medio normalizado (nRMSE), eficiencia de Kling - Gupta (KGE) y métricas de eficiencia espacial (SPAEF); para la validación de estas métricas se utilizó el diagrama de Taylor para representar el rendimiento relativo de los modelos de circulación general del CMIP6, después se empleó la reducción de escala con la metodología del Quantile Mapping para poder determinar el índice del P5 (percentil 5), P50 (percentil 50) y P95 (percentil 95), para cada unidad hidrográfica de la vertiente del Titicaca. Los resultados muestran una disminución de precipitación en una probabilidad de ocurrencia para una escala temporal de tres meses. Con respecto a la escala temporal de seis y doce meses se indica tendencia de siete periodos secos.

**Palabra clave:** Cambio Climático, Reducción de escala, Sequia, SPI, Vertiente Hidrográfica del Titicaca.



## ABSTRACT

Since drought is one of the most intense natural phenomena that has become more common in the country and around the world in recent years, its future behavior is evaluated to predict the effects of climate change caused by global warming. The objective was to characterize meteorological droughts by space-time patterns for the near and distant future using standardized precipitation index (SPI) under the time scales of 3, 6 and 12 months in the basins of the Titicaca hydrographic slope. For this purpose, historical information from the PISCO product was used with a record from 1981 – 2014. The impact of climate change on droughts for the near and distant future, we analyzed 39 GCMs for the SSP2-4.5 scenario and 41 GCMs for the SSP5-8.5 scenario. of SSP5-8.5 concentration of CMIP6 to evaluate precipitation changes, first the 10 best GCMs were selected for both scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5, for this methodology performance metrics of modified agreement index (md), squared error were analyzed. normalized mean (nRMSE), Kling - Gupta efficiency (KGE) and spatial efficiency metrics (SPAEF); To validate these metrics, the Taylor diagram was used to represent the relative performance of the CMIP6 general circulation models, then downscaling was used with the Quantile Mapping methodology to determine the P5 index (5th percentile). , P50 (50th percentile) and P95 (95th percentile), for each hydrographic unit of the Titicaca slope. The results show a decrease in precipitation in a probability of occurrence for a time scale of three months. With respect to the time scale of six and twelve months, a trend of seven dry periods is indicated.

**Keyword:** Climate change, Scale reduction, Drought, SPI, Hydrographic aspect of the Titicaca



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCION

Desde la antigüedad las sequías han amenazado la existencia humana. Hoy en día, la sequía es un fenómeno natural y frecuente que afectan las actividades económicas y estructuras sociales humanas en distintos momentos de tiempo (Harding et al., 1995). En la década de los 70' el promedio de las sequías reportadas anualmente se ha triplicado (Carbajal, 2008). Así mismo, se ha observado un aumento de riesgo de sequía globalmente debido a una mayor evapotranspiración y menor precipitación. En este contexto, es posible el incremento en la frecuencia y duración de eventos de sequías (Leng et al., 2015).

Así, la sequía se caracteriza por presentar eventos temporales y recurrentes que se originan por la falta de precipitaciones y que tiene efectos potenciales sobre la disponibilidad de agua en un sistema hidrológico. Aunque son una característica típica de cualquier clima, pueden tener consecuencias negativas en una amplia gama de sectores sociales, económicos y ambientales (Abellan et al., 2018). Así mismo, la sequía es una anomalía climática transitoria que se caracteriza por precipitaciones por debajo del promedio, esto provoca una disminución de la humedad del suelo que impacta severamente los cultivos, también puede causar disminución de caudales de los ríos (Zubieta et al., 2014).

Estudios recientes han resaltado los impactos ante un cambio climático a nivel mundial que afecta principalmente la disponibilidad del recurso hídrico de manera crítica, lo cual repercute en el desarrollo sostenible de su población en la Costa, Sierra y Selva. En los últimos años, se ha podido presenciar claramente estos impactos a través de las inundaciones y deslizamientos generados por las lluvias extremas del fenómeno “El Niño





Costero” en el año 2017, así como las sequias fuertes generada ahora último por el fenómeno de “La Niña” afectando a las familias campesinas de la región andina. Esto demuestra la fragilidad del país ante los eventos hidro-climatológicos extremos (Vargas, 2009).

La severidad de estos impactos está directamente relacionada con la severidad de la sequía, pero es la falta de una gestión adecuada del riesgo de sequía lo que puede convertir un evento en un desastre (Stahl et al., 2016). Los eventos de sequias tienen diferentes características que pueden ser definidas en base al IPE; duración intensidad y severidad (Masud et al., 2015). Por lo que este índice de precipitación estandarizado resulta un buen indicador para evaluar las sequias por tener una buena relación con los impactos hidrológicos, agrícolas y ecológicos (Vicente-Serrano et al., 2012).

El principal problema radica en la zona sur del Perú. El Altiplano presenta un clima semiárido con variaciones anuales de precipitación durante los meses de diciembre a febrero (Minvielle & Garreaud, 2011). El cambio climático y sus impactos sobre la precipitación y la evapotranspiración sobre el Altiplano se deben a las sequias, cambios de intensidad, duración y frecuencia son muy relevantes para principales actividades económicas como la agricultura y la ganadería Satge et al., (2017) ; Laqui et al., (2024) ; Pilares et al., (2018). Asimismo, se sabe que la agricultura de la región Puno mayormente se rige por secano, y es muy importante la cuantificación de la sequía meteorológica (Condori Apaza et al., 2021).

## **1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

En los últimos años la variabilidad climática ha generado un aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos, como los eventos de sequias que son uno de los principales problemas que ocasiona daños irreversibles a los



ecosistemas por lo que es necesario realizar un seguimiento y análisis espacio – temporales de los futuros posibles eventos de sequias para elaborar medidas adecuadas de estrategias para un buen plan de mitigación de impactos y alerta temprana.

Las sequias causadas por precipitaciones mínimas tienen un impacto negativo en la producción y el desarrollo de actividades en las zonas rurales y urbanas que a su vez afecta la economía lo que es fundamental para una planificación y gestión de los recursos hídricos.

Durante los posibles eventos de sequias, los usos y calidad de agua se vuelven más críticos ya que es uno de los mayores peligros naturales con impactos en la agricultura, los recursos hídricos, las sequias son responsables de hambrunas, epidemias y degradación de la tierra. Por ser la vertiente hidrográfica del Titicaca una de las zonas con un alto riesgo de ocurrencia de sequias, el presente estudio permitirá determinar los futuros eventos de sequias que podrían presentarse en las 17 cuencas e Inter cuencas, para una buena toma de decisiones ante ocurrencias de sequias futuras que puedan afectar a la seguridad, salud y el desarrollo de la población

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Evaluar el impacto de cambio climático sobre las sequias en las cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Realizar la reducción de escala con la metodología del Quantile Mapping para 39 GCM del escenario SSP2-4.5 y 41 GCM del escenario SSP5-8.5 del CMIP6 para la precipitación en las cuencas de la Vertiente hidrográfica del Titicaca.



- Estimar los cambios en la precipitación para el futuro cercano y lejano a partir de los GCM – CMIP6 en proyecciones del P5, P50 y P95, considerando los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en las cuencas de la Vertiente hidrográfica del Titicaca.
- Comparar las características estadísticas de duración, intensidad y severidad de las sequías meteorológicas utilizando índice de precipitación estandarizado de 3, 6 y 12 meses, considerando los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en las cuencas de la Vertiente hidrográfica del Titicaca.



## CAPÍTULO II

### REVISION DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedente de nivel internacional

Según Castillo et al. (2017), realizó un análisis temporal y espacial en la cuenca del río Fuerte para un periodo de 1961 – 2012, para este estudio se calculó 2 Índices de Sequia Estandarizado (SPI) y el Índice Estandarizado de Precipitación – Evapotranspiración (SPEI), ambos índices fueron calculados para 14 estaciones en escalas de 3, 6, 12 y 24 meses, se utilizó la precipitación, temperatura máxima y mínima. Los resultados mostraron que las sequias mayor frecuencia, intensidad y duración en las últimas décadas, donde se encontraron dos periodos de sequias extremas en 1999 a 2004 y de 2011 en adelante.

Según Campozano et al. (2020), determinó las características espacio – temporales de las sequias presentes y futuras en Ecuador mediante dos vías de concentración representativas el RCP 4.5 y RCP 8.5. Los GCM aplicados en este estudio fueron reducidos mediante el modelo acoplados CMIP5, para un periodo de 1981 – 2005 para un futuro lejano del 2041 – 2070. Los resultados mostraron una tendencia decreciente para futuras sequias con una mayor reducción para sequias moderadas eventualmente sequias severas y extremas de manera consecutiva.

##### 2.1.2. Antecedente de nivel nacional

Macedo (2023), investigó y determinó la correlación entre las sequias meteorológicas e hidrológicas en la cuenca del río Santa para un periodo 1965 –



2020 mediante análisis de los datos pluviométricos e hidrométricos en escalas temporales de 1, 3, 6, 12 y 24 meses en términos de frecuencia, intensidad y duración. Los resultados indicaron altas correlaciones entre las sequías meteorológicas e hidrológicas desde un punto de aforo y la precipitación promedio del área de estudio. Además, se evidenció un aumento en la frecuencia e intensidad en el área de estudio.

Según Gálvez (2017), desarrollo patrones de espacio – temporal en sequías históricas y proyectadas, utilizo información observada de precipitación mensual de 37 estaciones con registro histórico de 1970 -2100, bajo 6 escenarios de cambio climático (3 GCM x 2 RCP). La metodología considero el uso de métodos estadísticos e índices ampliamente utilizando el método de vector regional. Los resultados encontrados muestran la variabilidad interanual de las sequías para cuatro regiones homogéneas bien delimitadas. Finalmente, no se encontraron tendencias significativas en la ocurrencia de eventos de sequías a corto plazo, mientras que a largo plazo solo la región 2 muestra tendencia al incremento en el número de eventos secos.

Según Zúñiga (2021), desarrollo un estudio de investigación titulado “Impactos del Cambio Climático sobre las Sequías en la Cuenca río Tambo - Perú, bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5” utilizando el método del índice de precipitación estandarizada e índice de evapotranspiración de la precipitación para cuencas del río Tambo utilizando estaciones pluviométricas en los periodos 1981 – 2005 y 2006 – 2009 en periodos de 6 y 12 meses en posibles eventos de severidad y durabilidad. Los resultados muestran menores temperaturas en las regiones húmedas el uso del SPEI como índice de sequía resulto casi similares con el SPI en regiones con clima árido y temperaturas elevadas.



### **2.1.3. Antecedente de nivel regional**

Según Quispe (2021), desarrollo un estudio de investigación titulado “Análisis de Sequías con perspectivas de cambio climático en la Unidad Hidrográfica Huancané, en el período 2020 – 2100” con el objeto de realizar el análisis espacio – temporal de las sequias históricas utilizando la precipitación mensual de la data PISCO en su periodo 1981 – 2005 y los datos proyectados del 2020 – 2100 para 3 modelos de circulación global. Los resultados indicaron condiciones de exceso y déficit de la precipitación a corto y a largo plazo. Para el periodo de largo plazo se tiene 14 eventos de sequía moderada a extrema siendo el periodo con mayor número de eventos mientras que en el corto plazo se identificó 9 eventos de sequias.

Según Ochoa (2021), desarrollo un tema de investigación titulado “Variabilidad espacial y temporal de la sequía meteorológica en el lago Titicaca al 2030” donde se tomaron 5 estaciones. El resultado que se obtuvo fue que las estaciones de Puno y Juli son las que tienen alto incremento de la precipitación con valores de 0,18 y 5,53% de igual forma la estación de desaguadero disminuye en un 0,74% mientras que en la estación Ilave disminuye en un 1.,2%. Por último, la estación Puno y Yunguyo disminuye en un 0,012 y 0,009% respectivamente y las estaciones de Ilave y Juli aumentan en 0,008 y 0,003 respetivamente.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Sequia**

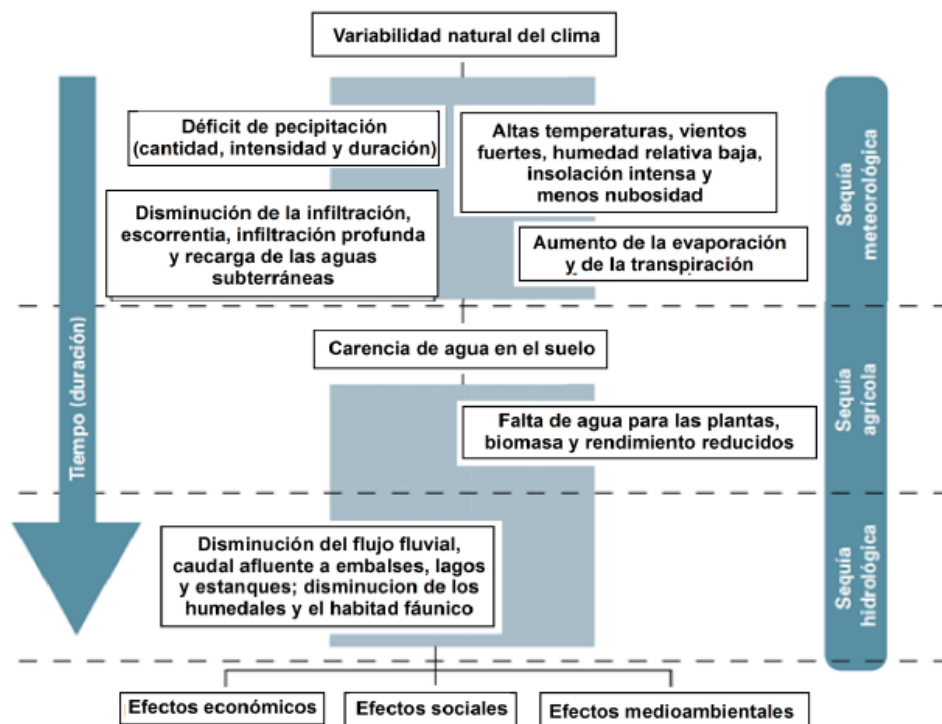
La sequía es uno de los eventos meteorológicos que causan mayores daños económicos, sociales y ambientales a nivel mundial. Es un evento extremo que consiste en la ausencia de la precipitación por debajo de los normal durante un periodo de tiempo determinado (Castillo & Ibañez, 2017).

### 2.2.2. Tipos de sequias

La sequía hidrológica se puede clasificar en meteorológica, agrícola, hidrológica y socio económica (Ravelo et al., 2014).

#### Figura 1

*Secuencia de las sequías comúnmente aceptadas y sus efectos asociados al déficit del recurso hídrico*



Fuente: (Organización Meteorológica Mundial, 2006)

#### a) Sequía meteorológica

La sequía meteorológica es un fenómeno natural y se presenta cuando la precipitación es mucho menor a lo esperado y el déficit hídrico se extiende por un largo periodo (Organización Meteorológica Mundial, 2006).



### **b) Sequia agrícola**

Se produce cuando no hay suficiente humedad en el suelo que permite el desarrollo de un cultivo en todas sus fases de crecimiento, que causan una reducción en su rendimiento y productividad (Valiente, 2001)

### **c) Sequia hidrológica**

Ocurre cuando hay un déficit de aguas superficiales y subterráneas. Además, tiene un desfase temporal para anomalías pluviométricas entre la escasez de lluvias y reducción de caudales, por ello las mediciones no pueden ser utilizadas como indicadores de sequias (Valiente, 2001).

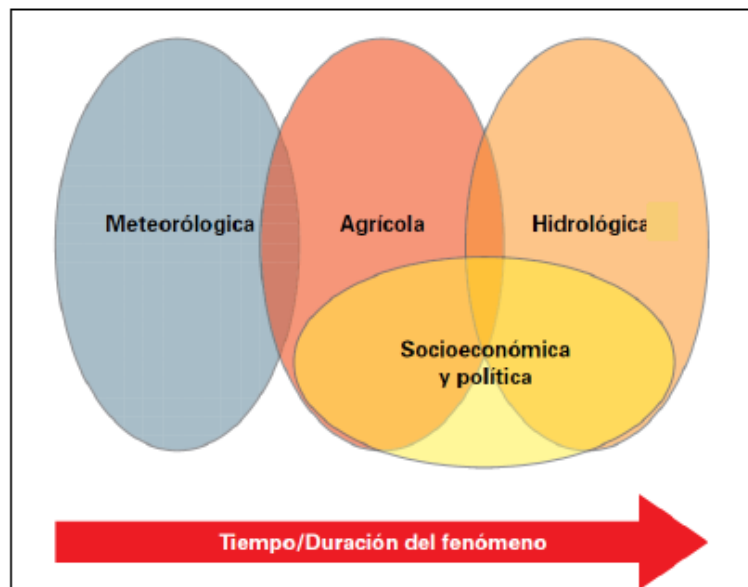
### **d) Sequia socio – económica**

Cuando la disponibilidad hídrica disminuye puede llegar a causar daños a la población, afectando pérdidas económicas crecientes de manera más directa e inmediata en regiones desarrolladas. Además, refleja la relación entre oferta y demanda que dependen de las precipitaciones (Organizacion Metereologica Mundial, 2006).



## Figura 2

*Interacción entre la sequía Meteorológica, Agrícola, Hidrológica y socioeconómica*



**Fuente:** *(Organización Meteorológica Mundial, 2006)*

### 2.2.3. Caracterización de las sequías

El método más común para identificar eventos de sequías es la metodología del run (Yevjevich, 1967), con este método se puede identificar características probabilísticas de la sequía, la duración, la severidad y la intensidad (Real-Rangel et al., 2020; Ponce et al., 2000). A continuación, se define cada una de las características de las sequías.

#### a) Duración de la sequía

La duración de un evento de sequía, se define como el número de sucesiones temporales (número total de días, meses o años consecutivos) con una precipitación inferior al del mismo periodo (Valiente, 2001).

### **b) Intensidad de la sequía**

Cumple una relación entre magnitud y duración de sequía y corresponde a la intensidad promedio, en otros casos se define como el máximo valor déficit de precipitación durante un periodo de sequía (Zargar et al., 2004).

### **c) Severidad de la sequía**

La severidad de la sequía es el déficit acumulado de la precipitación por debajo de cierto umbral durante un determinado periodo de tiempo; mediante una acumulación de sucesión negativa (Valiente, 2001).

## **2.2.4. Índices de sequias**

### **a) Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)**

El Índice de Precipitación Estandarizado fue desarrollado por primera vez en la Universidad del Estado de Colorado por (Mckee et al., 1993), permite cuantificar el déficit de precipitación para diferentes escalas de tiempo (1, 3, 6, 12, 24, y 48 meses). La OMM recomienda el uso del SPI, la cual es más accesible en casi todos los países para rastrear sequias meteorológicas (Hayes et al., 2011).

La serie temporal del SPI es utilizada para el seguimiento de las sequias, mediante umbrales para poder definir el inicio y el fin. Además el SPI es muy eficaz que se calcula para escalas temporales de 1 a 24 meses, mientras más mayores son las escalas más disminuye el tamaño de muestra (Guttman, 1999).

### **b) Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizada (SPEI)**

El SPEI fue desarrollado por Vicente-Serrano en el (2010), donde indica que es multiescalar utilizando datos de precipitación y temperatura y que además puede medir la severidad según su intensidad y duración, así mismo el SPEI identifica el inicio y el fin de los posibles eventos de sequía.

### c) Índice de Severidad de Sequias de Palmer (PDSI)

En el año 1965 se introdujo por primera vez el Índice de Severidad de Sequias de Palmer (PSDI), con el objetivo de brindar mediciones de condiciones de humedad que fueron comparadas utilizando los valores del índice (Palmer, 1965).

El PSDI no detecta las sequias hidrológicas, pero identifica adecuadamente las sequias meteorológicas y tiene respuesta lenta ante las sequias agrícolas (Valiente, 2001). A pesar que el uso de este índice sea generalizado y evalué situaciones húmedas tiene limitaciones para cuantificar la intensidad de la sequía. Además, la metodología utilizada para estandarizar los valores PDSI son muy sensibles a los criterios para poner fin a eventos de sequias severas. (Alley, 1984).

#### 2.2.5. Cuenca Hidrográfica

Según Vásquez et al. (2016), una cuenca hidrográfica es la unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum) que capta y drena todo el caudal efluente.

##### 2.2.5.1. Partes de una cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica básicamente consta de 03 partes tal como se aprecia en la figura 3.

##### **Parte alta**

Esta parte de la cuenca comprende altitudes desde los 3000 m.s.n.m. hasta los 6500 m.s.n.m. En esta zona se concentra la mayor cantidad de agua que está conformado por nevados y lluvias, la topografía

es muy accidentada que lleva a accidentes erosivos bastante frecuentes (Vásquez et al., 2016).

### Parte media

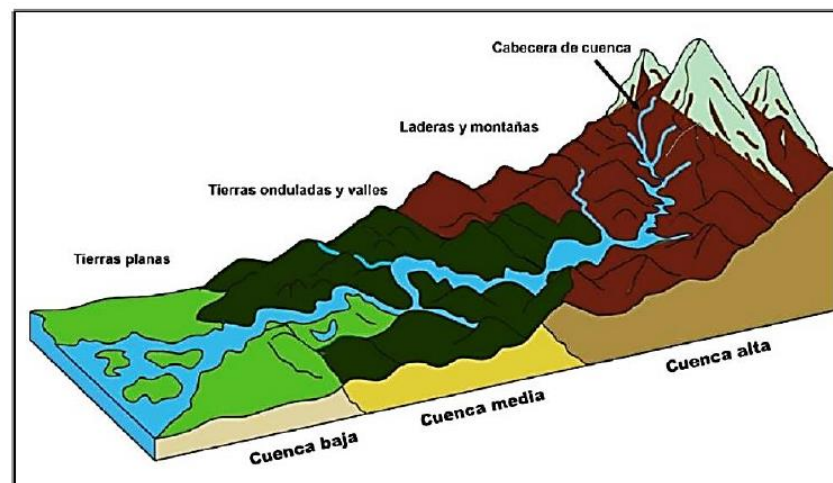
Esta parte de la cuenca comprende altitudes desde los 800 m.s.n.m. hasta los 3000 m.s.n.m. En esta zona se ubican los valles interandinos donde el clima es bueno y variado. La función de esta parte de la cuenca está relacionada al escurrimiento del agua (Vásquez et al., 2016).

### Parte baja

Esta parte de la cuenca comprende altitudes desde los 800 m.s.n.m. La precipitación en esta zona es muy escasa que varía entre (<100 mm/año). En esta zona se ubican grandes proyectos de irrigación (Vásquez et al., 2016).

### Figura 3

*Partes de una cuenca hidrográfica*



Fuente: (Vásquez et al., 2016).

### 2.2.5.2. División de una cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se divide básicamente en cuenca, sub cuenca y micro cuenca según el orden del curso de agua en donde inicia el cauce más pequeño teniendo en cuenta la divisoria topográfica (Vásquez et al., 2016).

**Tabla 1**

*División de una cuenca hidrográfica*

<b>Unidad Hidrográfica</b>	<b>Área (miles de has)</b>
Cuenca	> 50
Sub Cuenca	5 - 50
Micro Cuenca	< 50

### 2.2.6. Vertientes hidrográficas del Perú

#### 2.2.6.1. Vertiente del Pacifico

La vertiente del pacifico se extiende desde la divisoria de aguas desde el occidente de la hoya del Titicaca y de la cadena occidental de los Andes hasta la línea litoral del mar peruano, ocupa el 21,8 % del territorio peruano. En este ámbito se distingue 84 unidades hidrográficas, el 1,8% de la demanda hídrica descargan al Océano Pacifico a través de cuencas para tiempo de avenidas (de diciembre a marzo) y tiempo de estiaje (de abril a noviembre). Los principales ríos son el Chira, La Leche, Jequetepeque, Santa, Pativilca, Chancay, Rímac, Cañete, Pisco, Ica, Ocoña, Tambo y Sama (Sosa Sarmiento, 2016).



### **2.2.6.2. Vertiente del Atlántico**

La vertiente del pacifico se extiende desde la divisoria de aguas desde el norte de la hoya del Titicaca y la cadena occidental de la Cordillera de los Andes, frontera con Colombia y Ecuador, hasta las fronteras con Brasil y Bolivia. Ocupa aproximadamente el 74.6% del territorio peruano, casi el 97.7% se distribuye a través del sistema fluvial Ucayali, Marañón, Putumayo, Yavarí y Huallaga (Sosa 0Sarmiento, 2016).

### **2.2.6.3. Vertiente del Titicaca**

La vertiente del Titicaca se extiende desde la divisoria de aguas desde la vertiente meridiana del Pacifico y Atlántico hasta la línea fronteriza con Bolivia y Chile, ocupa el 3,6 % del territorio nacional, esta vertiente es muy densa y presenta erosiones cuyos productos son transportados por los ríos de Suches, Huancané y Ramis (Sosa Sarmiento, 2016).

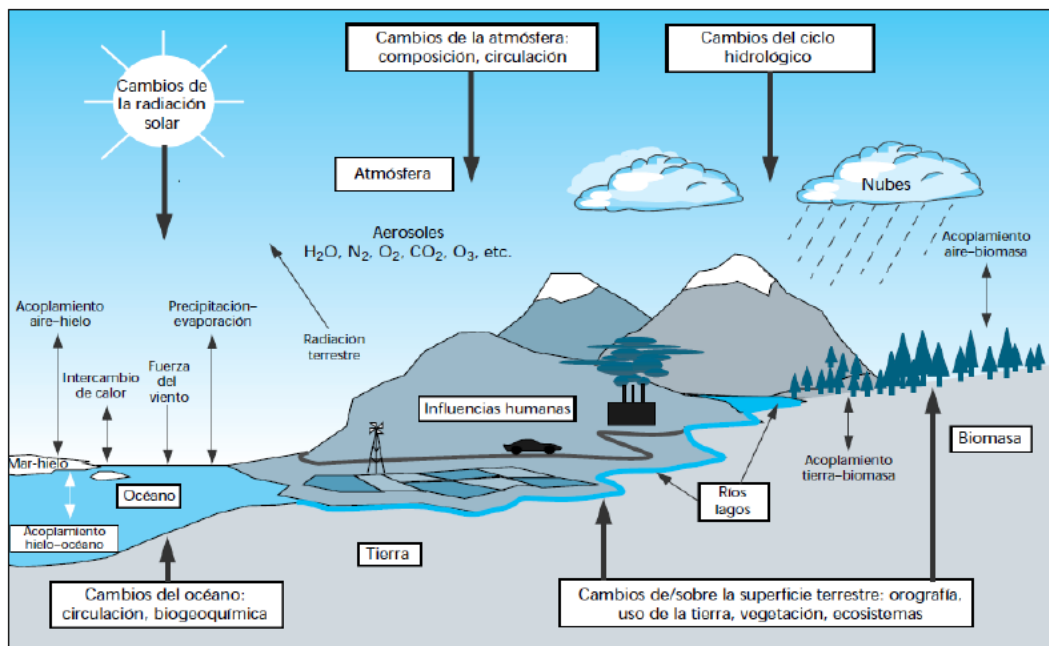
### **2.2.7. Clima y sistema climático**

El sistema climático es muy complejo tiene componentes que interactúan de manera compleja y evoluciona por influencia de factores internos, como el fenómeno El niño – Oscilación del Sur y externos, como variaciones de actividad solar, erupciones volcánicas que afectan la atmosfera y el suelo (Solman, 2011).

Según Senamhi (2016), el Perú tiene un clima con abundantes lluvias y altas temperaturas por la presencia de la cordillera de los Andes que da lugar a un clima muy diversificado.

**Figura 4**

*Componentes del sistema climático, proceso e interacciones*



Fuente: (Re, 2016).

### 2.2.7.1. Variabilidad climática

La variabilidad climática son fluctuaciones del clima que a través que pasan los años que se presenta en diversas escalas de tiempo y espacio que se originan por interacciones del sistema climático y por cambios en los factores radiactivos. Además, se presenta en periodos de tiempo relativamente cortos y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías (Alzate et al., 2015).

### 2.2.7.2. Cambio climático

Según el IPCC el cambio climático es la variación el clima a través de un tiempo determinado, el desarrollo de las actividades humanas intensifica diariamente el efecto invernadero, provocando el aumento de temperatura y riesgo a posibles desastres (IPCC, 2013).



El cambio climático es un problema ambiental cada vez más grave que afronta toda la humanidad, afectando profunda y negativamente a nivel mundial de manera variable, la economía, condiciones socio – culturales, salud y alimentación (Chiabai et al., 2018).

El Perú es altamente vulnerable a los impactos del cambio climático, ya que está en un crecimiento poblacional constante, con presencia de pobreza y actividades económicas que dependen del clima. Por ello, se requiere capacitaciones para escenarios de cambios climáticos y pronosticar acciones de prevención (CMNUCC, 1992).

#### **2.2.8. Modelos climáticos globales**

Los modelos climáticos globales o modelos de circulación general (GCM) representan procesos físicos en la atmósfera, el océano, la criosfera y la superficie terrestre, además son herramientas avanzadas para simulaciones y que tiene el potencial para proporcionar respuestas consistentes utilizando una cuadrilla tridimensional sobre el globo terrestre (IPCC-TGICA, 2007).

Los GCM son de gran importancia para simulaciones y generación de escenarios futuros del clima los cuales permiten conocer el posible comportamiento de los gases de efecto invernadero (Oria rojas et al., 2013).



**Tabla 2**

*Detalle de los modelos de circulación general más aplicados en la actualidad*

Institución	Modelo	Resolución (lat x lon)
CSIRO and Bureau of Meteorology	ACCESS 1.0	1.25° × 1.875°
	ACCESS 1.3	
Beijing Climate Center	BCC-CSM 1.1	~2.8° × 2.8°
	BCC-CSM 1.1(m)	1.125° × 1.125°
GCESS, Beijing Normal University	BNU-ESM	~2.8° × 2.8°
Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	CanESM2	~2.8° × 2.8°
National Center for Atmospheric Research	CCSM4	~0.9° × 1.25°
	CESM1-BGC	
Community Earth System Model Contributors	CESM1-CAM5	~0.9° × 1.25°
	CESM1FASTCHEM	
	CESM1-WACCM	1.875° × 1.875°
Centro Euro-Mediterráneo para el Cambio Climático	CMCC-CESM	3.75° × 3.75°
	CMCC-CESM	0.75° × 0.75°
	CMCC-CMS	1.875° × 1.875°
CNRM and CERFACS	CNRM-CM5	~1.4° × 1.4°
CSIRO, Industrial Research Organization & QCCCE	CSIRO-Mk 3.6.0	1.875° × 1.875°
LASG, IAP, Chinese Academy of Sciences and THU	FGOALS-g2.0	3° × 2.8°
	FGOALS-s2.0	
LASG, IAP, Chinese Academy of Sciences		~1.6° × 2.8°
The first Institution of Oceanography	FIO-ESM	~2.8° × 2.8°
NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	GFDL-CM3	
	GFDL-ESM2G	2° × 2.5°
	GFDL-ESM2M	
	GISS-E2-H	
NASA Goddard Institute for Space Studies	GISS-E2-H-CC	
	GISS-E2-R	2° × 2.5°
	GISS-E2-R-CC	
National Institute of Meteorological Research/KMA	HadGEM2-AO	1.25° × 1.875°
	HadCM3	2.5° × 3.75°
Met Office Hadley Centre	HadGEM2-CC	1.25° × 1.875°
	HadGEM2-ES	
Institute for Numerical Mathematics	INM-CM4	1.5° × 2°
Institut Pierre-Simon Laplace	IPSL-CMS LR	1.875° × 3.75°
	IPSL-CMS MR	1.25° × 2.5°
	IPSL-CM5 LR	1.875° × 3.75°
JAMSTEC, AORI, and NIES	MIROC-ESM	~2.8° × 2.8°
AORI, NIES, and JAMSTEC	MIROC-ESM	
	MIROC4h	~0.6° × 0.6°
	MIROC5	~1.4° × 1.4°
Max Planck Institute for Meteorology	MPI-ESM-LR	1.875° × 1.875°
	MPI-ESM-MR	
	MPI-ESM-P	
Meteorological Research Institute	MRI-CGCM3	1.125° × 1.125°
	NorESM1-M	1.875° × 2.5°
Norwegian Climate Centre	NorESM1-ME	

**Fuente:** (Enríquez Aarón, 2016).

## 2.2.9. Escenarios climáticos

Todavía no existe una metodología para proporcionar predicciones confiables ante un evento de cambio climático; sin embargo, se puede especificar un enfoque alternativo para climas futuros que se denominan “Escenarios Climáticos”, que son representaciones del futuro muy consistentes con las suposiciones sobre emisiones futuras de gases de efecto invernadero (IPCC-TGICA, 2007).

### 2.2.9.1. Escenarios de concentración representativas (RCP)

Según el IPCC (2018), es una representación de evolución futura de emisiones de gases de efecto invernadero. Los RCP’s tienen un periodo de aplicación hasta 2100 y se caracterizan principalmente por el valor de forzamiento radiactivo.

**Tabla 3**

*Trayectorias de concentración representativas*

	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6	RCP 8.5
<b>Tipo de escenario</b>	Mitigación	Estabilización media	Estabilización media	No contiene políticas de mitigación
<b>Descripción</b>	Crecimiento medio de población mundial medio, de tecnologías de almacenamiento de carbono y de PBI, y disminución de emisiones a partir del 2020	Crecimiento de población hasta el 2065. Crecimiento de PBI en una orden magnitud y el uso de energía en 3 órdenes. Uso de políticas climáticas para fijar el precio de uso de carbono.	Crecimiento de la población hasta el 2100. Un crecimiento del PBI hasta el 2060. Las políticas climáticas inician en el 2060.	Altas emisiones de gases de efecto invernadero. Crecimiento alto de población y bajo crecimiento de PBI. Modestos cambios tecnológicos y deficiente uso de la energía.
<b>Forzamiento radiactivo</b>	>8.5 Wm <sup>2</sup> en el 2100	>6 Wm <sup>2</sup> con estabilización después del 2100	>4.5 Wm <sup>2</sup> con estabilización después del 2100	Con un pico máximo >3 Wm <sup>2</sup> antes del 2100

Fuente: (IPCC, 2018)



### **2.2.10. Producto grillado PISCO**

El producto PISCO por sus siglas en inglés “Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations” es un conjunto de datos pluviométricos que ha sido desarrollado para el periodo 1981 al 2016 con una resolución de grilla de  $0.05^\circ$  en su versión diaria y mensual es el resultado de la combinación de datos en estación y productos satelitales de estimación de precipitación para obtener una base de datos grillados a nivel nacional (Aybar et al., 2021).

### **2.2.11. Validación del producto grillado PISCO**

Para la validación se debe tener el mapa de regiones climáticas del Perú el cual es elaborado por el SENAMHI con esto se identifica regiones climáticas teniendo en cuenta la precipitación anual para ello se realiza series de tiempo promediadas desde enero de 1981 a diciembre de 2016 que corresponde a la validación entre la data observada y estimada de acuerdo con los estadísticos comparativos (Anthony & Quiroz, 2023).

La validación independiente del producto grillado PISCO es la comparación entre el producto PISCO y datos pluviométricos a una distancia mayor a 10 km que no fueron utilizados por un corto plazo desde una perspectiva global, además se evidencia una mejora significancia del coeficiente de correlación entre estaciones utilizadas para la validación (Aybar et al., 2021).

### **2.2.12. Reducción de escala**

Según Luna y Domínguez (2013), la estimación de lluvias en sitios con poca información es un problema frecuente en eventos extremos; este inconveniente se resuelve mediante un análisis de datos con variaciones de



estaciones. Cuando la información se agrega estadísticamente, es más útil cuando es homogénea. Al realizar un análisis regional con un tipo particular de datos, las estimaciones son útiles para obtener resultados que sean confiables al compararlos. Como resultado, es necesario cuantificar eventos hidrológicos o meteorológicos en regiones con poca o ninguna información utilizando la información disponible en toda la región hidrológica o meteorológica homogénea.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la presente investigación, se emplearon los siguientes datos y/o materiales.

#### 3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio tiene un enfoque **CUANTITATIVO**, ya que utiliza la recolección e interpretación de los datos ya que es secuencial y probatorio. Además, mide las variables en un determinado contexto utilizando métodos estadísticos y se extrae una serie de conclusiones (Fernandez Collado & Baptista Lucio, 2014).

El diseño de investigación es un plan cuyo fin es obtener información requerida, el presente estudio tiene un diseño **NO EXPERIMENTAL**, ya que no se manipulan las variables de estudio (Fernandez Collado & Baptista Lucio, 2014).

#### 3.2. AMBITO DE ESTUDIO

##### 3.2.1. Ubicación

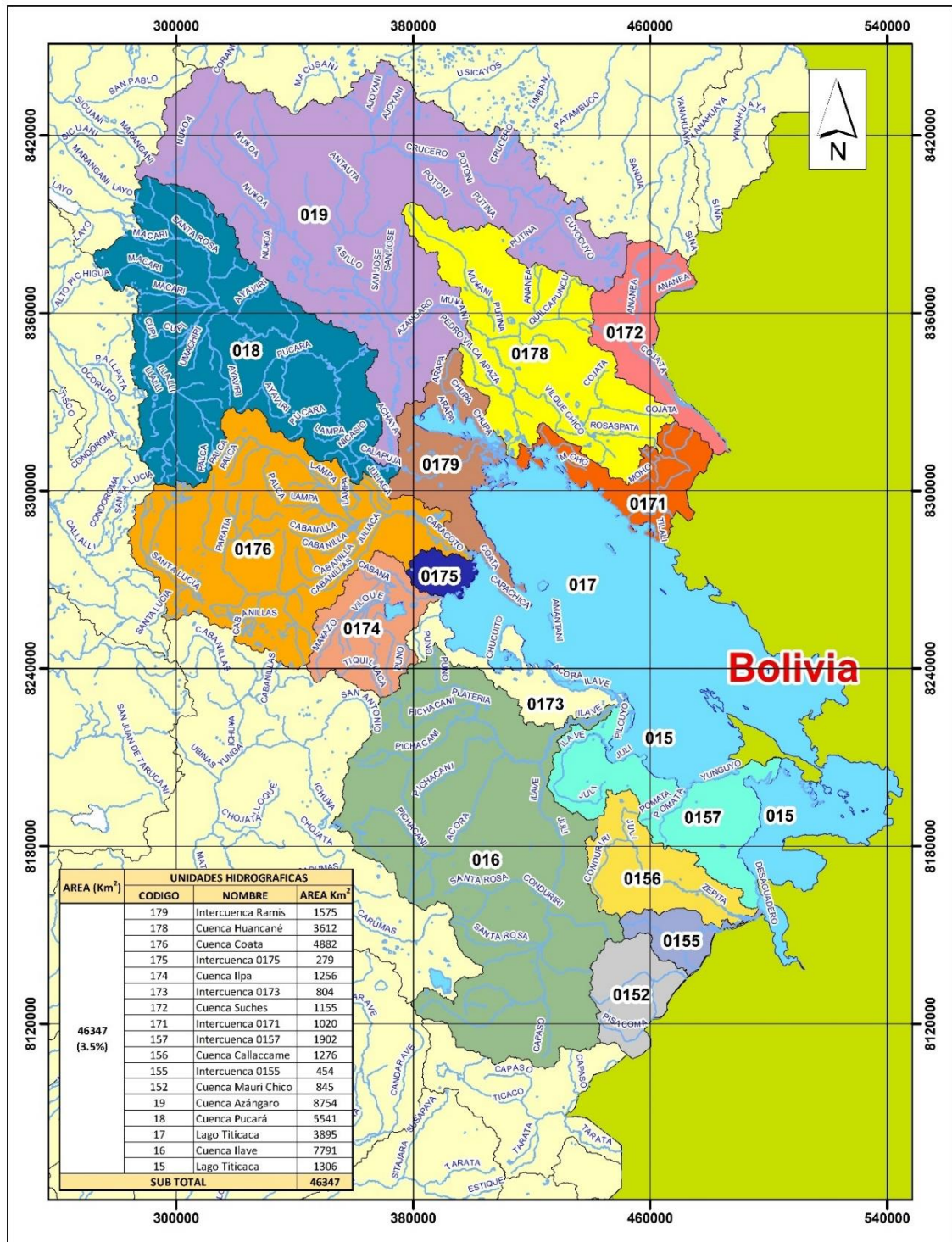
##### 3.2.1.1. Ubicación geográfica

La vertiente hidrográfica del Titicaca está ubicado al norte de la meseta del Collao, tiene una extensión 46,347 Km a 3810 m.s.n.m. Está conformado por 17 unidades hidrográficas que representa 3.8% del territorio peruano.

Sus coordenadas geográficas aproximadamente están entre 15°07' y 16°15' de latitud sur y 68°35' y 70°08' de longitud oeste.

**Figura 5**

*Ubicación geográfica de la vertiente hidrográfica Titicaca*



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN : "EVALUACIÓN  
DE IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE  
LAS SEQUÍAS EN LAS CUENCAS DE LA  
VERTIENTE HIDROGRAFICA DEL TITICACA "

MAPA:  
UBICACIÓN GEOGRAFICO  
DE LA  
VERTIENTE TITICACA

FECHA: ABRIL - 2023  
TESISTA: MASSHELK MIREYDA  
HUARACHA MAMANI  
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S  
Projection: Transverse Mercator  
Datum: WGS 1984

MAPA:  
**U - 01**  
ESCALA:  
1:1,600,000



### **3.2.1.2. Ubicación política**

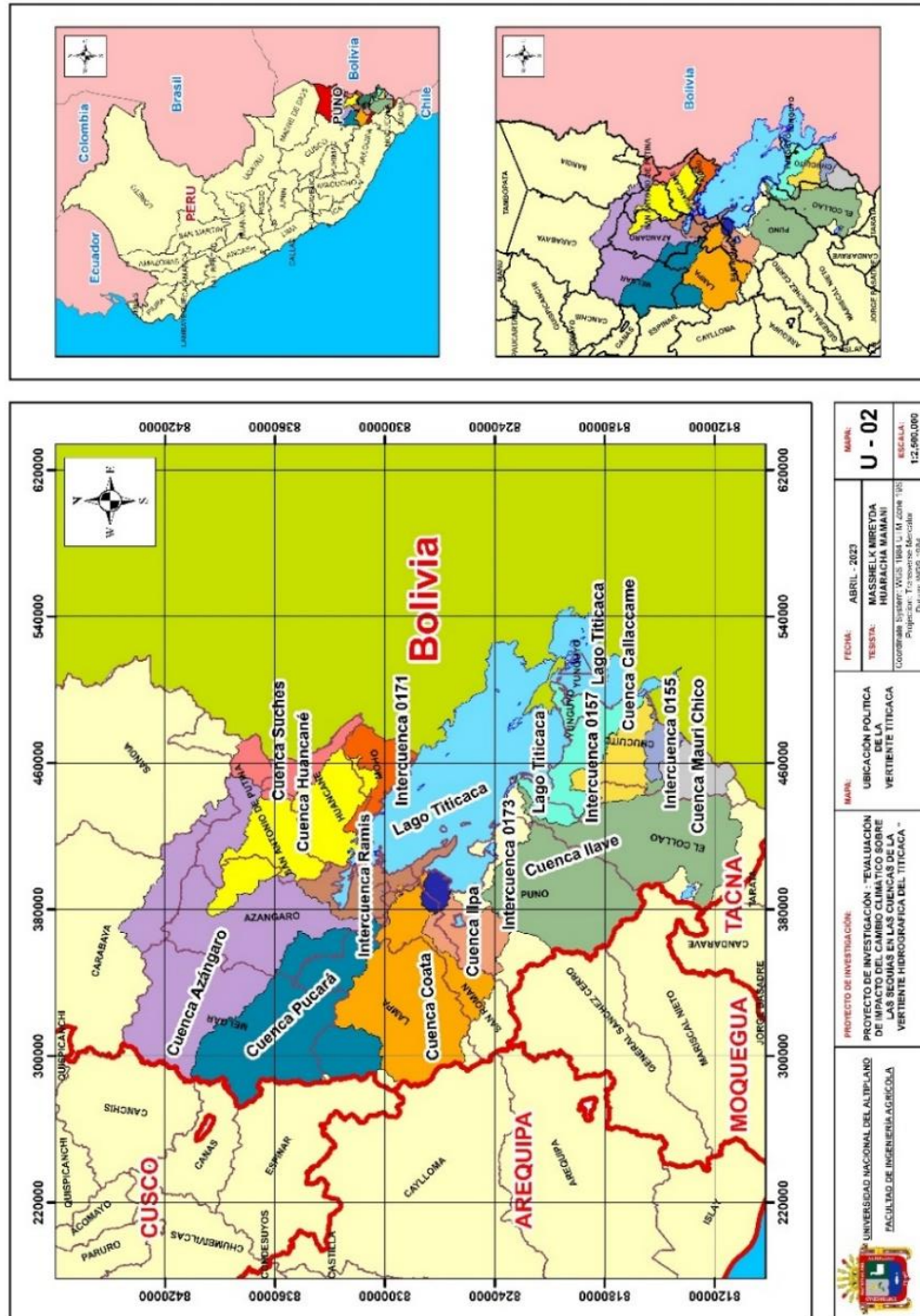
Políticamente las cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca involucran 11 provincias del departamento de Puno, los cuales son Ayaviri, Azángaro, Putina, Huancané, Moho, Lampa, Juliaca, Puno, Ilave, Yunguyo y Juli, estas provincias se encuentran entre las alturas de 3827 y 3907 m.s.n.m.

### **3.2.1.3. Límites hidrográficos**

Limita por el este con Bolivia, por el oeste con Cusco y Arequipa, por el Norte con Madre de Dios y por el sur con Tacna

**Figura 6**

*Ubicación política y límites hidrográficos de la vertiente del Titicaca.*



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA</p>	<p>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN - EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL REGÍMEN DE VERTIENTE HIDROGRÁFICA DEL TITICACA -</p>	<p>FECHA: ABRIL - 2023</p>	<p>MAPEO: <b>U - 02</b></p>
	<p>UBICACIÓN POLÍTICA DE LA VERTIENTE TITICACA</p>	<p>ELABORADO POR: MASSIELA MIREYDA HUABACHA MAMANI</p>	<p>ESCALA: 1:2,500,000</p>



### **3.3. DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN**

#### **3.3.1. Información del producto PISCO**

El producto PISCO (Peruvian Interpolated data of SENAMNHI'S Climatological and Hydrological Observations) es un conjunto de datos pluviométricos que están disponibles para el Perú en los periodos de 1981 al 2014 con una resolución espacial de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  (~10km) (Aybar et al., 2021). Para la generación de PISCO – precipitación se utilizaron datos que consistieron en:

- Una base de datos de precipitación mensual de todo el Perú.
- Datos satelitales del producto CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations) a escala mensual.

Estos datos fueron obtenidos por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología que después fueron sometidos a procesos de calidad visual para reportar valores atípicos y quiebres temporales de precipitación. Finalmente se obtuvieron datos para el periodo 1981 – 2014 con 180 – 448 estaciones variables con 10 años de registro (Lavado et al., 2015).

#### **3.3.2. Extracción de PISCO con RStudio**

Consiste en Script para leer puntos de interés de datos PISCO de precipitación, para extraer dichos puntos de interés que son almacenados en formato .csv. Este script fue desarrollado por especialistas del SENAMHI en distintas versiones que se muestran en el **Anexo A**.

#### **3.3.3. Modelo Digital de Elevación**

Los modelos de elevación digital (DEM) son productos estándar del análisis fotogramétrico digital de imágenes digitales (Miller & Small, 2003). La aplicación de los DEM va desde la hidrología hasta los estudios de impacto



ambiental (Wu et al., 2008). Estos modelos DEM tienen ventajas tales como planear con anticipación las necesidades que requiera, además se adecuan a las condiciones climáticas. Entre mayor sea la altura mayor será la resolución de los datos, la aplicación de los DEM de alta resolución son cada vez más necesarios para estudios hidrológicos ya que incluye la pendiente, la longitud del flujo y la pendiente ascendente que contribuye el área de cuenca (Hunter et al., 2007).

### 3.3.4. Precipitación de los GCM

En la actualidad, todos los esfuerzos humanos se ven afectados por el cambio climático. Por lo tanto, las proyecciones climáticas basadas en Modelos de Circulación General (GCM) son esenciales para combatir los impactos climáticos adversos (Illangasingha et al., 2023).

## 3.4. MATERIALES

En este estudio, se consideró la ejecución de la metodología utilizando programas de cómputo y equipos de gabinete.

a) Equipos de gabinete:

- Una laptop personal Core I5 – 7200U de 2.50GHZ con RAM instalada de 12.0 GB, sistema operativo de 64 bits.
- Disco duro externo de 1 TB
- Impresora CANON G4100
- Materiales de escritorio

b) Programas de cómputo:

- **R (lenguaje de programación):** Es un tipo de lenguaje de código abierto e interpretado se aplica en situaciones de análisis profundo en diversas áreas tales como cálculos estadísticos, análisis de datos, etc.

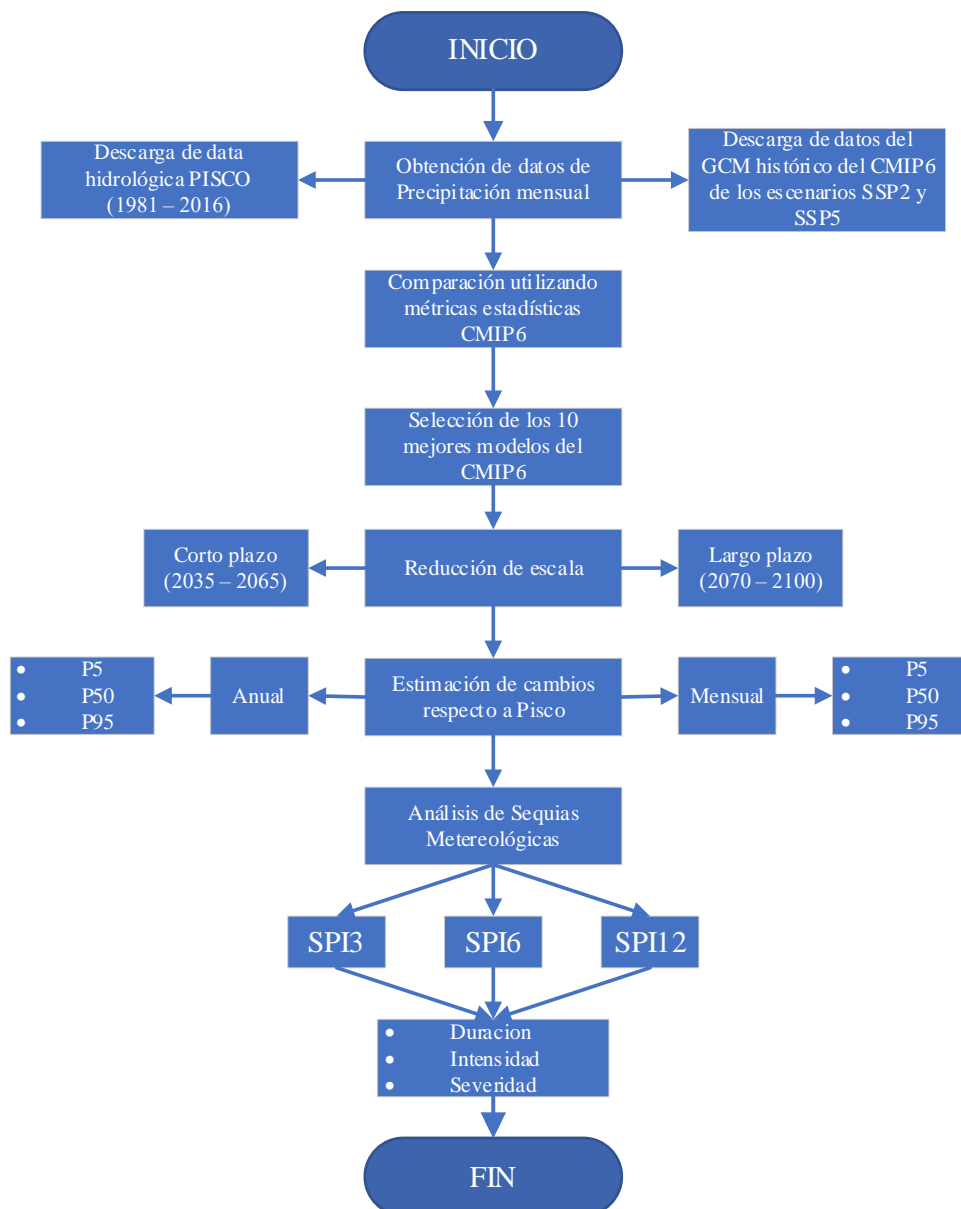
- **Sistema de Información geográfica (SIG):** Es una herramienta indispensable para trabajar información georreferenciada que trabaja mediante coordenadas especiales o geográficas.

### 3.5. METODOLOGIA

En la Figura 7 se muestra el diagrama de la metodología. A continuación, se detalla los procedimientos de la metodología.

**Figura 7**

*Diagrama de flujo de la metodología*



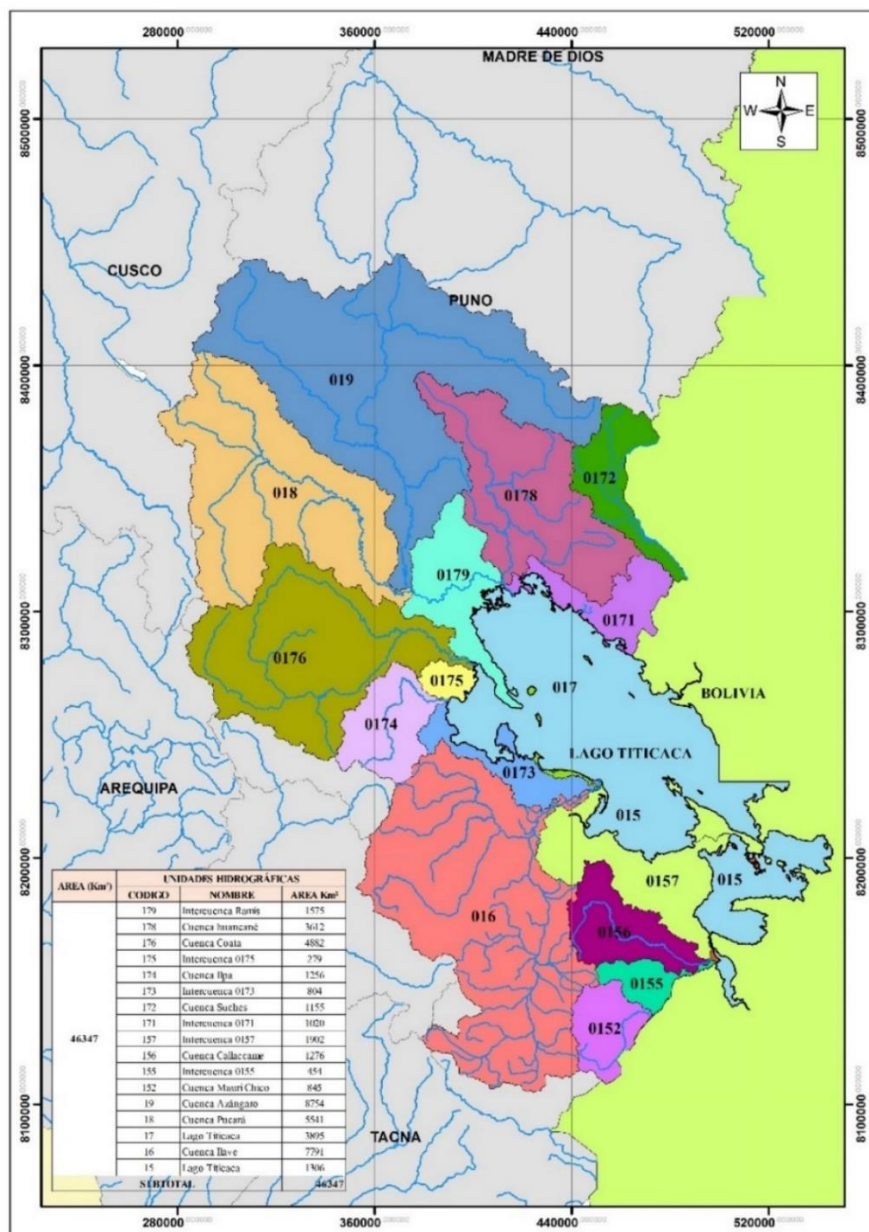
### 3.5.1. Reducción de escala para modelos de cambio climático

#### a) Delimitación de las cuencas de la vertiente hidrográfica del lago Titicaca

Para poder alcanzar nuestros objetivos planteados primeramente se realizó la delimitación de la vertiente hidrográfica del Titicaca que comprende 17 unidades hidrográficas.

**Figura 8**

*Delimitación de las cuencas hidrográficas de la vertiente del Titicaca*



## b) Obtención de la data PISCO para la precipitación

La extracción de PISCO en la precipitación se hizo desde el año 1981 – 2016 para el periodo histórico, el proceso de extracción se realizó tomando el promedio de precipitación dentro de las 17 cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca.

## c) Obtención de datos GCM históricos

En este estudio, evaluamos la eficiencia de 39 Modelos Climáticos Globales (GCM) en SSP2-4.5 y 41 Modelos Climáticos Globales reducidos en SSP5-8.5 por **KNMI Climate Explorer** para analizar estadísticamente los datos climáticos en proyecciones reducidas (NEX – GDDP)

**Tabla 4**

*Modelos Climáticos Globales para los dos escenarios de representación SSP2-4.5 y SSP5-8.5*

ESCENARIOS DE EMISION CMIP6			
SSP2-4.5		SSP5-8.5	
ACCESS-CM2	GFDL-CM4	ACCESS-CM2	GFDL-CM4
ACCESS-ESM1-5	GFDL-ESM4	ACCESS-ESM1-5	GFDL-ESM4
AWI-CM-1-1-MR	GISS-E2-1-G p1	AWI-CM-1-1-MR	GISS-E2-1-G p1
BCC-CSM2-MR	GISS-E2-1-G p3	BCC-CSM2-MR	GISS-E2-1-G p3
CAMS-CSM1-0	HadGEM3-GC31-LL f3	CAMS-CSM1-0	HadGEM3-GC31-LL f3
CanESM5-CanOE p2	HadGEM3-GC31-MM f3	CanESM5-CanOE p1	HadGEM3-GC31-MM f3
CanESM5 p1	INM-CM4-8	CanESM5-CanOE p2	INM-CM4-8
CanESM5 p2	INM-CM5-0	CanESM5 p1	INM-CM5-0
CESM2-WACCM	IPSL-CM6A-LR	CanESM5 p2	IPSL-CM6A-LR
CESM2	MCM-UA-1-0	CESM2-WACCM	KACE-1-0-G
CIESM	MIROC-ES2L f2	CESM2	MCM-UA-1-0
CMCC-CM2-SR5	MIROC6	CIESM	MIROC-ES2L f2
CNRM-CM6-1-HR f2	MPI-ESM1-2-HR	CMCC-CM2-SR5	MIROC6
CNRM-CM6-1 f2	MPI-ESM1-2-LR	CNRM-CM6-1-HR f2	MPI-ESM1-2-HR
CNRM-ESM2-1 f2	MRI-ESM2-0	CNRM-CM6-1 f2	MPI-ESM1-2-LR
EC-Earth3-Veg	NESM3	CNRM-ESM2-1 f2	MRI-ESM2-0
EC-Earth3	NorESM2-LM	EC-Earth3-Veg	NESM3
FGOALS-f3-L	NorESM2-MM	EC-Earth3	NorESM2-LM
FGOALS-g3	UKESM1-0-LL f2	FGOALS-f3-L	NorESM2-MM
FIO-ESM-2-0		FGOALS-g3	UKESM1-0-LL f2
		FIO-ESM-2-0	

#### d) Comparación utilizando métricas estadísticas

Para simulaciones históricas de los GCM se utilizarán métricas estadísticas por separado en los siguientes indicadores de desempeño: Índice de acuerdo modificado (md), error cuadrático medio normalizado (nRMSE), métrica de eficiencia de Kling – Gupta (KGE) y métrica de eficiencia espacial (SPAEF). Para poder construir un conjunto de medias multimodelo se 39 Modelos Climáticos Globales (GCM) en SSP2-4.5 y 41 Modelos Climáticos Globales reducidos en SSP5-8.5. La finalidad de esta comparación es poder seleccionar un conjunto de modelos más eficaces y de mejor comportamiento para cada una de las cuencas del área de estudio.

- **Estadísticas de Índice Modificado (md)**

El grado modificado del Índice fue introducido por primera vez en 1999 por Legates y McCabe indica la relación entre valores extremos y la insensibilidad a las diferencias de las medias y la varianza, simuladas para cada uno de los modelos. Se define de la siguiente manera:

$$md = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |O_i - P_i|}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)}$$

Donde:

P = Predicción de GCM

O = Observaciones

La ventaja de md es que no utiliza raíz cuadrada de errores y discrepancias por lo que sus resultados son más realistas. Es indicado para el uso en la validación de modelos hidroclimáticos e hidrológicos que varían de 0 a 1, es decir, de no ser perfecto a perfecto.

- **Error Medio Cuadrático Normalizado (nRMSE)**

Para evaluar el desempeño de un GCM, es importante utilizar al menos una métrica de bondad de ajuste como el md y al menos una métrica de medida de error como el RMSE.

Al comparar las métricas de rendimiento del modelo es preferible a RMSE cuando las variables están en varias o en la misma unidad pero con distinta magnitud (Ahmed et al., 2019). Se define de la siguiente manera:

$$nRMSE = \frac{\left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{1/2}}{O_{max} - O_{min}}$$

**Donde:**

**P** = Predicción de GCM

**O** = Observaciones

El valor más pequeño de nRMSE indica un mejor rendimiento del modelo

- **Eficiencia Kling – Gupta (KGE)**

Es una métrica de evaluación del modelo hidrológico que fue introducido por primera vez por Gupta et al. (2009). Fue desarrollado descomponiendo la eficiencia de Nash – Sutcliffe considerando el error de variabilidad, la correlación y error de sesgo. Gupta indica que, para tener buenos resultados, así como en la eficiencia de Nash se debe subestimar la variabilidad, mientras que su método calcula específicamente la distancia euclidiana de los mismos componentes para mejores resultados. Se define de la siguiente manera:

$$KGE = 1 - \sqrt{(\alpha_p - 1)^2 + (\beta_p - 1)^2 + (\gamma_{RP} - 1)^2}$$



$$\beta_p = \frac{\mu_G}{\mu_O}$$

$$\gamma_{RP} = \frac{CV_G}{CV_O} = \left( \frac{\frac{\sigma_G}{\mu_G}}{\frac{\sigma_O}{\mu_O}} \right)$$

**Donde:**

$\alpha_p$  = Coeficiente de correlación de Pearson

$\beta_p$  = Relación de sesgo

$\gamma_{RP}$  = Relación de variabilidad

$\mu_G$ ,  $\sigma_G$  y  $\mu_O$ ,  $\sigma_O$  = La media y la desviación estándar de las predicciones de los GCM

$CV_G$  y  $CV_O$  = Coeficientes de variación

Los valores de KGE varían  $-\infty$  a 1, los valores cercanos a 1 indican un mejor rendimiento del modelo.

- **Métricas de Eficiencia Espacial (SPAEF)**

La eficiencia espacial representa el coeficiente de variación, la correlación y la superposición de histogramas. El rendimiento de esta métrica es sólido y se puede utilizar para comparar mapas ráster. La SPAEF está definida de la siguiente manera:

$$SPAEF = 1 - \sqrt{(\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2}$$



$$\beta = \begin{pmatrix} \frac{\sigma_G}{\sigma_O} \\ \frac{\mu_G}{\mu_O} \end{pmatrix}$$

$$\gamma = \frac{\sum_{j=1}^N \min(K_j, L_j)}{\sum_{j=1}^N K_j}$$

Donde:

$\mu_G$ ,  $\sigma_G$  y  $\mu_O$ ,  $\sigma_O$  = La media y la desviación estándar

L y N = Valores de los histogramas

El valor SPAEF varía entre  $-\infty$  a 1 y los valores más cercanos a 1 indican un mejor rendimiento en el modelo.

#### e) Selección de los 10 mejores modelos del CMIP6

Para la selección de los GCM más eficientes se puede realizar con la ayuda del método de Taylor basándose en una correlación de imágenes globales de alta calidad y con corrección de sesgo. Los diagramas de Taylor muestran gráficamente cuál de los modelos son de aproximación simultánea más precisa. Este método utiliza el coeficiente de correlación de Pearson, el error medio cuadrático y la desviación estándar para su selección de modelos (Taylor, 2001)

#### f) Aplicación del Quantile Mapping (QM)

En el presente estudio se aplicará el método Cuantil Mapping (QM) para la corrección de sesgo que tiene un muy buen desempeño en términos de precipitación mediante una simulación de modelos ante la presencia de un cambio climático asignando cuantiles de los datos simulados y los datos observados. La ecuación de QM es la siguiente:

$$Q_m(t) = F_0^{-1}[F_s[Q_s(t)]]$$

**Donde:**

$Q_m(t)$  y  $Q_s(t)$  = Son datos corregidos por sesgo y datos simulados durante el periodo histórico.

$F_s$  y  $F_o \pm 1$  = Son la distribución acumulativa de los datos brutos y la inversa de datos observados respectivamente.

### 3.5.2. Determinación de las sequías históricas y proyectadas

#### a) Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

El índice de precipitación estandarizado (SPI) por McKee et al. (1993) que se basa únicamente en datos de precipitación que se utiliza para monitorear sequías.

El SPI se basa principalmente porque se puede aplicar en diferentes escalas de tiempo en suministros de agua superficial tales como embalses, caudales y entre otros considerando plazos de 3, 6 y 12 meses. Este índice se basa en la probabilidad acumulada de la precipitación considerada como:

$$G(x) = \frac{1}{\beta_{pro}^{\alpha_{pro}} \Gamma(\alpha_{pro})} \int_0^x x^{\alpha_{pro}-1} e^{-\frac{x}{\beta_{pro}}} dx$$

$$\alpha_{pro} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$A = \ln(x_{sr}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n}$$

$$\beta_{pro} = \frac{x_{sr}}{\alpha_{pro}}$$

**Donde:**

$x_{sr}$  = Valor medio de la cantidad de precipitación

$n$  = Numero de medición de precipitación

$x_i$  = Cantidad de precipitación en la secuencia de datos

Si  $x = 0$ , entonces el acumulado de la probabilidad se convierte en:

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

**Donde:**

$q$  = Probabilidad de no precipitaciones

Si la distribución normal estandarizada es con promedio nulo la ecuación es la siguiente:

$$SPI = \begin{cases} -\left(t - \frac{c_0 + c_1t + c_2t^2}{1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3}\right) & 0 < H(x) \leq 0.5 \\ +\left(t - \frac{c_0 + c_1t + c_2t^2}{1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3}\right) & 0.5 < H(x) \leq 1.0 \end{cases}$$

**Donde:**

$$t = \begin{cases} \sqrt{\ln \frac{1}{(H(x))^2}}, & 0 < H(x) \leq 0.5 \\ \sqrt{\ln \frac{1}{(1 - H(x))^2}}, & 0.5 < H(x) \leq 1 \end{cases}$$

**Donde:**

$H(x)$  = Probabilidad acumulada de la precipitación observada

$c_0, c_1, c_2, d_1, d_2$  y  $d_3$  = Constantes que tienen valores de 2,515517,

0,802853, 0,010328, 1,432788, 0,189269 y 0,001308, respectivamente.

### 3.5.3. Caracterización de las sequias históricas y proyectadas

Las secuencias observadas se caracterizaron en cada una de las 17 cuencas de la vertiente hidrográfica Titicaca, donde se estimó la precipitación media

regional para períodos cortos (2035-2065) y largos (1970-2100). A continuación, se estimó la serie regional de IPE a partir de la precipitación media mensual regional, para tres escalas de tiempo diferentes: corto plazo (tres meses), mediano plazo (nueve meses) y largo plazo (24 meses). La sequía en cada región puede caracterizarse en términos de duración, intensidad y severidad gracias a la serie de IPE regional. Los eventos de sequía con periodos continuos se identifican con estas series de IPE en valores de IPE menores al umbral (-1.0) debido a la base a la siguiente definición:

#### **a) Severidad**

La severidad de los eventos de sequía se cuantifico como la acumulación de la sucesión de déficit del IPE durante un evento de sequía.

#### **b) Intensidad**

Para la presente investigación se consideró la estimación de la intensidad como el máximo valor del déficit del IPE ocurrido durante un evento de sequía.

#### **c) Duración**

Estimado como el número de meses consecutivos con valores IPE por debajo del umbral (IPE < -1.0).

### **Tabla 5**

*Clasificación de la intensidad de las sequias en base al IPE*

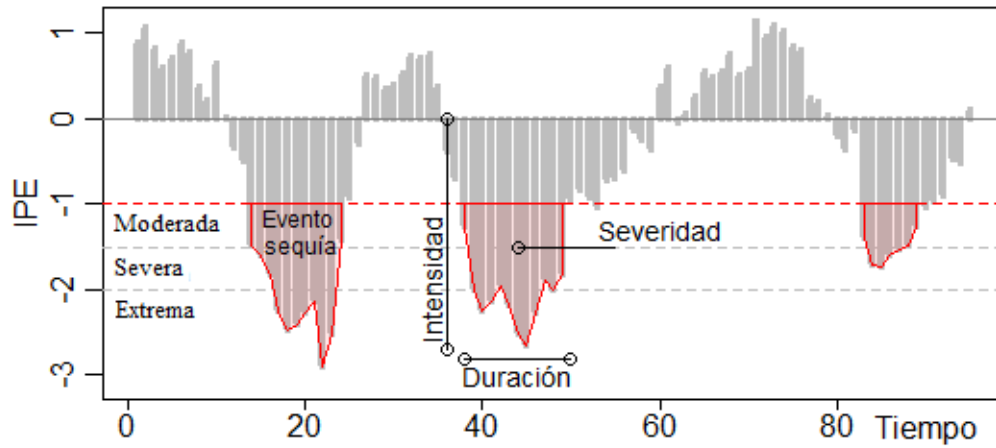
Intensidad	IPE
Sequia moderada	$-1.5 < \text{IPE} < -1.0$
Sequia Severa	$-2.0 < \text{IPE} \leq -1.5$
Sequia Extrema	$\text{IPE} \leq -2.0$

**Fuente:** World Meteorological Organization (2012)

En la figura 9 se presenta las características de las sequías de moderada, severa y extrema en cuanto a su intensidad, severidad y duración.

**Figura 9**

*Caracterización de las sequías*



**Fuente:** (Galvez Ayala, 2017)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

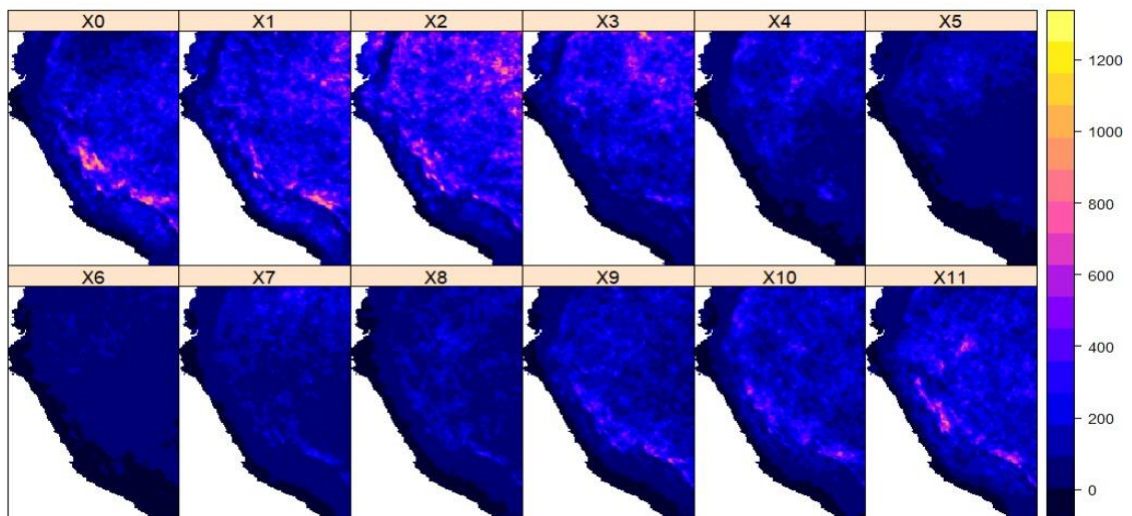
#### 4.1. REDUCCIÓN DE ESCALA DE LA PRECIPITACION ESTIMADA

##### 4.1.1. Extracción de datos – precipitación mensual PISCO

Las precipitaciones que obtuvieron corresponden al producto de precipitación PISCO que se encuentra en el formato netCDF que puede expresarse en series de tiempo. Para este procedimiento se utilizó un Script que lee puntos de interés, fue desarrollado por especialistas del SENAMHI que utiliza un software con una versión de R V3.3.0 y RStudio V4.3.2., y trabaja desde enero de 1981 hasta diciembre de 2014. En la Figura 10 se muestra la precipitación histórico - mensual del producto PISCO a nivel nacional. Así mismo en la Figura 11, se presenta la serie de tiempo de para la precipitación promedio areal para la vertiente hidrográfica del Titicaca. La distribución de la precipitación varia de 0 mm a 248.014 mm aproximadamente. VER ANEXO A

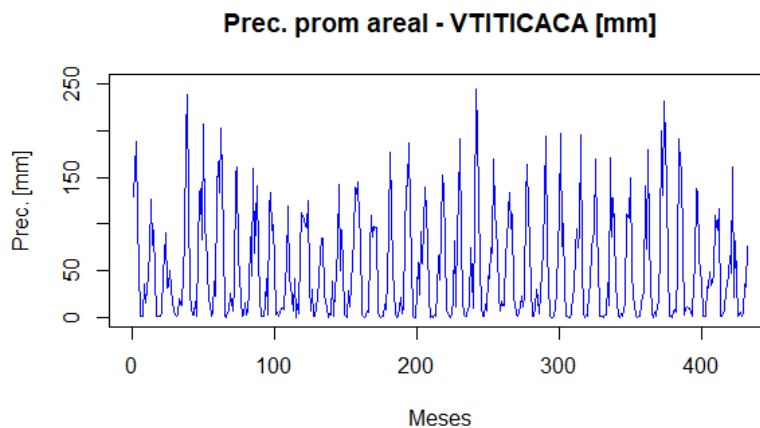
**Figura 10**

*Precipitación mensual del producto PISCO a nivel nacional*



**Figura 11**

*Serie temporal de observaciones para precipitación de promedio areal*



#### **4.1.2. Extracción de precipitación mensual proyectada GCM**

El clima es errático, porque cambia constantemente. Para nuestra seguridad y prosperidad necesitamos saber que riesgos enfrenta nuestro país densamente poblado de agua. Así mismo, el nivel del mar está aumentando y existe la posibilidad de que el clima nos sorprenda desagradablemente con riesgos geofísicos. Por ello se trabajará con el portal de KNMI Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>) porque tiene conocimientos como centro nacional de datos sobre el tiempo, clima y la sismología que es confiable, centrado que trabaja a nivel internacional. El KNMI tiene la importante tarea de recopilar información sobre la atmosfera, el subsuelo y traducirla en riesgos para que la sociedad tome medidas ante escenarios de cambio climático (Instituto meteorológico, 2017).

La predicción de eventos de cambio climático es muy importante, así como la calidad de información y los datos modelados; en tal sentido se analizó los resultados del proceso de reducción de escala en el orden que sigue:



Primero, se descargó 39 GCM (modelos de circulación global) para el escenario de representación SSP2-4.5 y 41 modelos de circulación global para SSP5-8.5 para el CMIP6 del portal de KNMI Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>).

Segundo, se utilizó las métricas de desempeño del índice de acuerdo modificado (md), error cuadrático medio normalizado (nRMSE), eficiencia de Kling - Gupta (KGE) y métricas de eficiencia espacial (SPAEF) que tienen grados de fidelidad y se utiliza ampliamente en estudios de modelización climática para reducir incertidumbres. Además, esta metodología nos ayudó a reducir las aproximaciones de los GCM utilizados entre cual es mejor y cual menos se ajusta.

VER ANEXO B Y G

Tercero, para la validación de las métricas de desempeño se utilizó el diagrama de Taylor para representar el rendimiento relativo de los modelos de circulación general del CMIP6 y la significancia de conjuntos de multimodelo (MME). Además, el diagrama de Taylor es ampliamente utilizado porque proporciona un resumen estadístico conciso del grado de correlación y error (Hamed et al., 2022).

A continuación, en la Table 6 se muestra la métrica de desempeño para la cuenca Azángaro donde se puede apreciar que para el escenario SSP5-8.5 el modelo de circulación (GCM) que mejor ranking presenta es el GFDL-ESM4 que esta en el puesto número 1.



**Tabla 6**

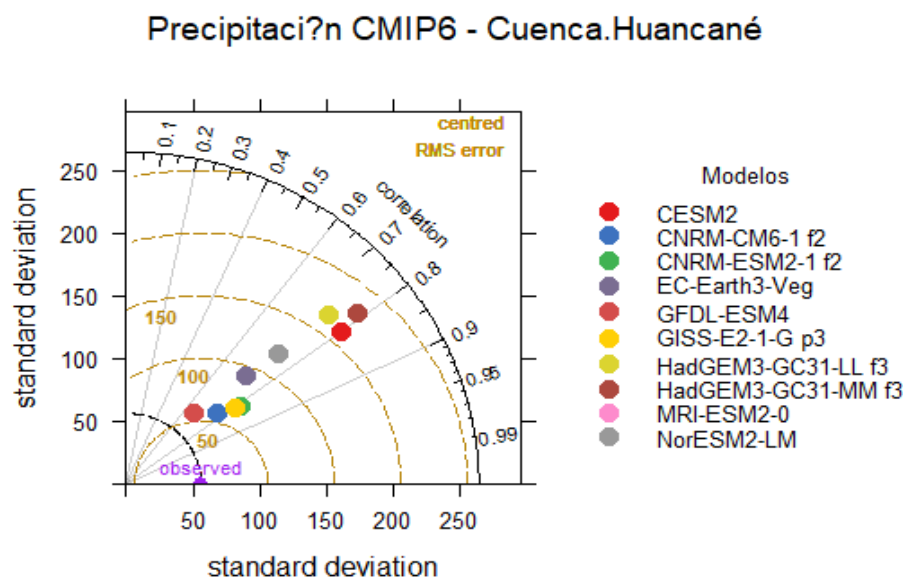
*Métricas de desempeño para la cuenca Azángaro*

CUENCA HUANCANÉ											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	
ACCESS-CM2	28	0.18	1.00	0.19	-2.61	ACCESS-CM2	30	0.18	1.00	0.19	-2.61
ACCESS-ESM1-5	18.5	0.19	1.04	0.23	-2.66	ACCESS-ESM1-5	21	0.19	1.04	0.23	-2.66
AWI-CM-1-1-MR	14	0.23	0.80	0.32	-1.76	AWI-CM-1-1-MR	15.5	0.23	0.80	0.32	-1.76
BCC-CSM2-MR	38	0.16	1.20	0.09	-3.35	BCC-CSM2-MR	40	0.16	1.20	0.09	-3.35
CAMS-CSM1-0	10.5	0.24	0.72	0.27	-1.57	CAMS-CSM1-0	13	0.24	0.72	0.27	-1.57
CanESM5-CanOE p2	36	0.16	1.31	0.11	-3.62	CanESM5-CanOE p1	37	0.16	1.31	0.11	-3.62
CanESM5 p1	33	0.17	1.30	0.18	-3.52	CanESM5-CanOE p2	14	0.24	1.07	0.33	-2.44
CanESM5 p2	35	0.16	1.29	0.10	-3.55	CanESM5 p1	34	0.17	1.30	0.18	-3.52
CESM2-WACCM	6.5	0.24	1.13	0.36	-2.58	CanESM5 p2	36	0.16	1.29	0.10	-3.55
CESM2	12.5	0.24	1.07	0.31	-2.44	CESM2-WACCM	22.5	0.44	0.34	0.00	-0.03
CIESM	21	0.44	0.34	0.00	-0.03	CESM2	6.5	0.24	1.13	0.36	-2.58
CMCC-CM2-SR5	34	0.14	1.63	0.20	-4.61	CIESM	35	0.14	1.63	0.20	-4.61
CNRM-CM6-1-HR f2	10.5	0.29	0.56	0.25	-1.07	CMCC-CM2-SR5	25.5	0.20	0.90	0.22	-2.26
CNRM-CM6-1 f2	23	0.20	0.90	0.22	-2.26	CNRM-CM6-1-HR f2	29	0.19	0.95	0.20	-2.44
CNRM-ESM2-1 f2	27	0.19	0.95	0.20	-2.44	CNRM-CM6-1 f2	9	0.29	0.56	0.25	-1.07
EC-Earth3-Veg	12.5	0.24	0.67	0.23	-1.49	CNRM-ESM2-1 f2	8	0.25	0.67	0.27	-1.46
EC-Earth3	18.5	0.25	0.66	0.13	-1.46	EC-Earth3-Veg	4	0.31	0.69	0.35	-1.29
FGOALS-f3-L	2	0.31	0.69	0.35	-1.29	EC-Earth3	12	0.24	0.67	0.23	-1.49
FGOALS-g3	39	0.08	2.15	-0.34	-7.48	FGOALS-f3-L	41	0.08	2.15	-0.34	-7.48
FIO-ESM-2-0	37	0.13	1.61	0.18	-4.63	FGOALS-g3	39	0.13	1.61	0.18	-4.63
GFDL-CM4	18.5	0.19	1.03	0.27	-2.54	FIO-ESM-2-0	20	0.19	1.03	0.27	-2.54
GFDL-ESM4	18.5	0.20	0.94	0.25	-2.29	GFDL-CM4	18	0.20	0.95	0.27	-2.27
GISS-E2-1-G p1	4	0.43	0.35	0.29	-0.31	<b>GFDL-ESM4</b>	<b>1</b>	<b>0.45</b>	<b>0.38</b>	<b>0.36</b>	<b>-0.29</b>
GISS-E2-1-G p3	15	0.23	0.88	0.29	-2.02	GISS-E2-1-G p1	19	0.21	0.87	0.24	-2.05
HadGEM3-GC31-LL f3	6.5	0.26	1.05	0.48	-2.10	GISS-E2-1-G p3	5	0.31	0.57	0.33	-1.03
HadGEM3-GC31-MM f3	8.5	0.23	1.16	0.46	-2.41	HadGEM3-GC31-LL f3	6.5	0.26	1.05	0.48	-2.10
INM-CM4-8	29.5	0.18	0.98	0.19	-2.53	HadGEM3-GC31-MM f3	10.5	0.23	1.16	0.46	-2.41
INM-CM5-0	22	0.23	0.80	0.22	-1.89	INM-CM4-8	28	0.18	0.99	0.21	-2.55
IPSL-CM6A-LR	31	0.15	1.33	0.22	-3.64	INM-CM5-0	22.5	0.23	0.80	0.22	-1.89
MCM-UA-1-0	8.5	0.23	0.80	0.33	-1.74	IPSL-CM6A-LR	38	0.15	1.30	0.17	-3.56
MIROC-ES2L f2	29.5	0.14	1.46	0.25	-4.00	MCM-UA-1-0	10.5	0.23	0.80	0.33	-1.74
MIROC6	25	0.23	0.73	0.18	-1.71	MIROC-ES2L f2	32.5	0.14	1.46	0.23	-4.04
MPI-ESM1-2-HR	16	0.21	0.88	0.28	-2.10	MIROC6	25.5	0.23	0.73	0.18	-1.71
MPI-ESM1-2-LR	1	0.36	0.75	0.39	-1.26	MPI-ESM1-2-HR	31	0.14	1.44	0.23	-4.02
MRI-ESM2-0	4	0.35	0.76	0.46	-1.25	MPI-ESM1-2-LR	17	0.21	0.88	0.28	-2.10
NESM3	25	0.19	0.94	0.22	-2.36	MRI-ESM2-0	2.5	0.35	0.76	0.46	-1.25
NorESM2-LM	4	0.35	0.76	0.46	-1.25	NESM3	25.5	0.19	0.94	0.22	-2.36
NorESM2-MM	32	0.19	0.95	0.18	-2.40	NorESM2-LM	2.5	0.35	0.76	0.46	-1.25
UKESM1-0-LL f2	25	0.19	0.94	0.22	-2.36	NorESM2-MM	32.5	0.19	0.96	0.17	-2.44
						UKESM1-0-LL f2	25.5	0.19	0.94	0.22	-2.36

Asi mismo, en la Figura 12 se tiene el diagrama de Taylor para la cuenca huancane donde se puede apreciar que el mejor modelo es para el modelo GFDL-ESM4 que está representando por el color marrón claro y está más cercano a la data observada con una correlación que varía de 0.6 a 0.8 y una diferencia media cuadrática (RMS) que varía de 50 a 100. VER ANEXO C, H e I

### Figura 12

*Diagrama de Taylor de la cuenca Huancané*



Al realizar este procedimiento se puede corroborar la fidelidad de este procedimiento y poder obtener un resumen con los 10 mejores modelos de circulación global para cada unidad hidrográfica de la vertiente del Titicaca para los escenarios de SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

**Tabla 7**

*Resumen de los 10 mejores GCM para el escenario SSP2-4.5*

	<b>Cuenca Ilpa</b>	<b>Cuenca Callacame</b>	<b>Inter cuenca 0155</b>	<b>Inter cuenca 0157</b>	<b>Inter cuenca 0175</b>	<b>Inter cuenca 0171</b>
1	MRI-ESM2-0	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p3	CNRM-CM6-1-HR f2	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0
2	NorESM2-LM	NESM3	NESM3	MRI-ESM2-0	NorESM2-LM	NorESM2-LM
3	MIROC6	UKESM1-0-LL f2	UKESM1-0-LL f2	NorESM2-LM	MIROC6	MIROC6
4	FGOALS-f3-L	CNRM-CM6-1-HR f2	MRI-ESM2-0	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p3	FGOALS-f3-L
5	GISS-E2-1-G p3	MRI-ESM2-0	NorESM2-LM	NESM3	MCM-UA-1-0	CNRM-CM6-1-HR f2
6	MPI-ESM1-2-LR	NorESM2-LM	CNRM-CM6-1-HR f2	UKESM1-0-LL f2	MPI-ESM1-2-HR	MCM-UA-1-0
7	MCM-UA-1-0	ACCESS-CM2	MCM-UA-1-0	MIROC6	FGOALS-f3-L	MPI-ESM1-2-HR
8	HadGEM3-GC31-LL f3	INM-CM4-8	ACCESS-CM2	GISS-E2-1-G p1	HadGEM3-GC31-LL f3	GISS-E2-1-G p3
9	MPI-ESM1-2-HR	GISS-E2-1-G p1	AWI-CM-1-1-MR	INM-CM4-8	MPI-ESM1-2-LR	MPI-ESM1-2-LR
10	AWI-CM-1-1-MR	MCM-UA-1-0	CESM2-WACCM	MCM-UA-1-0	CNRM-CM6-1-HR f2	AWI-CM-1-1-MR
	<b>Inter cuenca 0173</b>	<b>Inter cuenca Ramis</b>	<b>Cuenca Ilave</b>	<b>Cuenca Coata</b>	<b>Cuenca Azángaro</b>	<b>Cuenca Mauri Chico</b>
1	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0	CNRM-CM6-1-HR f2	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0	GISS-E2-1-G p3
2	NorESM2-LM	NorESM2-LM	GISS-E2-1-G p1	NorESM2-LM	NorESM2-LM	NESM3
3	MIROC6	MIROC6	GISS-E2-1-G p3	MIROC6	GISS-E2-1-G p1	UKESM1-0-LL f2
4	FGOALS-f3-L	FGOALS-f3-L	MRI-ESM2-0	FGOALS-f3-L	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0
5	MCM-UA-1-0	CNRM-CM6-1-HR f2	NorESM2-LM	GISS-E2-1-G p3	FGOALS-f3-L	NorESM2-LM
6	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p3	NESM3	MPI-ESM1-2-LR	HadGEM3-GC31-LL f3	ACCESS-CM2
7	MPI-ESM1-2-HR	AWI-CM-1-1-MR	UKESM1-0-LL f2	CNRM-CM6-1-HR f2	CAMS-CSM1-0	MCM-UA-1-0
8	MPI-ESM1-2-LR	MPI-ESM1-2-HR	MIROC6	MCM-UA-1-0	CESM2	CNRM-CM6-1-HR f2
9	CNRM-CM6-1-HR f2	MPI-ESM1-2-LR	MCM-UA-1-0	MPI-ESM1-2-HR	CESM2-WACCM	INM-CM5-0
10	AWI-CM-1-1-MR	MCM-UA-1-0	ACCESS-CM2	AWI-CM-1-1-MR	AWI-CM-1-1-MR	CESM2-WACCM
	<b>Cuenca Huancané</b>	<b>Cuenca Pucara</b>	<b>Cuenca Suches</b>	<b>Lago Titicaca</b>	<b>Lago Titicaca 1</b>	
1	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0	CNRM-CM6-1-HR f2	MIROC6	
2	FGOALS-f3-L	NorESM2-LM	NorESM2-LM	GISS-E2-1-G p1	MRI-ESM2-0	
3	GISS-E2-1-G p1	FGOALS-f3-L	GISS-E2-1-G p1	MRI-ESM2-0	NorESM2-LM	
4	MRI-ESM2-0	CNRM-CM6-1-HR f2	MPI-ESM1-2-LR	NorESM2-LM	CNRM-CM6-1-HR f2	
5	NorESM2-LM	MIROC6	FGOALS-f3-L	MIROC6	GISS-E2-1-G p3	
6	CESM2-WACCM	MCM-UA-1-0	HadGEM3-GC31-LL f3	FGOALS-f3-L	MCM-UA-1-0	
7	HadGEM3-GC31-LL f3	MPI-ESM1-2-LR	CESM2-WACCM	MCM-UA-1-0	NESM3	
8	HadGEM3-GC31-MM f3	GISS-E2-1-G p3	CESM2	GISS-E2-1-G p3	UKESM1-0-LL f2	
9	MCM-UA-1-0	MPI-ESM1-2-HR	CAMS-CSM1-0	MPI-ESM1-2-HR	GISS-E2-1-G p1	
10	CAMS-CSM1-0	HadGEM3-GC31-MM f3	HadGEM3-GC31-MM f3	MPI-ESM1-2-LR	AWI-CM-1-1-MR	

**Tabla 8**

*Resumen de los 10 mejores GCM para el escenario SSP5-8.5*

	<b>Cuenca Ilpa</b>	<b>Cuenca Callacame</b>	<b>Inter cuenca 0155</b>	<b>Inter cuenca 0157</b>	<b>Inter cuenca 0175</b>	<b>Inter cuenca 0171</b>
1	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p3
2	MRI-ESM2-0	NESM3	NESM3	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0
3	NorESM2-LM	UKESM1-0-LL f2	UKESM1-0-LL f2	NorESM2-LM	NorESM2-LM	NorESM2-LM
4	MIROC6	GISS-E2-1-G p1	GISS-E2-1-G p1	CNRM-CM6-1 f2	MIROC6	MIROC6
5	GFDL-ESM4	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0	GISS-E2-1-G p1	MCM-UA-1-0	EC-Earth3-Veg
6	EC-Earth3-Veg	NorESM2-LM	NorESM2-LM	GFDL-ESM4	HadGEM3-GC31-LL f3	GFDL-ESM4
7	MCM-UA-1-0	CNRM-CM6-1 f2	MCM-UA-1-0	NESM3	MPI-ESM1-2-LR	MCM-UA-1-0
8	MPI-ESM1-2-LR	ACCESS-CM2	ACCESS-CM2	UKESM1-0-LL f2	AWI-CM-1-1-MR	CNRM-CM6-1 f2
9	HadGEM3-GC31-LL f3	INM-CM4-8	AWI-CM-1-1-MR	MIROC6	EC-Earth3-Veg	MPI-ESM1-2-LR
10	AWI-CM-1-1-MR	GFDL-ESM4	CNRM-CM6-1 f2	MCM-UA-1-0	GFDL-ESM4	AWI-CM-1-1-MR
	<b>Inter cuenca 0173</b>	<b>Inter cuenca Ramis</b>	<b>Cuenca Ilave</b>	<b>Cuenca Coata</b>	<b>Cuenca Azángaro</b>	<b>Cuenca Mauri Chico</b>
1	GISS-E2-1-G p3	MRI-ESM2-0	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p3	GFDL-ESM4	GISS-E2-1-G p3
2	MRI-ESM2-0	NorESM2-LM	CNRM-CM6-1 f2	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0	NESM3
3	NorESM2-LM	GISS-E2-1-G p3	GFDL-ESM4	NorESM2-LM	NorESM2-LM	UKESM1-0-LL f2
4	MIROC6	GFDL-ESM4	MRI-ESM2-0	MIROC6	EC-Earth3-Veg	MRI-ESM2-0
5	GFDL-ESM4	MIROC6	NorESM2-LM	EC-Earth3-Veg	HadGEM3-GC31-LL f3	NorESM2-LM
6	MCM-UA-1-0	EC-Earth3-Veg	GISS-E2-1-G p1	GFDL-ESM4	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p1
7	EC-Earth3-Veg	MCM-UA-1-0	MIROC6	MCM-UA-1-0	CAMS-CSM1-0	ACCESS-CM2
8	AWI-CM-1-1-MR	AWI-CM-1-1-MR	NESM3	MPI-ESM1-2-LR	KACE-1-0-G	MCM-UA-1-0
9	MPI-ESM1-2-LR	MPI-ESM1-2-LR	UKESM1-0-LL f2	CNRM-CM6-1 f2	CanESM5-CanOE p2	CESM2
10	HadGEM3-GC31-LL f3	CNRM-CM6-1 f2	MCM-UA-1-0	AWI-CM-1-1-MR	CESM2	CNRM-CM6-1 f2
	<b>Cuenca Huancané</b>	<b>Cuenca Pucara</b>	<b>Cuenca Suches</b>	<b>Lago Titicaca</b>	<b>Lago Titicaca 1</b>	
1	GFDL-ESM4	GISS-E2-1-G p3	GFDL-ESM4	GISS-E2-1-G p3	GISS-E2-1-G p3	
2	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0	GFDL-ESM4	MIROC6	
3	NorESM2-LM	NorESM2-LM	NorESM2-LM	CNRM-CM6-1 f2	MRI-ESM2-0	
4	EC-Earth3-Veg	GFDL-ESM4	EC-Earth3-Veg	MRI-ESM2-0	NorESM2-LM	
5	GISS-E2-1-G p3	EC-Earth3-Veg	GISS-E2-1-G p3	NorESM2-LM	CNRM-CM6-1 f2	
6	CESM2	MCM-UA-1-0	CESM2	MIROC6	MCM-UA-1-0	
7	HadGEM3-GC31-LL f3	MIROC6	HadGEM3-GC31-LL f3	MCM-UA-1-0	GISS-E2-1-G p1	
8	CNRM-ESM2-1 f2	MPI-ESM1-2-LR	CAMS-CSM1-0	EC-Earth3-Veg	GFDL-ESM4	
9	CNRM-CM6-1 f2	CNRM-CM6-1 f2	CanESM5-CanOE p2	AWI-CM-1-1-MR	NESM3	
10	HadGEM3-GC31-MM f3	HadGEM3-GC31-LL f3	KACE-1-0-G	GISS-E2-1-G p1	UKESM1-0-LL f2	

En base a los resúmenes obtenidos para ambos escenarios se puede establecer los 10 mejores GCM de la Tabla 9 en las 17 unidades hidrográficas de

la vertiente del Titicaca bajo los dos escenarios de emisión de SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

**Tabla 9**

*Modelos CMIP6 representativos de la vertiente hidrográfica del Titicaca*

SSP2-4.5	SSP5-8.5
CNRM-CM6-1-HR f2	AWI-CM-1-1-MR
FGOALS-f3-L	CNRM-ESM2-1_f2
GISS-E2-1-G p1	EC-Earth3-Veg
GISS-E2-1-G p3	GFDL-ESM4
MCM-UA-1-0	GISS-E2-1-G p3
MIROC6	MCM-UA-1-0
MPI-ESM1-2-HR	MIROC6
MPI-ESM1-2-LR	MPI-ESM1-2-LR
MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0
NorESM2-LM	NorESM2-LM

#### 4.1.3. Reducción de escala para los GCM

El propósito de la reducción de escala es producir la información y proyecciones climáticas que se pueden utilizar para evaluar los impactos de la variabilidad y el cambio climático en sistemas humanos y naturales cuyos procesos operan en escalas espaciales y/o temporales más finas que un modelo global típico. Para este caso se realizó la reducción de escala estadístico para los 10 mejores modelos GCM en las 17 unidades hidrográficas de la vertiente del Titicaca, considerando la variable precipitación para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, utilizando la metodología de Quantile Mapping (Mapeo de cuantiles) que utiliza la función de densidad de probabilidades completa, cuyo objetivo



principal es garantizar que los valores extremos estén representados adecuadamente donde se ajusta los percentiles es decir se ajusta la distribución de probabilidades adimensionales y simplemente se aplica al futuro.

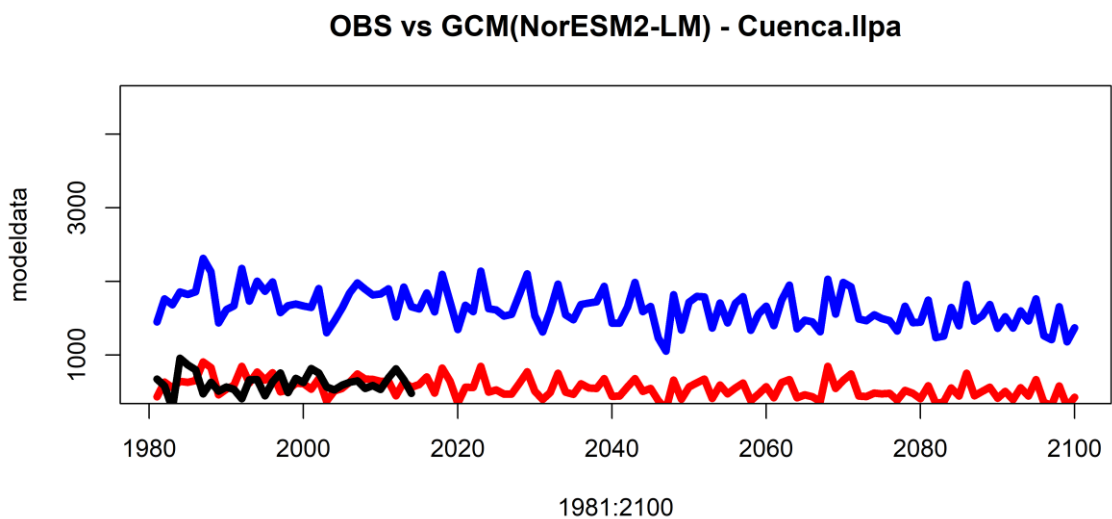
Las incertidumbres de la información son recurrentes ya que los modelos pueden generar datos modelados incoherentes. El mejor escenario es que las salidas de un proceso de reducción de escala de los modelos de circulación general sean iguales a los datos observados, pero generalmente eso no ocurre por lo que se recurre al uso de métricas para evaluar el grado de habilidad de cada uno de los GCM.

Según Gutiérrez (2001) para regionalizar los escenarios globales de cambio climático es ideal tener una variabilidad climática de la zona de estudio. Por ello la reducción de escala es un objetivo de prioridad para todos los programas ya sea internacionales y naciones de cambio climático. Además, se utiliza modelos que simulan la dinámica del sistema climático como la atmosfera, hidrosfera, entre otros, bajo escenarios de emisión que caracterizan la evolución futura de factores climáticos futuros, incluidos los factores antropogénicos como los gases de efecto invernadero. Este problema ha cobrado fuerte interés en los últimos años por lo que se lleva a cabo estudios de impacto y planes de adaptación de manera adecuada.

En la Figura 13, se observa la reducción de escala estadístico para la cuenca Ilpa en un periodo de 1981 – 2100 respecto a pisco para un periodo de 1981 – 2014. VER ANEXO J.

**Figura 13**

*Reducción de escala para la cuenca Ilpa*



#### **4.2. ESTIMACION DE CAMBIOS RESPECTO A PISCO**

En la actualidad las características de los fenómenos climáticos extremos y sus cambios de intensidad, duración y número de eventos son evaluados por índices climáticos. Estos índices generalmente se analizan mediante un cierto umbral que pueden estar por encima o debajo. Para esta investigación se consideró la mínima (percentil 5), la mediana (percentil 50) y la máxima (percentil 95). Estos índices representan variabilidad en cuanto a precipitación a escala temporal que podría ser aplicable en diferentes regiones a escala global que permite generar hipótesis acerca de las condiciones climáticas actuales y sus principales causantes.

Primero, para esta investigación se tomó los 10 mejores modelos de circulación general ya con la reducción de escala correspondiente.

Segundo, se aplicó la metodología de los índices del P5, P50 y P95. De esta manera se obtuvo valores mínimos, la mediana y los máximos para cada una de las unidades hidrográficas de la vertiente del Titicaca. VER ANEXO K.

**Tabla 10**

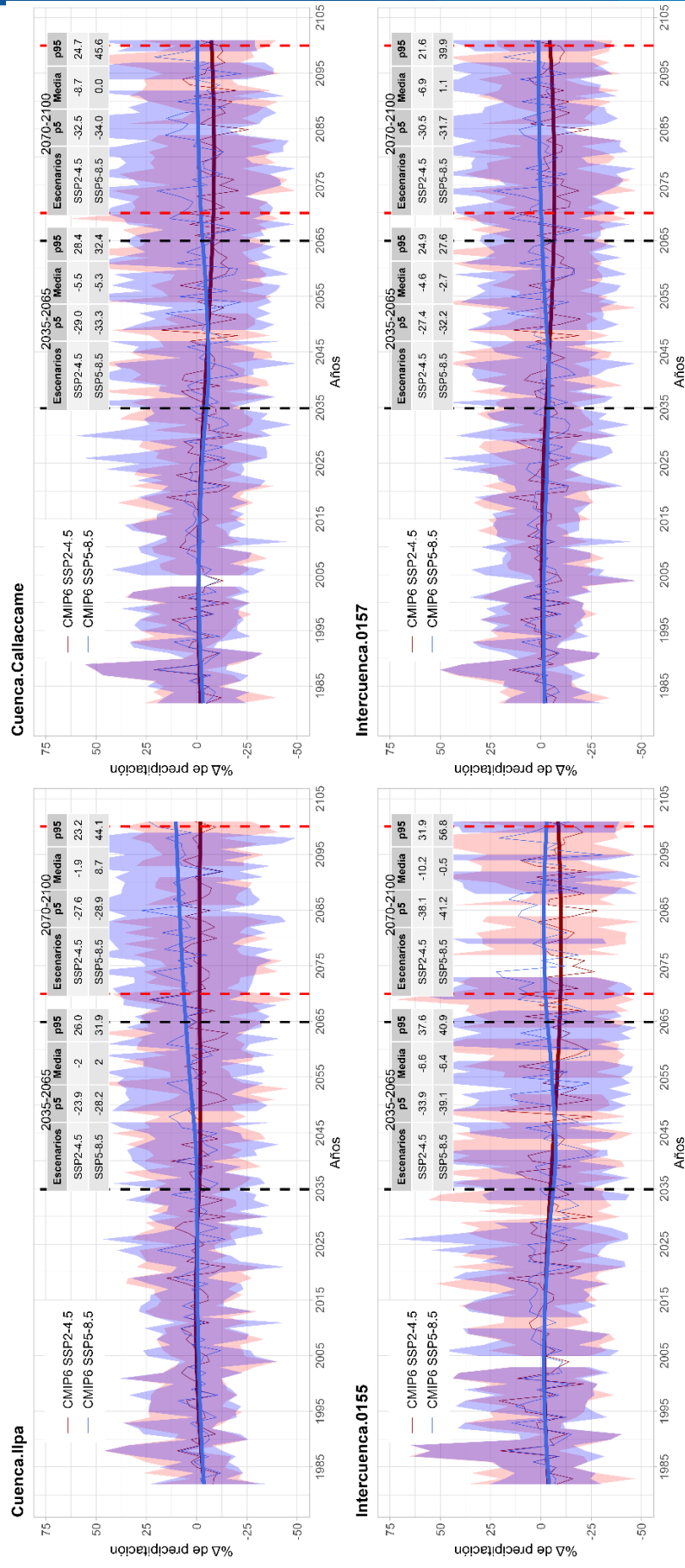
*Resumen de los proyecciones mínima, mediana y máxima para un futuro cercano y lejano para ambos escenarios en todas las unidades hidrográficas de la vertiente del Titicaca*

CUENCA	Escenario SSP245						Escenario SSP585					
	PERIODO 2035 - 2065			PERIODO 2070 - 2100			PERIODO 2035 - 2065			PERIODO 2070 - 2100		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95
Cuenca Iipa	-23.9	-2.0	26.0	-27.6	-1.9	23.2	-28.2	2.0	31.9	-28.9	8.7	44.1
Cuenca Callacame	-29.0	-5.5	28.4	-32.5	-8.7	24.7	-33.3	-5.3	32.4	-34.0	0.0	45.6
Inter cuenca 0155	-33.9	-6.6	37.6	-38.1	-10.2	31.9	-39.1	-6.4	40.9	-41.2	-0.5	56.8
Inter cuenca 0157	-27.4	-4.6	24.9	-30.5	-6.9	21.6	-32.2	-2.7	27.6	-31.7	1.1	39.9
Inter cuenca 0175	-23.7	-1.4	26.2	-27.4	-1.6	24.3	-28.1	3.0	31.8	-26.7	9.6	44.5
Inter cuenca 0171	-23.0	-1.3	28.0	-26.1	-1.6	25.1	-27.1	2.7	33.2	-26.3	9.6	47.2
Inter cuenca 0173	-24.1	-1.8	25.6	-27.5	-1.9	23.0	-28.5	2.4	30.8	-27.5	8.9	42.7
Inter cuenca Ramis	-21.7	-2.2	23.2	-25.2	-2.3	20.2	-25.7	1.9	27.4	-25.5	8.0	38.6
Cuenca Ilave	-29.8	-4.5	27.4	-33.3	-7.0	23.5	-35.2	-3.0	30.8	-35.3	0.6	43.3
Cuenca Coata	-23.6	-2.0	25.2	-27.8	-2.4	22.4	-27.6	2.1	31.0	-28.2	8.4	42.6
Cuenca Azángaro	-15.5	1.5	20.6	-18.1	0.1	24.8	-19.5	-1.6	26.2	-20.4	4.7	48.3
Cuenca Mauri Chico	-33.8	-6.0	35.0	-37.7	-9.8	29.8	-38.8	-6.3	38.8	-40.0	-0.2	54.7
Cuenca Huancané	-17.5	0.0	21.6	-21.5	-0.2	21.7	-20.8	0.2	24.8	-21.0	8.1	39.8
Cuenca Pucara	-19.5	-1.7	23.0	-23.3	-1.8	20.2	-22.9	1.3	26.9	-22.6	8.2	37.8
Cuenca Suches	-17.5	0.8	22.2	-20.6	0.0	24.3	-21.3	-1.5	25.9	-21.8	6.2	45.7
Lago Titicaca	-23.5	-1.6	24.5	-26.6	-1.7	21.7	-27.6	2.4	29.2	-26.9	8.1	39.8
Lago Titicaca 1	-26.7	-3.1	24.5	-30.0	-4.9	22.4	-31.4	-0.4	28.6	-29.4	5.5	39.8



**Figura 14**

*Proyecciones de precipitación para un futuro cercano y lejano para ambos escenarios en las cuencas Ilpa, Callaccame, Inter cuencas 0155 y 0157*



En la Figura 14, se presenta proyecciones mínima, mediana y máxima de un futuro cercano y lejano para ambos escenarios de emisión para 4 unidades hidrográficas. Así mismo en la Tabla 10 se presenta un resumen del percentil 5, 50 y 95 para todas las unidades hidrográficas de la vertiente del Titicaca.

#### 4.3. ANALISIS DE SEQUIAS PROYECTADAS EN CAMBIO CLIMATICO

El SPI es un índice sencillo de calcular, el único parámetro que necesita para su cálculo es la precipitación. Además, están efectivo para analizar los periodos y ciclos húmedos y secos, idealmente habría que disponer de un mínimo de 20 y 30 años de valores mensuales de precipitación, puesto que lo óptimo sería contar con 50 y 60 años o en mejor de los casos más, este programa se puede efectuar sin todos los datos pero afectaría la fiabilidad de los resultados (Mckee et al., 1993).

Según Mckee (1993) utilizaron un sistema para clasificar los valores del SPI en la Tabla 11, que define las distintas intensidades de la sequía según los valores de SPI. Además, los episodios de sequía tienen lugar siempre que el SPI sea continuamente negativo y alcance una intensidad de -1,0 o inferior, finaliza cuando el SPI alcanza valores positivos.

**Tabla 11**

*Categorías de Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)*

Valores de SPI	Clasificación
2,0 y mas	Extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	Muy húmedo
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	Normal o aprox normal
-1,0 a 1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Severamente seco
-2 y menos	Extremadamente seco

Además, permite comparar los resultados de sequías históricas y actuales mediante una normalización que el SPI determine la rareza de una sequía actual y la probabilidad de la precipitación necesaria para que finalice la sequía como se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Probabilidad de recurrencia*

SPI	Categoría	Número de veces en 100 años	Severidad del episodio
0 a -0,99	Sequia leve	33	1 en 3 años
-1,00 a -1,49	Sequia moderada	10	1 en 10 años
-1,5 a -1,99	Sequia severa	5	1 en 20 años
<-2,0	Sequia extrema	2,5	1 en 50 años

#### 4.3.1. Sequías proyectadas GCM (SPI – 3)

El SPI de 3 meses ofrece una comparación de la precipitación a lo largo de un periodo de 3 meses de todos los años incluyendo el registro histórico para el periodo I del 2035 – 2065 y el periodo II del 2070 – 2100, para ello se utilizó los promedios mínimo, medio y máximo de los 10 modelos seleccionados para cada uno de los escenarios de emisión SSP2-4.5 y SSP5-8.5. El análisis de sequías se simuló para las 17 cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca en cada periodo y escenario de emisión.



- **Periodo (2035 – 2065) y (2070 – 2100) para SSP2-4.5**

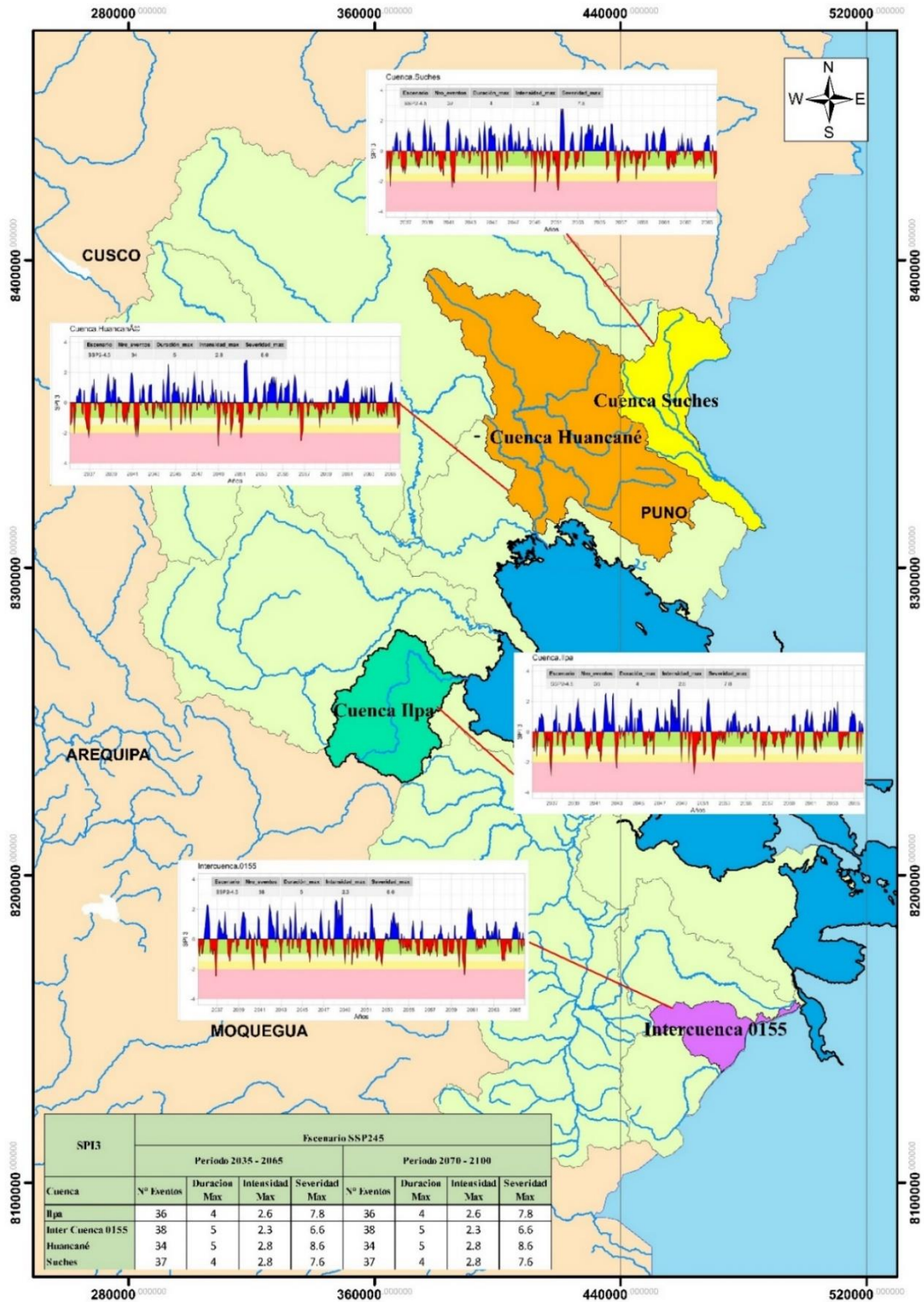
La Figura 15, nos muestra los resultados posibles de sequías proyectadas para el primer periodo; donde se evidencia el escenario de emisión SSP2-4.5 que da resultados significativos en la cuenca Ilpa en los años 2037 y 2050 con una sequía extrema ya que los valores son  $<-2,0$ . Mientras que en la Inter cuenca 0155 en los años 2037 – 2060 se presenta una sequía extrema y en los años 2040, 2052 y 2059 una sequía severa ya que los valores oscilan de -1,55 a -1,99. Así mismo, se muestra en la cuenca Huancané una sequía extrema en los años 2073, 2077, 2085, 2089, 2091 y 2100 ya que los valores son  $<-2,0$ . Además se tiene varias probabilidades de ocurrencia a una sequía severa en diversos años para este periodo.

Mientras que en la cuenca Suches se tiene para 3 años (2089, 2091 y 2100) una sequía extrema con una duración máxima de 4 meses con un total de 34 eventos posibles.

**Figura 15**

*Series de SPI3 para el periodo 2035 - 2065 para la Inter cuenca 0155 Cuenca*

*Huancané, Suches e Ilpa*



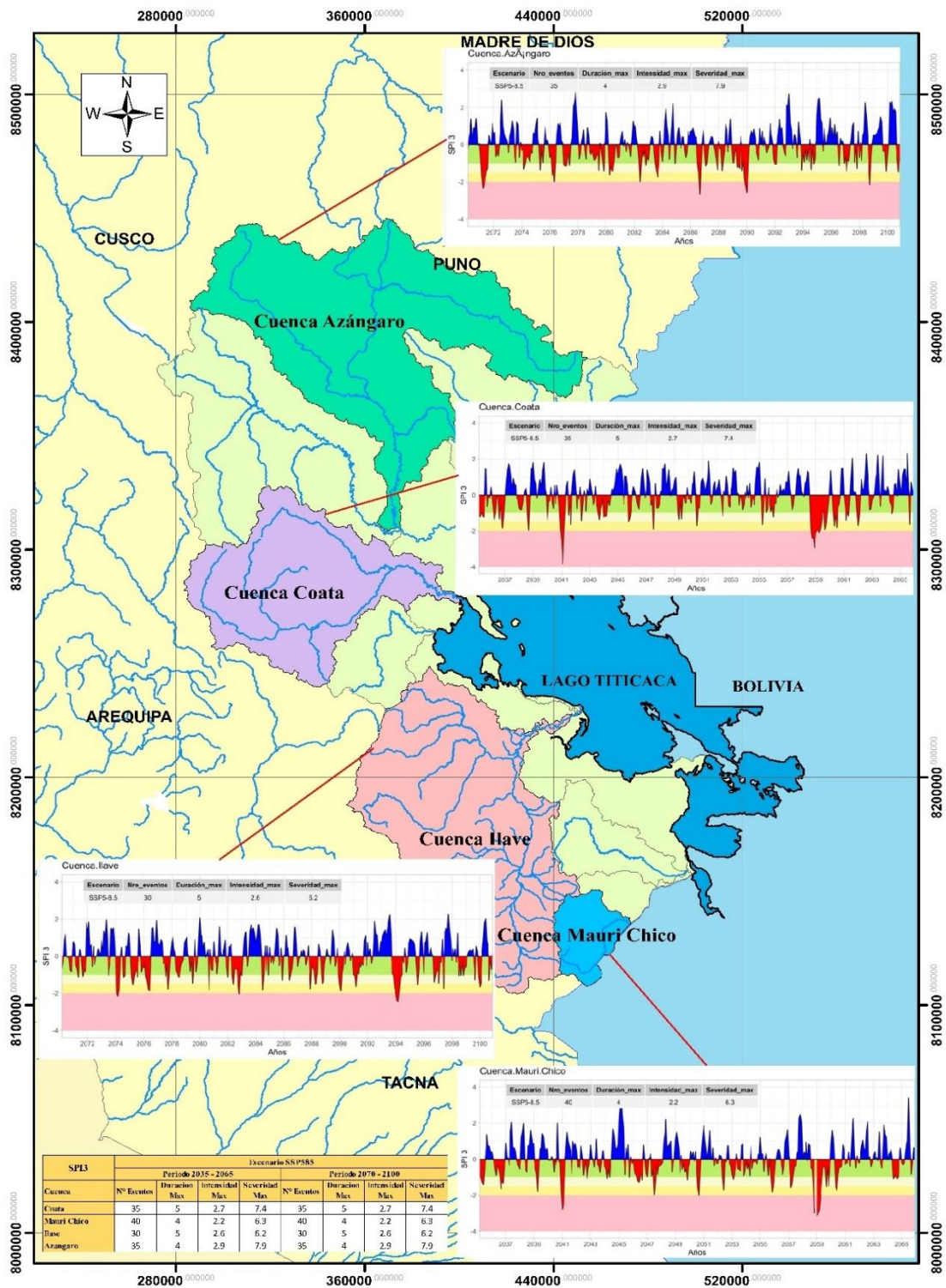


- **Periodo (2035 – 2065) y (2070 – 2100) para SSP5-8.5**

La Figura 16, nos muestra los resultados posibles de sequías proyectadas para el primer periodo; donde se evidencia el escenario de emisión SSP5-8.5 que da resultados significativos en la cuenca Coata donde presenta una sequía extrema preocupante en el año 2041 puesto que el valor casi llega al  $-4,0$ . Mientras que en la cuenca Mauri Chico se tiene eventos con duraciones mínimas en los años 2041 y 2059 pero con sequías extremas posibles. Además, las cuencas Ilave y Azángaro en un escenario de emisión de SSP5-8.5; donde puede observar que para la cuenca Ilave se tiene una sequía extrema en el año 2094 con valor  $<-2,0$  con una duración máxima de 5 meses y 30 posibles eventos. Así mismo, en la cuenca Azángaro se muestra una sequía extrema en los años 2071, 2086 y 2090. También presenta una sequía severa en los años 2076, 2082 y 2083. En los años 2093 y 2098 se presenta extremadamente húmedo con valores que oscilan de 2,0 y más.

**Figura 16**

*Series de SPI3 para el periodo 2070 – 2100 para la Cuenca Ilave y Cuenca Azángaro*





#### 4.3.2. Sequias proyectadas GCM (SPI – 6)

El SPI de 6 meses compara la precipitación de ese mismo periodo con periodo de 6 meses del registro histórico. Además, indica tendencias de precipitación estacional de manera muy eficaz también podría reflejar caudales fluviales y niveles de almacenamiento anómalos en función a la región y época del año.

- **Periodo (2035 – 2065) y (2070 – 2100) para SSP2-4.5**

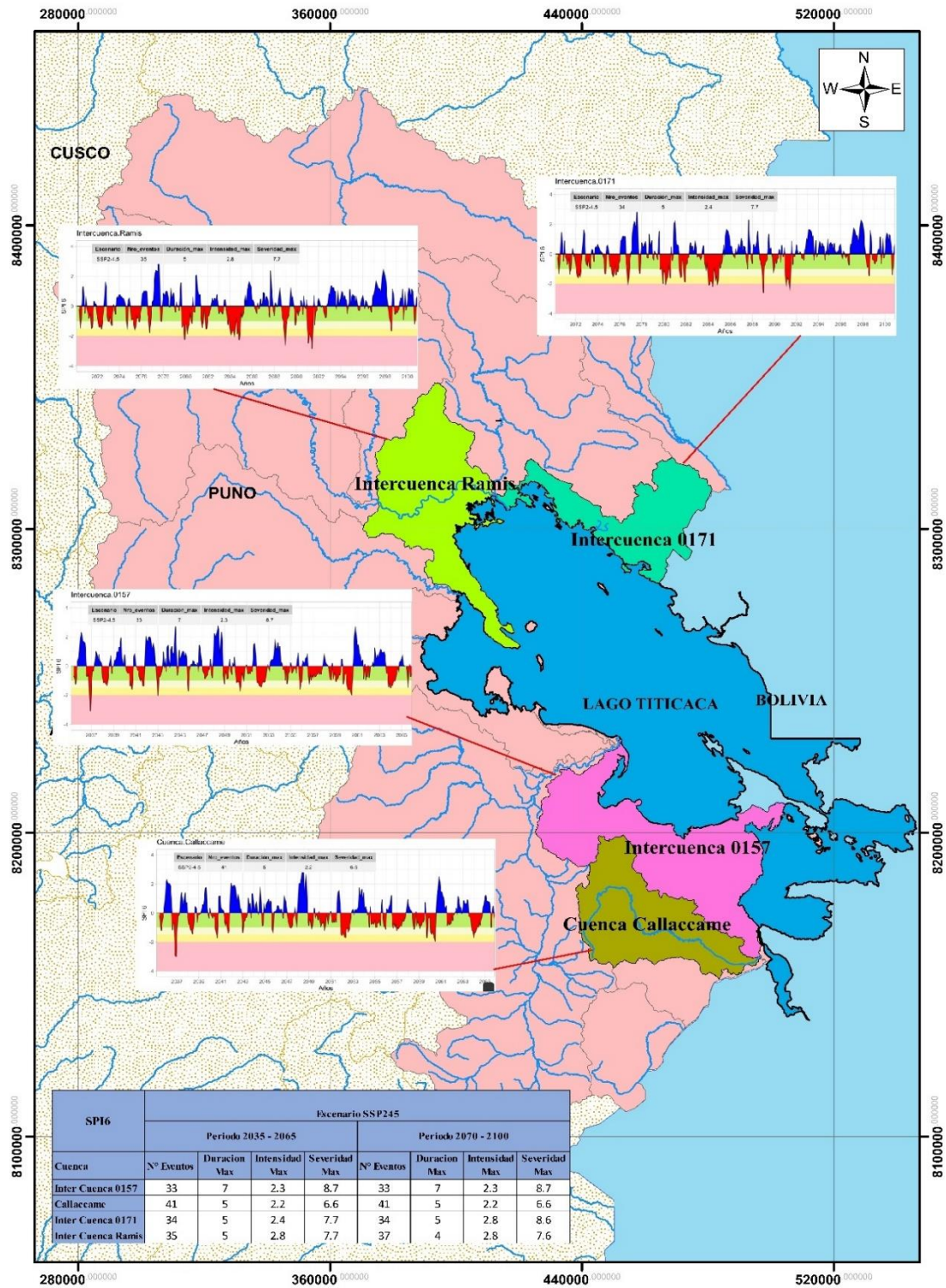
La Figura 17, nos muestra un posible evento de sequía extrema en la cuenca Callaccame en el año 2036 y en la Inter cuenca 0157 en el mismo año. Además, nos muestra picos de sequía extrema en los años 2089 y 2091 en la Inter cuenca 0171 porque sus valores oscilan  $<-2,0$  también muestra un pico de interés en el año 2077 pero con una duración leve de extremadamente húmedo.

Así mismo en la Inter cuenca Ramis se tiene eventos de sequía extrema en los años 2089 y 2091, mientras que, en los años 2077, 2081, 2087 y 2098 se muestra eventos extremadamente húmedos con 34 posibles eventos.



**Figura 17**

*Series de SPI6 para el periodo 2070 – 2100 para la Inter Cuenca 0171 y Inter Cuenca Ramis*





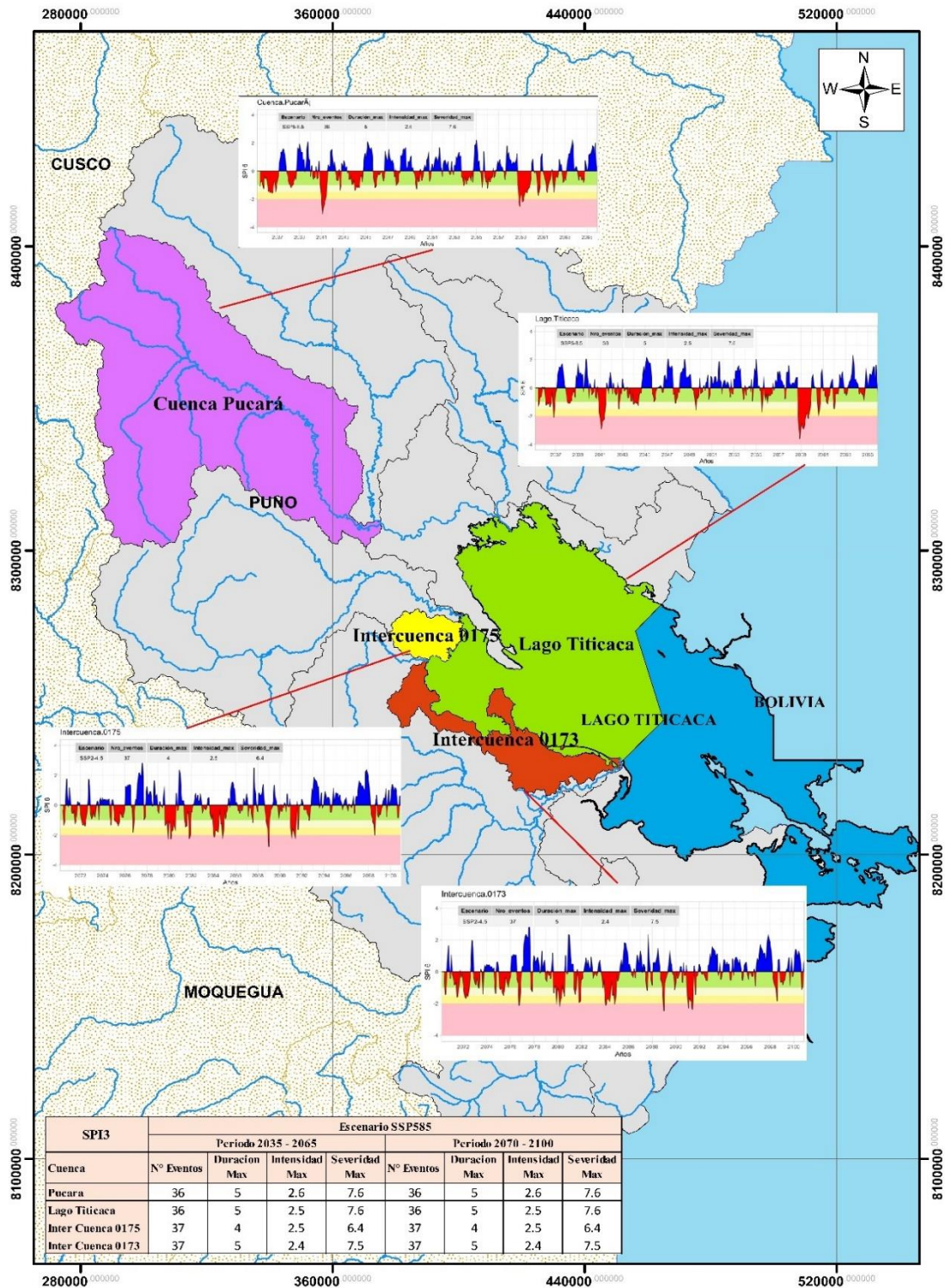
- **Periodo (2035 – 2065) y (2070 – 2100) para SSP5-8.5**

En la Figura 18, se puede apreciar un importante evento de sequía extrema en el año 2041 en la cuenca Pucara, además en la mayoría de eventos presenta sequia moderada, así como eventos extremadamente húmedos con 36 posibles eventos y una duración de 5 meses como máximo.

En la cuenca del Lago Titicaca se presenta una sequía extrema en el año 2059 porque su valor es  $<-2,0$ . Además, se aprecia los resultados de dos Inter cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca donde se aprecia una sequía severa en diferentes años como 2071, 2075, 2076, 2083, 2086 y 2098. Además, se presenta eventos extremadamente húmedos en los años 2077, 2080, 2084 y 2087 con 37 posibles números de eventos.

**Figura 18**

*Series de SPI6 para el periodo 2070 – 2100 para la Inter Cuenca 0175 y Inter Cuenca 0173*





### 4.3.3. Sequias proyectadas GCM (SPI – 12)

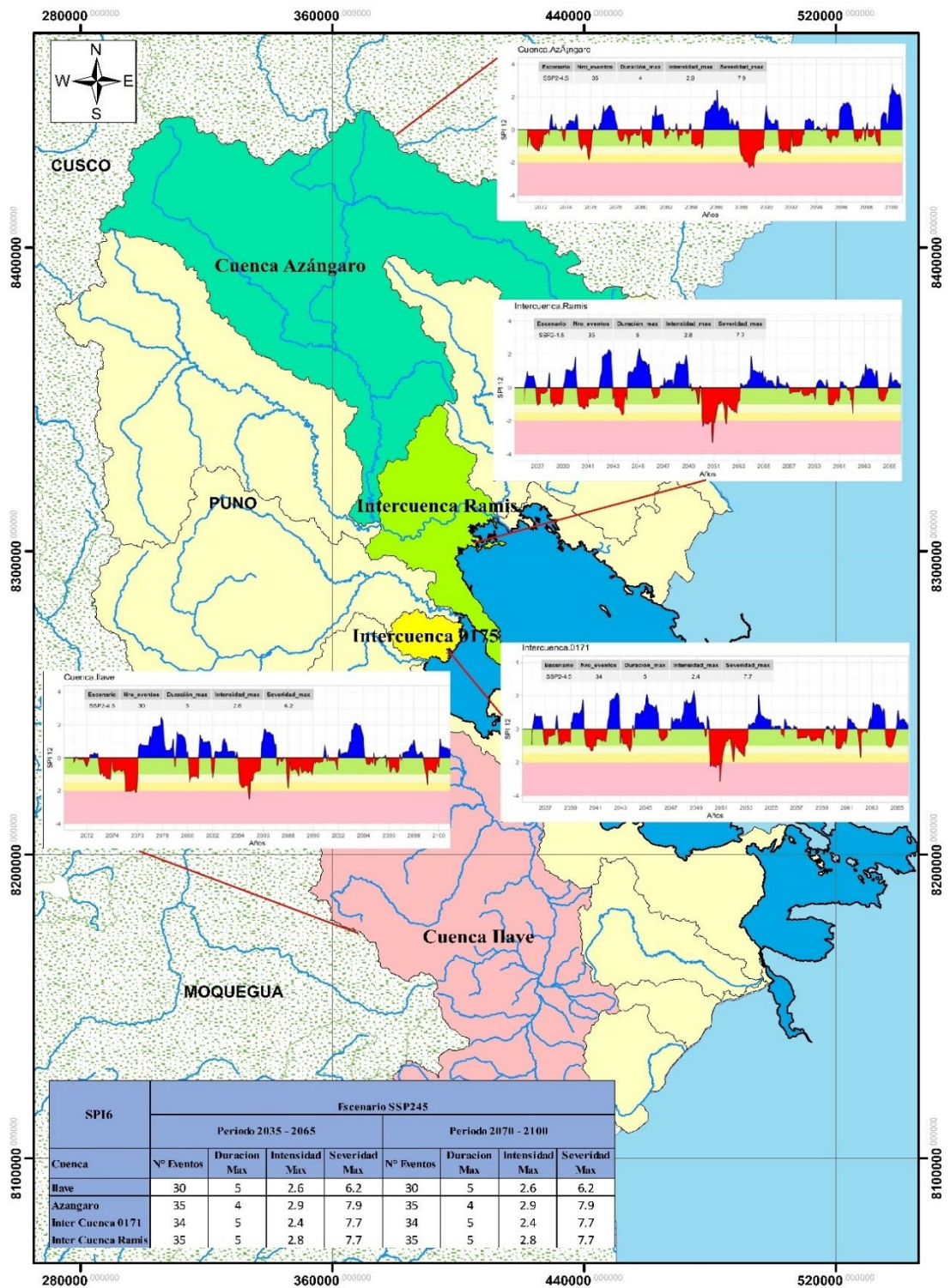
Un SPI de 12 meses es una comparación de la precipitación de 12 meses consecutivos de todos los registros de datos históricos, este SPI es el que más se relaciona con el Índice de Palmer ya que refleja condiciones parecidas.

- **Periodo (2035 – 2065) y (2070 – 2100) para SSP2-4.5**

En la Figura 19, las series de tiempo SPI12 son más suaves con sequias menores frecuentes y más largas como se muestra en la Inter cuenca 0171 que dura desde el año 2050 a 2053 aproximadamente con un evento de sequía extrema. Además, se presenta eventos extremadamente húmedos en los años 2044 y 2047. Así mismo, se muestra la cuenca Ilave en la mayoría de los años con sequias extremas y más prolongadas y con un importante evento extremadamente húmedo que va desde el año 2076 hasta 2078 que varía de 1 a más de 2. Por otro lado, en la cuenca Azángaro se muestra un evento de sequía extrema en el año 2088 a 2090.

**Figura 19**

*Series de SPI12 para el periodo 2070 – 2100 para la Cuenca Ilave y Cuenca Azángaro*



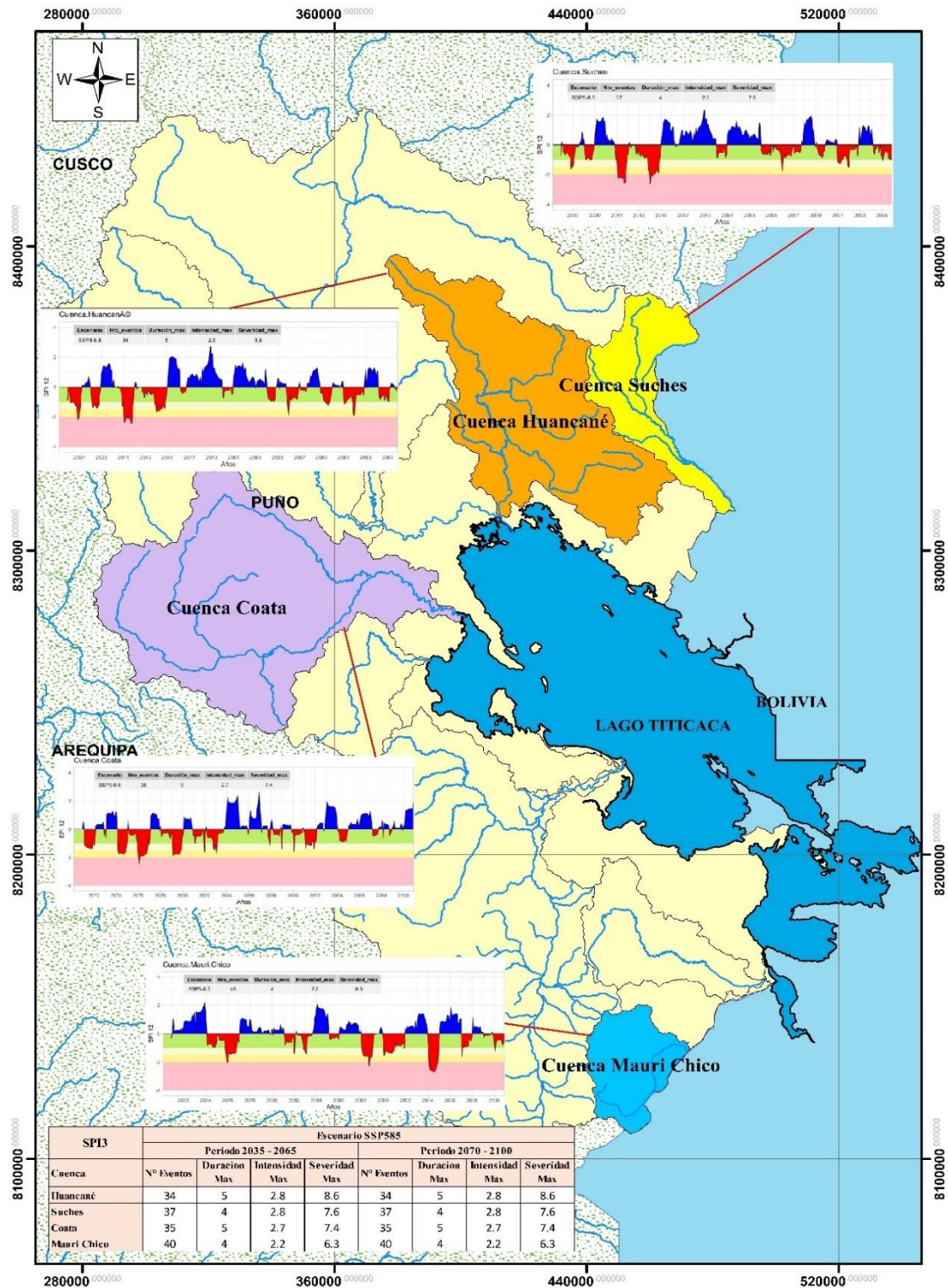


- **Periodo (2035 – 2065) y (2070 – 2100) para SSP5-8.5**

En la Figura 20, se observa las series de SPI12 para un periodo 2035 – 2065 en las cuencas Huancané y Suches para un SSP5-8.5 con un evento de sequía extrema en el año 2041 porque oscila  $<-2.0$  con una duración de 4 meses aproximadamente, además con un promedio de 34 – 37 posibles eventos. Además, se presenta las series de SPI12 para un periodo de 2070 – 2100 en las cuencas Coata y Mauri Chico con presencia de eventos severos en la mayoría de los años y con una duración aproximada de 4 – 5 meses. Además, solo se nota la presencia de un evento de sequía extrema en el año 2094 para la cuenca Mauri – Chico  $<-2.0$ .

**Figura 20**

*Series de SPI12 para el periodo 2070 – 2100 para la Cuenca Coata y Cuenca Mauri Chico*



#### 4.4. CARACTERIZACION DE SEQUIAS EN TERMINOS DE SU DURACION, INTENSIDAD Y SEVERIDAD

##### 4.4.1. Caracterización de las sequias proyectadas para el SPI 3

Los cambios porcentuales (%) en las métricas de sequía promedio para SPI3 con respecto a 1981 – 2014 (PISCO) bajo escenarios SSP2-4.5 y SSP2-8.5, para los periodos 2035 – 2065 y 2070 – 2100 para severidad, intensidad, duración y eventos.

Se observa que los cambios esperados en la precipitación son muy variados, sin embargo, se estima que en el escenario SSP2-4.5 para los dos periodos (2035 – 2065) y (2070 – 2100) una disminución de precipitación en la cuenca Azángaro tanto para severidad y duración que varía entre -80 a -40%. Mientras que para el escenario SSP5-4.8 se tiene una disminución de la precipitación en las Inter cuencas 0155, 0156, 0157, 0171 y las cuencas Pucara y Lago Titicaca que varía entre – 80 a -40 %. Además, en ambos periodos se puede observar un aumento de precipitación en la cuenca del Lago Titicaca en cuanto a su duración que varía de +40 a +80 %. En este mismo escenario de representación se muestra un aumento de precipitación en las Inter Cuencas 0156, 0157, 0173, 0175, 0179, 0178, 0171 y 0172 en cuanto a la severidad que varía de +40 a +160 bajo los dos periodos de tiempo.

En la Tabla 13, con respecto al SPI3, el mayor número de eventos de sequía corresponde al CMIP6 SSP2-4.5, 2035 – 2065; la mayor intensidad de sequía corresponde a CMIP6 SSP5-8.5, 2035 – 2065 en la cuenca Coata con -25.3 %; la mayor duración de sequía corresponde al CMIP6 SSP2-4.5, 2035 – 2065 en la cuenca Coata con -45.5% y la mayor severidad se presenta en CMIP6 SSP2-4.5,



2035 – 2065 en la cuenca Azángaro con -40.4%. Además, se presenta una buena precipitación en la cuenca del Lago Titicaca en el CMIP6 SSP5-8.5, 2035 – 2065 con 96.4%.

**Tabla 13**

*Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI3 para un futuro cercano (2035 - 2065) bajo los escenarios SSP245 y SSP585*

CUENCA	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3
	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5
	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065
	EVENTO S	DURACIÓ N	INTENSIDA D	SEVERIDA D	EVENTO S	DURACIÓ N	INTENSIDA D	SEVERIDA D
Cuenca Ilpa	-6.8	-12.5	-10.5	-23.8	-33.8	0.0	-13.1	30.9
Cuenca Callacame	-28.4	-25.0	-8.2	-2.0	-50.0	12.5	-6.0	71.5
Inter cuenca 0155	-24.4	-7.1	-18.7	-10.5	-43.6	28.6	-19.5	51.7
Inter cuenca 0157	-23.3	-25.0	1.1	-0.9	-53.5	18.8	-4.2	68.9
Inter cuenca 0175	-12.5	16.7	1.1	-8.9	-36.3	41.7	-12.9	64.1
Inter cuenca 0171	-28.9	7.1	23.6	39.0	-50.0	14.3	3.2	86.7
Inter cuenca 0173	-19.5	0.0	17.3	-3.1	-43.9	14.3	4.3	68.8
Inter cuenca Ramis	-21.4	0.0	9.7	7.2	-48.8	14.3	1.9	90.9
Cuenca Ilave	7.6	-18.8	-7.9	-8.7	-31.8	12.5	-11.0	48.2
Cuenca Coata	4.5	-18.8	-18.2	-26.9	-24.2	12.5	-25.3	23.2
Cuenca Azángaro	7.8	-45.5	43.4	-40.4	-29.7	-27.3	33.4	-21.2
Cuenca Mauri Chico	-10.0	-25.0	-19.3	-28.2	-38.6	12.5	-20.6	43.3
Cuenca Huancané	-8.1	-7.1	1.8	15.5	-33.8	14.3	2.2	51.1
Cuenca Pucara	-16.3	-12.5	-24.9	-33.9	-42.5	12.5	-24.1	1.0
Cuenca Suches	-8.1	-7.1	1.3	-0.5	-32.4	14.3	-4.8	27.5
Lago Titicaca	-26.1	40.0	27.9	5.7	-48.9	80.0	5.6	96.4
Lago Titicaca2	-26.1	16.7	8.5	20.9	-50.0	58.3	5.2	88.0

En la Tabla 14, con respecto al SPI3, el mayor número de eventos de sequía corresponde al CMIP6 SSP5-8.5, 2070 – 2100 en la Inter Cuenca 0171 con -44.4%, mayor intensidad en CMIP6 SSP5-8.5, 2070 – 2100 en la cuenca Coata con -24.9%, mayor severidad de sequía corresponde al CMIP6 SSP2-4.5, 2070 – 2100 en la cuenca Azángaro con -47.5% y la mayor duración de sequías corresponde al CMIP6 SSP2-4.5, 2070 – 2100 en la cuenca Azángaro con -45.5%.

Por otro lado, se puede notar la presencia de buena precipitación para el CMIP6 SSP5-8.5, 2070 – 2100 en la Inter cuenca Ramis con una severidad de 62.4%.

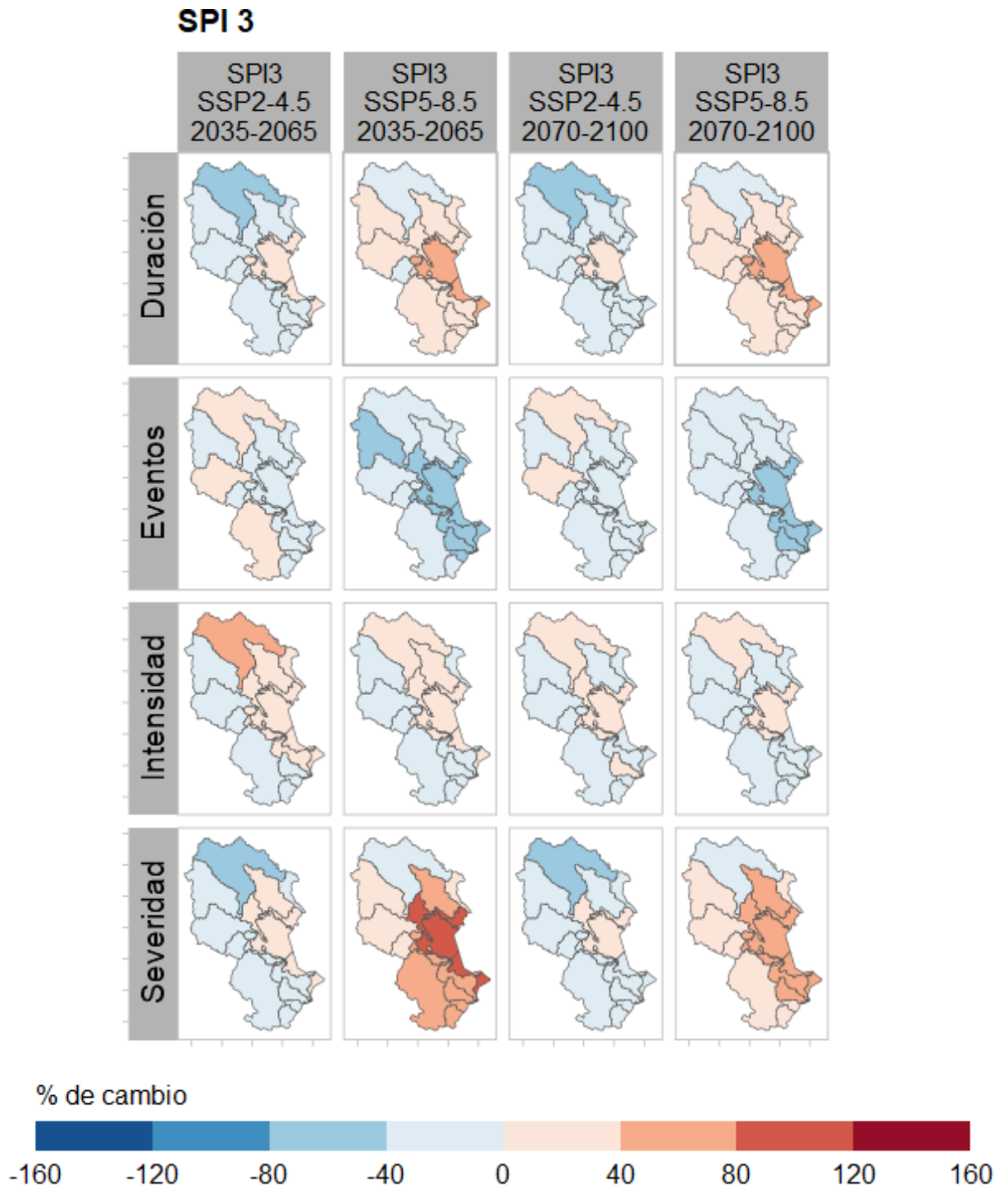
**Tabla 14**

*Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI3 para un futuro lejano (2070 - 2100) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*

CUENCA	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3
	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5
	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100
	EVENTOS	DURACIÓN	INTENSIDAD	SEVERIDAD	EVENTOS	DURACIÓN	INTENSIDAD	SEVERIDAD
Cuenca Ilpa	-1.4	-25.0	-9.1	-26.2	-28.4	12.5	-11.6	9.8
Cuenca Callacame	-30.7	-18.8	0.2	-3.3	-51.1	18.8	-5.8	43.8
Inter cuenca 0155	-21.8	-21.4	-13.4	-16.5	-39.7	21.4	-19.3	38.0
Inter cuenca 0157	-25.6	-18.8	-4.6	-12.7	-41.9	12.5	-8.6	40.8
Inter cuenca 0175	-10.0	16.7	-11.7	-5.7	-32.5	58.3	-12.9	44.0
Inter cuenca 0171	-24.4	0.0	9.6	5.9	-44.4	28.6	5.4	53.1
Inter cuenca 0173	-14.6	-7.1	14.8	-6.4	-36.6	35.7	3.2	43.9
Inter cuenca Ramis	-15.5	-7.1	4.9	5.7	-36.9	35.7	-3.1	62.4
Cuenca Ilave	0.0	-25.0	-9.5	-27.7	-21.2	12.5	-17.3	24.9
Cuenca Coata	6.1	-18.8	-20.6	-30.1	-12.1	6.3	-24.9	7.5
Cuenca Azángaro	3.1	-45.5	28.9	-47.5	-9.4	-27.3	9.6	-26.8
Cuenca Mauri Chico	-14.3	-31.3	-18.5	-33.7	-31.4	25.0	-17.4	20.5
Cuenca Huancané	-9.5	-7.1	-4.1	-2.6	-25.7	21.4	-13.1	50.2
Cuenca Pucara	-13.8	-25.0	-17.9	-32.7	-33.8	18.8	-27.0	4.5
Cuenca Suches	-8.1	0.0	-4.9	-6.9	-29.7	21.4	-16.9	30.5
Lago Titicaca	-28.3	40.0	15.4	6.2	-42.4	70.0	3.2	61.2
Lago Titicaca2	-25.0	-8.3	-4.6	-14.3	-43.5	66.7	-5.3	51.8

**Figura 21**

*Cambios porcentuales (%) en las métricas de sequía promedio para SPI3 con respecto a 1981–2014 (PISCO) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*





#### 4.4.2. Caracterización de las sequías proyectadas para el SPI 6

Por otro lado, la caracterización de las sequías proyectadas para el SPI 6 se observa eventos de sequías con una mayor duración y severidad para un periodo futuro cercano (CMIP 6, SSP5-8.5 ,2035–2065) y periodo futuro lejano (CMIP 6, SSP5-8.5, 2070-2100) en todas las cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca que varía de 0 a -120 %. Así mismo, se presentarían incrementos de precipitación para todas cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca para un periodo futuro cercano (CMIP 6, SSP5-85 ,2035–2065) y periodo futuro lejano (CMIP 6, SSP585, 2070-2100), que varía de +40 a +160 %. En la Tabla 15, con respecto al SPI6, el mayor número de eventos de sequía (CMIP6, SSP2-4.5, 2035 -2065), en la Inter cuenca 0155 con -33.3%, la mayor duración de sequía se presenta en (CMIP6, SSP5-8.5, 2035 -2065), en la cuenca Huancané con -66.7%, la mayor intensidad de sequía corresponde a (CMIP6, SSP2-4.5, 2035 -2065), en la cuenca Pucara con -40.7% y la mayor severidad de sequía corresponde a (CMIP6, SSP5-8.5, 2035 -2065), en la cuenca Huancané con -65.1%. Además, se puede notar un incremento de precipitaciones en las cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca en (CMIP6, SSP5-8.5, 2035 -2065), en cuanto a posibles eventos, el más resaltante evento de precipitación es en la cuenca Ilave y Mauri Chico con 272.2% y 220% respectivamente.

**Tabla 15**

*Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI6 para un futuro cercano (2035 - 2065) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*

CUENCA	SPI6	SPI6	SPI6	SPI6	SPI6	SPI6	SPI6	SPI6
	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5
	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065
	EVENTOS	DURACIÓN	INTENSIDAD	SEVERIDAD	EVENTOS	DURACIÓN	INTENSIDAD	SEVERIDAD
<b>Cuenca Ilpa</b>	8.3	0.0	-31.0	-13.7	162.5	-53.6	-22.4	-43.3
<b>Cuenca Callacame</b>	-25.0	7.7	-9.2	30.0	103.1	-46.2	13.5	-25.4
<b>Inter cuenca 0155</b>	-33.3	3.8	-24.3	0.7	110.0	-46.2	-7.3	-52.1
<b>Inter cuenca 0157</b>	-13.3	-12.5	1.1	23.9	120.0	-56.3	17.3	-36.6
<b>Inter cuenca 0175</b>	-13.3	4.2	-14.2	21.0	120.0	-41.7	-3.7	-37.8
<b>Inter cuenca 0171</b>	-3.6	3.8	19.2	1.3	132.1	-46.2	45.3	-29.4
<b>Inter cuenca 0173</b>	-20.0	3.6	-8.6	4.9	116.7	-53.6	10.0	-36.3
<b>Inter cuenca Ramis</b>	-26.3	27.3	-13.0	47.0	63.2	-36.4	9.5	-9.5
<b>Cuenca Ilave</b>	33.3	-10.0	-14.8	6.0	272.2	-53.3	4.3	-46.9
<b>Cuenca Coata</b>	-7.7	-7.1	-38.5	-8.2	150.0	-50.0	-29.1	-55.3
<b>Cuenca Azángaro</b>	-25.0	-23.5	-9.4	-18.3	83.3	-58.8	20.7	-65.1
<b>Cuenca Mauri Chico</b>	10.0	-15.6	-23.1	4.9	220.0	-53.1	-5.1	-49.2
<b>Cuenca Huancané</b>	-26.3	-28.6	-8.3	-9.2	78.9	-66.7	23.7	-58.5
<b>Cuenca Pucara</b>	-3.6	-3.3	-40.7	-18.6	121.4	-50.0	-23.7	-55.6
<b>Cuenca Suches</b>	-5.9	20.0	9.6	35.4	102.9	-25.0	37.6	-21.4
<b>Lago Titicaca</b>	-29.4	-7.1	0.3	38.1	94.1	-50.0	20.9	-29.0
<b>Lago Titicaca2</b>	-13.3	8.3	-1.1	14.1	120.0	-37.5	10.7	-36.0

En la Tabla 16, el mayor número de eventos de sequía corresponde a CMIP6 SSP2-4.5, 2070 – 2100 a las cuencas Huancané y la Inter cuenca Ramis con -28.9%; la mayor duración de sequía corresponde a CMIP6 SSP5-8.5, 2070 – 2100 en la cuenca Azángaro con -64.7%; la mayor intensidad de sequía corresponde a CMIP6 SSP2-4.5, 2070 – 2100 en la cuenca Coata con -42.9% y la mayor severidad de sequía corresponde a CMIP6 SSP5-8.5, 2070 – 2100 en la cuenca Pucara con -69.7%. También se nota la presencia de posibles eventos de precipitación que corresponde a CMIP6 SSP5-8.5, 2070 – 2100 en la cuenca Ilave con 288.9%

**Tabla 16**

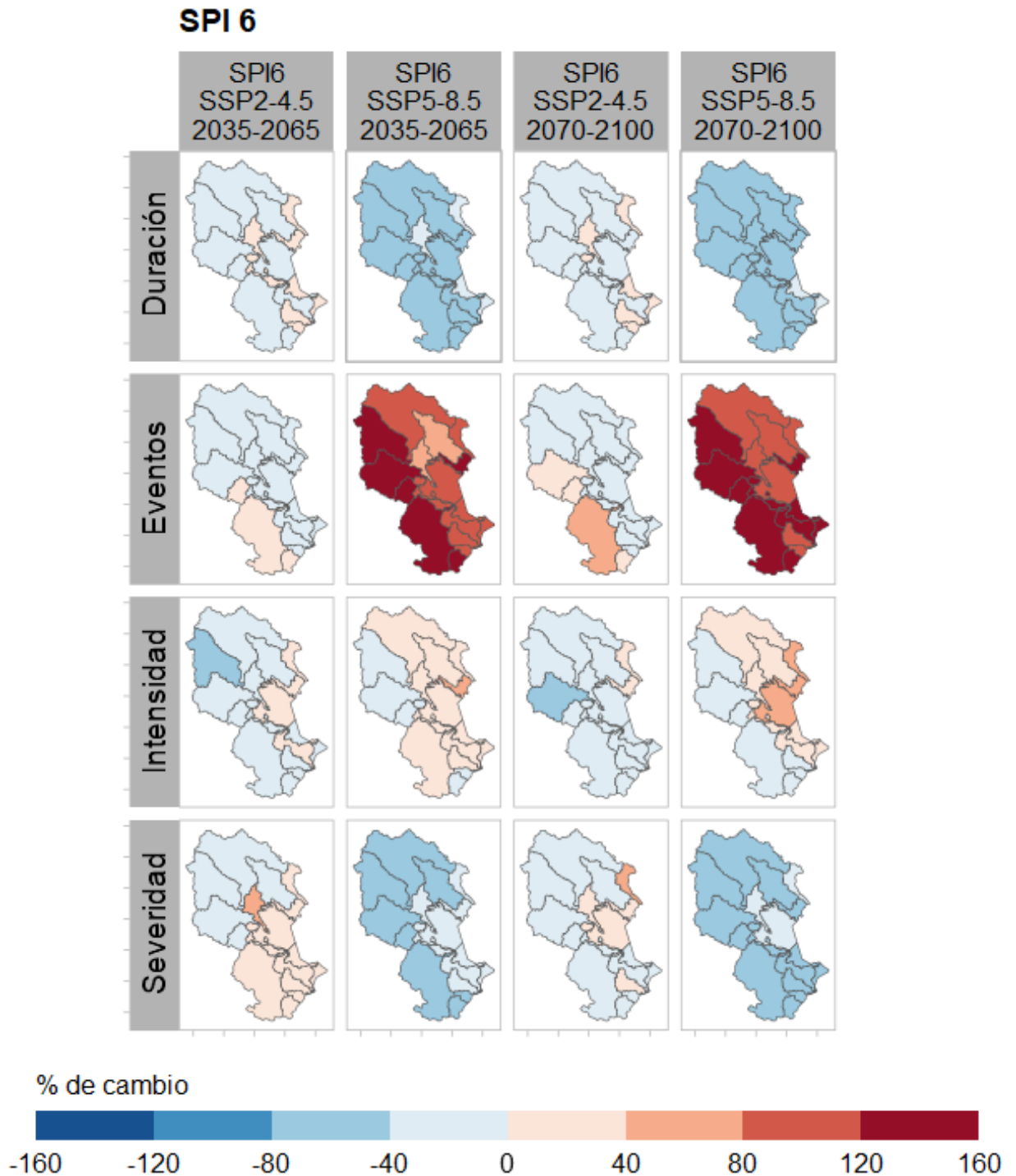
*Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI6 para un futuro lejano (2070 - 2100) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*

CUENCA	SPI6	SPI6	SPI6	SPI6	SPI6	SPI6	SPI6	SPI6
	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5
	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100
	EVENTOS	DURACIÓN	INTENSIDAD	SEVERIDAD	EVENTOS	DURACIÓN	INTENSIDAD	SEVERIDAD
Cuenca Ilpa	12.5	-10.7	-37.1	-18.9	233.3	-57.1	-12.2	-63.9
Cuenca Callacame	-21.9	7.7	-13.1	28.7	100.0	-46.2	-5.1	-45.3
Inter cuenca 0155	-26.7	7.7	-26.6	-17.3	113.3	-46.2	-20.3	-63.3
Inter cuenca 0157	-13.3	-15.6	-11.6	-2.3	133.3	-56.3	6.7	-54.3
Inter cuenca 0175	-20.0	8.3	-18.9	0.4	156.7	-50.0	14.1	-55.1
Inter cuenca 0171	-3.6	-3.8	7.8	8.5	128.6	-53.8	64.5	-44.6
Inter cuenca 0173	-13.3	0.0	-14.0	-2.1	153.3	-53.6	20.1	-52.8
Inter cuenca Ramis	-28.9	18.2	-17.1	33.3	92.1	-45.5	11.7	-36.4
Cuenca Ilave	44.4	-13.3	-18.1	-18.9	288.9	-53.3	-11.3	-61.8
Cuenca Coata	19.2	-3.6	-42.9	-21.2	196.2	-57.1	-25.2	-64.5
Cuenca Azángaro	-22.2	-23.5	-15.1	-21.1	88.9	-64.7	9.3	-65.3
Cuenca Mauri Chico	15.0	0.0	-26.1	-13.2	210.0	-59.4	-14.6	-64.7
Cuenca Huancané	-28.9	-31.0	-2.3	-1.2	94.7	-73.8	25.0	-57.0
Cuenca Pucara	-3.6	-13.3	-38.3	-28.4	153.6	-60.0	-21.0	-69.7
Cuenca Suches	-5.9	25.0	5.3	57.2	102.9	-40.0	40.9	-26.7
Lago Titicaca	-20.6	-3.6	-3.7	19.8	111.8	-53.6	41.3	-38.0
Lago Titicaca2	-10.0	8.3	-8.4	-8.1	123.3	-33.3	22.6	-49.7

**La Figura 22**, con respecto al SPI6, el mayor número de eventos de sequía corresponde a CMIP6 SSP5-8.5, 2035 – 2065 y 2070-2100 en las 17 cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca que varía de -40 a -120 %; la mayor intensidad de sequía corresponde a en cuanto a los posibles eventos; la mayor duración y severidad de precipitación corresponde al CMIP6, SSP5-8.5, 2035-2065 y 2070 – 2100 que varía de +0 a +120%.

**Figura 22**

*Cambios porcentuales (%) en las métricas de sequía promedio para SPI6 con respecto a 1981–2014 (PISCO) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*



#### 4.4.3. Caracterización de las sequías proyectadas para el SPI 12

El aumento de los episodios de la sequía puede disminuir el rendimiento de la agricultura bajo secano causado por la escasez del agua siendo un peligro natural que se puede desarrollar periodos cortos (meses) o largos (años) (Condori Apaza et al., 2021).

Los impactos del cambio climático sobre las cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca se estimaron a partir del comparativo de los cambios en la intensidad, duración, frecuencia y severidad de las sequías, para lo cual se consideró el uso del índice estandarizado de precipitación (SPI 3, 6 y 12) del producto grillado PISCO de precipitación (PISCO, 1981-2014) versus los percentiles 5, 50 y 95 del resultado de la reducción de escala de los diez (10) modelos con mayor representatividad, para un periodo futuro cercano (CMIP 6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5 ,2035–2065) y periodo futuro lejano (CMIP 6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5, 2070-2100).

La Figura 23, con respecto al SPI12, el mayor número de eventos de sequía corresponde a CMIP6 2.85, 2035 – 2065 y 2070-2100 en las 17 cuencas de la vertiente hidrográfica del Titicaca que varía de -40 a -120 %; la mayor intensidad de sequía corresponde a en cuanto a los posibles eventos; la mayor duración y severidad de precipitación corresponde al CMIP6, SSP 245, 2035-2065 y 2070 – 2100 que varía de +0 a +160 %.

En la Tabla 17, con respecto al SPI12, el mayor número de eventos de sequía que corresponde a CMIP6, SSP2-4.5, 2035 -2065 a la Inter cuenca 0155 con -69.4%; la mayor duración de sequias corresponde a CMIP6, SSP2-4.5, 2035 -2065 a la Inter cuenca 0175 y la cuenca Coata con -18.2%; la mayor intensidad



de sequía corresponde CMIP6, SSP5-8.5, 2035 -2065 a la cuenca Pucara con -30.1% y la mayor severidad de sequía corresponde a CMIP6, SSP2-4.5, 2035 -2070 a la cuenca Coata con -35.0%.

**Tabla 17**

*Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI12 para un futuro cercano (2035 - 2065) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*

CUENCA	SPI12	SPI12	SPI12	SPI12	SPI12	SPI12	SPI12	SPI12
	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5
	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065	2035-2065
	EVENTOS	DURACIÓN	INTENSIDAD	SEVERIDAD	EVENTOS	DURACIÓN	INTENSIDAD	SEVERIDAD
Cuenca Ilpa	-28.8	-10.0	-16.0	-13.8	-66.7	80.0	-19.9	86.0
Cuenca Callacame	-21.0	22.2	2.3	51.3	-67.7	66.7	0.7	105.2
Inter cuenca 0155	-22.6	10.0	-5.8	9.6	-69.4	55.0	-14.4	55.3
Inter cuenca 0157	-24.2	22.2	24.4	33.4	-68.2	77.8	5.9	122.9
Inter cuenca 0175	-17.7	-18.2	-10.0	3.9	-62.9	31.8	-23.2	60.8
Inter cuenca 0171	-16.1	-10.0	5.5	4.0	-57.1	60.0	-0.7	90.5
Inter cuenca 0173	-29.4	-10.0	5.4	1.8	-63.2	45.0	-2.4	77.5
Inter cuenca Ramis	-17.9	0.0	7.4	55.3	-57.1	77.8	-5.4	158.1
Cuenca Ilave	-5.8	5.0	8.7	-2.0	-55.8	50.0	-11.7	61.3
Cuenca Coata	-15.0	-18.2	-21.2	-35.0	-58.3	63.6	-28.2	28.6
Cuenca Azángaro	-18.3	0.0	21.4	-23.0	-65.0	65.0	27.8	100.6
Cuenca Mauri Chico	2.2	-8.3	-8.0	-16.7	-52.2	25.0	-18.9	8.9
Cuenca Huancané	-17.2	0.0	3.5	14.1	-55.2	55.6	12.6	128.6
Cuenca Pucara	-10.7	0.0	-27.9	-12.7	-62.5	83.3	-30.1	48.2
Cuenca Suches	-19.4	5.6	-7.8	-2.0	-64.5	133.3	6.7	141.5
Lago Titicaca	-38.2	18.8	-2.0	42.2	-67.1	81.3	-6.5	153.9
Lago Titicaca2	-30.0	0.0	19.3	13.6	-65.7	75.0	11.5	104.7

En la Tabla 18, el mayor número de eventos de sequía corresponde CMIP6, SSP5-8.5, 2070 – 2100 en la cuenca del Lago Titicaca con -75.7%; la mayor duración de sequias corresponde a CMIP6, SSP2-4.5, 2070 – 2100 en la cuenca Azángaro con -10%; la mayor intensidad de sequias corresponde a CMIP6, SSP5-8.5, 2070 – 2100 en la cuenca Coata con -30.9% y la mayor severidad de sequía corresponde a CMIP6, SSP2-4.5, 2070 – 2100 en la cuenca Mauri Chico con -26.4%. Además, se nota la presencia de mayores precipitaciones en toda la

vertiente hidrográfica del Titicaca en cuanto a duración y severidad en la cuenca del Lago Titicaca que varía de 156.3% a 148.6% respectivamente.

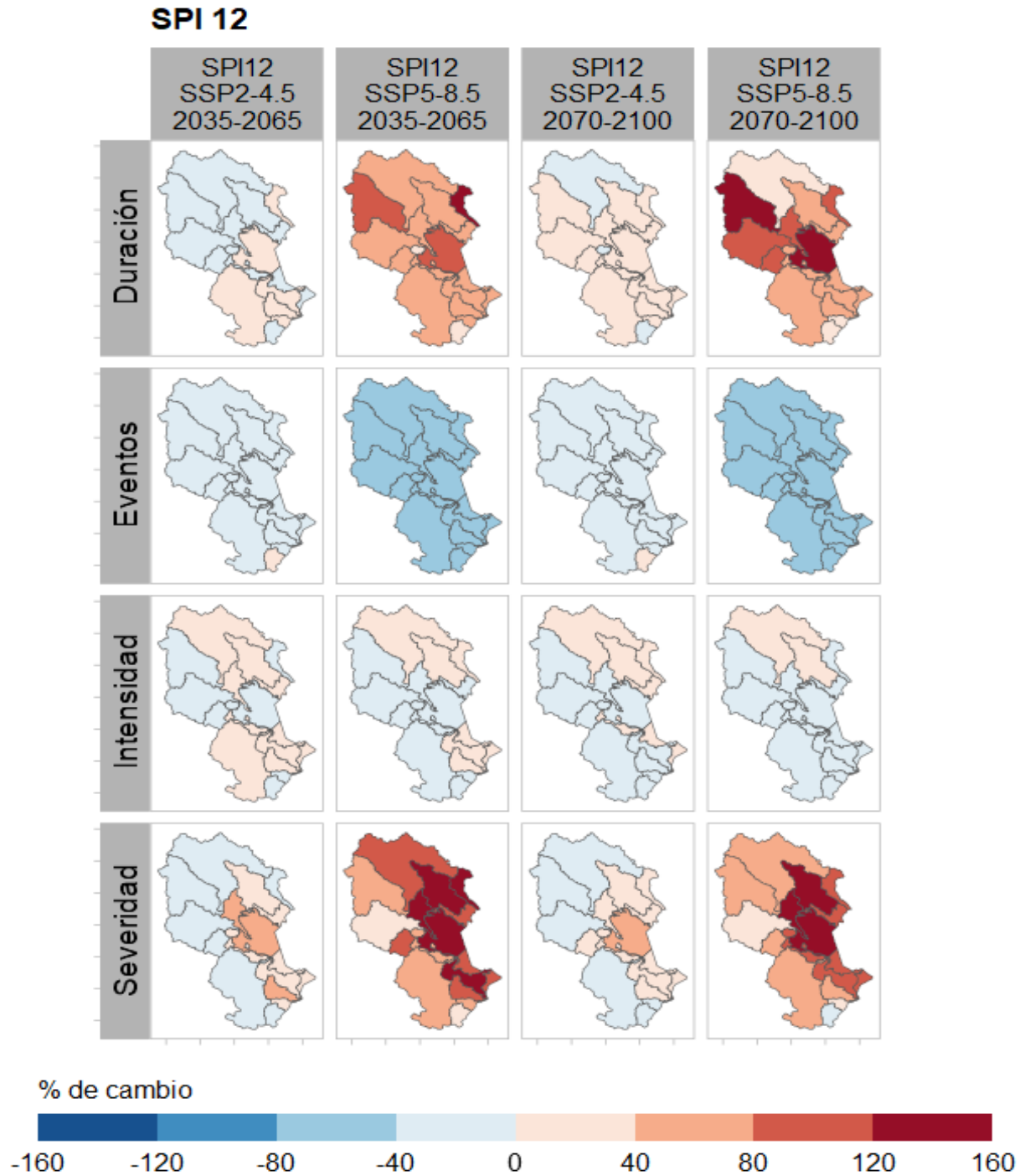
**Tabla 18**

*Eventos, duración, intensidad y severidad máxima de sequía SPI12 para un futuro lejano (2070 - 2100) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*

CUENCA	SPI12	SPI12	SPI12	SPI12	SPI12	SPI12	SPI12	SPI12
	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5
	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100	2070-2100
	EVENTOS	DURACIÓN	INTENSIDAD	SEVERIDAD	EVENTOS	DURACIÓN	INTENSIDAD	SEVERIDAD
Cuenca Ilpa	-25.8	20.0	-16.4	6.3	-69.7	105.0	-28.1	67.5
Cuenca Callacame	-27.4	33.3	-5.3	31.2	-64.5	50.0	-16.4	73.3
Inter cuenca 0155	-24.2	15.0	-16.5	-5.7	-64.5	40.0	-28.0	31.1
Inter cuenca 0157	-27.3	27.8	-4.0	31.4	-63.6	50.0	-4.5	104.5
Inter cuenca 0175	-19.4	-9.1	-13.9	7.8	-62.9	72.7	-26.2	84.5
Inter cuenca 0171	-16.1	20.0	3.6	15.0	-64.3	75.0	-13.1	80.8
Inter cuenca 0173	-29.4	20.0	6.9	18.6	-70.6	75.0	-11.8	82.9
Inter cuenca Ramis	-16.1	27.8	-8.4	37.4	-66.1	94.4	-11.3	145.6
Cuenca Ilave	-13.5	10.0	-17.3	-8.5	-61.5	75.0	-21.3	64.9
Cuenca Coata	-25.0	9.1	-22.8	-23.5	-68.3	86.4	-30.9	22.7
Cuenca Azángaro	-26.7	-10.0	29.4	-17.4	-58.3	40.0	17.3	51.9
Cuenca Mauri Chico	6.5	-4.2	-15.2	-26.4	-56.5	8.3	-27.4	-6.3
Cuenca Huancané	-19.0	11.1	10.0	29.7	-62.1	77.8	7.0	122.9
Cuenca Pucara	-14.3	5.6	-23.8	-22.1	-64.3	127.8	-30.6	55.5
Cuenca Suches	-22.6	11.1	6.1	12.5	-58.1	83.3	-0.8	114.4
Lago Titicaca	-38.2	37.5	-5.7	51.0	-73.7	156.3	-17.8	148.6
Lago Titicaca2	-34.3	15.0	12.8	30.9	-75.7	70.0	-5.9	107.7

**Figura 23**

*Cambios porcentuales (%) en las métricas de sequía promedio para SPI12 con respecto a 1981–2014 (PISCO) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5*



Los niveles de sequía en la vertiente hidrográfica del Titicaca varían de entre altos y muy altos, generados por un déficit de precipitación. Asimismo, las zonas de muy alto riesgo se ubican principalmente en el extremo norte y oeste de la región, con 3 cuencas más expuestas a un evento de sequías extremas (Aramayo Alonso, 2019).

#### **4.5. DISCUSIONES**

Esta es la primera investigación sobre la variabilidad espacio temporal de las sequías en toda la vertiente del Titicaca que abarca 17 unidades hidrográficas las cuales son: las cuencas Azángaro, Coata, Ilave, Pucara, Ilpa, Huancané, Callaccame, Mauri Chico, Suches, Lago Titicaca, Inter cuencas 0155, 0157, 0171, 0173, 0175 y Ramis. Se realizó mediante el uso de Índice de precipitación Estandarizado (SPI) para un futuro cercano y lejano.

Como se mencionó en la sección de la introducción, existen estudios recientes que implican proyecciones para el CMIP6 basadas en la selección de GCM. En esta investigación los escenarios de emisión son bastante similares en periodos históricos. Sin embargo, cuando se compara los modelos de circulación global se nota la presencia de modelos con mejor anomalía. Por otra parte, las métricas de desempeño manifiestan una mejora en cuanto a la precipitación histórica reduciendo posibles sesgos. Que puede ser utilizada para modelos de predicción hidrológica como lo refieren Laqui et al. (2024) y Gambini et al. (2024).

Además, este trabajo de investigación comparó simulaciones históricas y proyecciones futuras de precipitaciones en 39 GCM de SSP2-4.5 y 41 GCM de SSP5-8.5 ya que son las mejores versiones del CMIP6. Estas fueron evaluadas individualmente



usando el diagrama de Taylor. Así mismo se obtuvo que los mejores GCM son del SSP5-8.5, como lo sugieren (Fernandez et al., 2020)Fernandez-Palomino et al. (2024).

Respecto al análisis de sequías se sabe que el SPI3 presenta con una variación de sequías extremas -40 a -80%, 0 a -120% en el SPI6 y -40 a -120% en el SPI12. Sin embargo, este aumento tiende a ser mayor conforme se incrementa el tiempo para un futuro cercano (2035 – 2065) y lejano (2070 – 2100) en el escenario SSP5-8.5. En cuanto a la intensidad, no se presenta un cambio muy claro para todas las cuencas. Estos resultados evidencian una importante disminución de precipitación, lo que ocasionará pérdidas importantes de la agricultura del Altiplano, que mayormente está basado en la producción en seco (Real-Rangel et al., 2020)

## V. CONCLUSIONES

- En este estudio, analizamos 39 GCM para el escenario SSP2-4.5 y 41 GCM para el escenario de concentración SSP5-8.5 del CMIP6 para evaluar cambios de precipitación, primero se obtuvo 10 mejores GCM para ambos escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 mediante la metodología de métricas de desempeño del índice de acuerdo modificado (md), error cuadrático medio normalizado (nRMSE), eficiencia de Kling - Gupta (KGE) y métricas de eficiencia espacial (SPAEF); para la validación de estas métricas se utilizó el diagrama de Taylor para representar el rendimiento relativo de los modelos/ de circulación general del CMIP6 y la significancia de conjuntos de multimodelo (MME). Posterior a ello se aplicó la reducción de escala mediante la metodología del Quantile Mapping (Mapeo de cuantiles) para la zona de estudio.
- Se estimó la variación de las proyecciones de precipitación respecto al periodo histórico de Pisco. Primero, para esta investigación se tomó los 10 mejores modelos de circulación general ya con la reducción de escala correspondiente.
- Segundo, se aplicó la metodología de los índices del P5 (percentil 5), P50 (percentil 50) y P95 (percentil 95), la mínima, mediana y máxima respectivamente para cada unidad hidrográfica. Además, los cambios de precipitación media mensual más pronunciados durante de lluvias, en las proyecciones del futuro cercano (2035 – 2065) y lejano (2070 – 2100) también muestran un incremento en sus valores para toda la vertiente hidrográfica del Titicaca para todos los escenarios mensuales y anuales entre 2070 y 2100, principalmente en el escenario de emisiones altas SSP5-8.5.
- Las regiones en estudio se presentan eventos de sequías prolongados en periodos cercanos y futuros, cada escenario de emisión muestra valores de SPI desde una perspectiva de duración, intensidad y frecuencia. Las sequías generalmente presentan



un aumento en la duración y severidad para los SPI3 con una variación de sequías extremas -40 a -80%, 0 a -120% en el SPI6 y -40 a -120% en el SPI12. Sin embargo, este aumento tiende a ser mayor conforme se incrementa el tiempo para un futuro cercano (2035 – 2065) y lejano (2070 – 2100) en el escenario SSP5-8.5, para el SPI12 se incrementa la duración en los eventos de sequías en el escenario SSP5-8.5. En cuanto a la intensidad, no se presenta un cambio muy claro para todas las cuencas, sin embargo, se observa que para el escenario SSP5-8.5 del periodo (2035 – 2065) y (2070 – 2100) se muestra un mayor incremento en la intensidad, mientras que para los demás escenarios se presenta un cambio ligero, poco definido y en la mayor parte de las cuencas la intensidad disminuye. En conclusión, se puede definir que se presentarían eventos de sequías más intensos y severos en el futuro en el escenario SSP5-8.5, este análisis de los impactos socioeconómicos de la sequía proyectada muestra tendencias que ayudarían a informar mejor y formular políticas de adaptación en cada región



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la reducción de escala estadístico para tener un mejor ajuste de datos en las cuencas de la Vertiente hidrográfica del Titicaca.
- Es recomendable estimar los cambios en la precipitación a nivel general, ya que pueden presentar incrementos anuales del orden de 200, 300 y más de 400%. Esto se puede deber a que la reducción de escala está bastante influenciada por El Fenómeno de El Niño que en algunas zonas como el sur puede incrementar drásticamente la intensidad de lluvia.
- Usar series temporales con el mayor número de años para poder tener una mejor idea en la evolución temporal con los índices climáticos.
- Utilizar modelos climáticos con la finalidad de conocer la variabilidad espacio – temporal de las sequias bajo condiciones climáticas.
- Se considera adecuado incrementar las series de periodos de tiempo 3, 6 y 12 meses para estudios futuros con la finalidad de determinar el comportamiento de las sequias clasificado en eventos de larga duración e intensidad, severidad.
- Se recomienda la aplicación de la metodología del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), con la finalidad de conocer la variabilidad espacio – temporal de las sequias bajo diferentes condiciones climáticas.
- Ampliar la investigación de las características de sequias en otras cuencas a nivel nacional, para mejorar la tendencia de la ocurrencia de sequias para un futuro cercano y lejano para ayudar en la buena toma de decisiones y mejorar la gestión de recursos hídricos.





- Reforzar las medidas de prevención y proponer mecanismo de alertas tempranas para la vertiente hidrográfica del Titicaca, con la finalidad de mitigar los impactos por ocurrencia de sequías y aumentar la resiliencia ante estos eventos.
- Elaborar planes de mitigación ante posibles eventos de sequías extremas a nivel nacional.
- Finalmente, instar a las instituciones con temas ambientales, con el fin de contar con un futuro cercano con diversas metodologías acorde nuestra realidad para poder minimizar los riesgos que la sequía produce a nuestra vertiente hidrográfica del Titicaca.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abellan, A. J., Ruiz, M., & Melgarejo, J. (2018). *Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural ( SE , España ) usando un modelo SWAT*. 5, 240–253.
- Ahmed, K., Sachindra, D. A., Shahid, S., Demirel, M. C., & Chung, E. S. (2019). Selection of multi-model ensemble of general circulation models for the simulation of precipitation and maximum and minimum temperature based on spatial assessment metrics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(11), 4803–4824.  
<https://doi.org/10.5194/hess-23-4803-2019>
- Alley, W. M. (1984). *The palmer drought severity index: Limitations and assumptions*. 23.
- Alzate, D., Rojas, E., Mosquera, J., & Ramon, J. (2015). *Cambio climatico y variabilidad climatica para el periodo 1981 - 2010 en las cuencas de los rios Zulia y Pamplonita, norte de Santander - Colombia*.  
<https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.10>
- Anthony, R., & Quiroz, R. (2023). *Validación de la data de precipitación ( 1981-2016 ) del producto PISCO v2 . 1 : Estación meteorológica , elevación , estacionalidad del año y región climática en la cuenca Tumbes , Perú Validation of the precipitation data ( 1981-2016 ) of the PISCO v2 . 20(1), 41–50*.
- Aramayo Alonso, W. L. (2019). *Distribucion espacial del riesgo de sequia en la region andina de Puno - Peru*.
- Aybar, C., Lavado, W., Huerta, A., Fernandez, C., Vega, F., Sabino, E., & Felipe, O. (2021). *Uso del Producto Grillado PISCO de Precipitacion en Estudios*,



- Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronostico Hidrometeorologico. 08, 1–18.*
- Campozano, L., Ballari, D., Montenegro, M., & Avilés, A. (2020). *Future Meteorological Droughts in Ecuador : Decreasing Trends and Associated Spatio-Temporal Features Derived From CMIP5 Models. 8*(February).  
<https://doi.org/10.3389/feart.2020.00017>
- Carbajal, V. (2008). Human development report 2007/2008 - Fighting climate change: human solidarity in a divided world. In *Gaia-Ecological Perspectives for Science and Society* (Vol. 17, Issue 2).
- Castillo, M., & Ibañez, L. (2017). *Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte , México. VIII, 35–52.*
- Chiabai, A., Quiroga, S., Martinez-juarez, P., Higgins, S., & Taylor, T. (2018). The nexus between climate change , ecosystem services and human health : Towards a conceptual framework. *Science of the Total Environment, 635*, 1191–1204.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.323>
- CMNUCC. (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. *Choice Reviews Online, 50*(07), 50-3868-50–3868.  
<https://doi.org/10.5860/choice.50-3868>
- Condori Apaza, V., Mamani Luque, O. R., Alfaro Alejo, R., Laqui, W., & Condori, W. F. (2021). *Analysis and impact of meteorological droughts in the agriculture of Puno region, Peru. 03002, 1–9.*  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130403002>
- Enríquez Aarón, A. (2016). *Evaluación de modelos climáticos: el comportamiento de la*



- variable nubosidad*. 220. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=116042>
- Fernandez, B., Guillermo, D., Luraschi, M., Orphanopoulos, D., & Salazar, C. (2020). *Estimacion del impacto economico asociado a sequias hidrologicas*.
- Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodologia de la Investigacion*.
- Galvez Ayala, P. E. (2017). *Caracterización de las sequias historicas y proyectadas bajo escenarios de cambio climatico en la cuenca del rio Mantaro*.
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 80–91.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>
- Gutiérrez, J. M. (2001). *Escenarios regionales de cambio climatico: Downscaling estadistico y dinamico*. 123–138.
- Guttman, N. B. (1999). *Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm*. 35(2).
- Hamed, M. M., Shahid, S., & Nashwan, M. S. (2022). *Inter-comparison of historical simulation and future projections of rainfall and temperature by CMIP5 and CMIP6 GCMs over Egypt. October 2021*, 4316–4332.  
<https://doi.org/10.1002/joc.7468>
- Harding, B. L., Sangoyomi, T. B., & Payton, E. A. (1995). *Impacts of a severe sustained drought on colorado river water resources. 1*.
- Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N., & Widhalm, M. (2011). The lincoln declaration on drought indices: Universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4), 485–488.



<https://doi.org/10.1175/2010BAMS3103.1>

Hunter, N. M., Bates, P. D., Horritt, M. S., & Wilson, M. D. (2007). Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: A review. *Geomorphology*, 90(3–4), 208–225. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.021>

Illangasingha, S., Koike, T., Rasmy, M., Tamakawa, K., Matsuki, H., & Selvarajah, H. (2023). A holistic approach for using global climate model (GCM) outputs in decision making. *Journal of Hydrology*, 626(PB), 130213. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130213>

Instituto meteorológico. (2017). *El KNMI: Para estar a la altura de las expectativas*.

IPCC-TGICA. (2007). *General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment*. June.

IPCC. (2013). *Climate change 2013*.

IPCC. (2018). *Anexo I: Glosario*.

Laqui, W., Zubieta, R., Laqui, Y., Alfaro, R., Laqui, C., & Aragon, L. (2024). *Evaluación de la respuesta hidrológica a cambios de precipitación y temperatura en el Altiplano peruano* (Vol. 0). <https://doi.org/10.24850/j-tyca-15-1-1>

Lavado, W., Fernandez, C., Aybar, C., Caycho, T., & Endara, S. (2015). PISCO: Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations. Precipitation v1.1. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 3(April), 1–50.

Leng, G., Tang, Q., & Rayburg, S. (2015). Climate change impacts on meteorological , agricultural and hydrological droughts in China. *Global and Planetary Change*, 126, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.01.003>



- Luna Vera, J. A., & Dominguez Mora, R. (2013). *Un método para el análisis de frecuencia regional de lluvias máximas diarias : aplicación en los Andes bolivianos*. 21, 111–124.
- Macedo Garcia, henri S. (2023). *Correlacion entre las sequias meteorologicas e hidrológicas en la cuenca del rio Santa - Perú, periodo 1965 - 2020*.
- Masud, M. B., Khaliq, M. N., & Wheeler, H. S. (2015). Analysis of meteorological droughts for the Saskatchewan River Basin using univariate and bivariate approaches. *JOURNAL OF HYDROLOGY*, 522, 452–466.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.058>
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. January, 17–22.
- Miller, R. B., & Small, C. (2003). *Cities from space : potential applications of remote sensing in urban environmental research and policy*. 6, 129–137.  
[https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(03\)00002-9](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(03)00002-9)
- Minvielle, M., & Garreaud, R. D. (2011). Projecting rainfall changes over the South American Altiplano. *Journal of Climate*, 24(17), 4577–4583.  
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00051.1>
- Ochoa Portillo, L. J. (2021). *Variabilidad espacial y temporal de la sequia meteorologica en el lago Titicaca al 2030*. 0–2.
- Organizacion Metereologica Mundial. (2006). *Vigilancia y alerta temprana de la sequía : conceptos, progresos y desafios futuros*.
- Oria rojas, C., Llacza Rodríguez, A., Jácome Vergaray, G., & Barreto Schuler, C. (2013). *Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú : Proyecciones al*



- año 2030 en la Región Huancavelica*. 1–31.
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological Drought. In *U.S. Weather Bureau, Res. Pap. No. 45* (p. 58). <https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf>
- Pilares, I. A., Montalvo, N., M, A. M., Guevara, E., Fano, G., & Alfaro, R. (2018). *Evaluation of water availability in the Cabanillas river basin of the Peruvian Altiplano under regionalized climatic scenarios*. 307–319.
- Ponce, V. M., Pandey, R. P., & Ercan, S. (2000). *Characterization of Drought across Climatic Spectrum*. 1978, 4–6.
- Quispe Sardon, H. M. (2021). *Analisis de sequias con perspectivas de cambio climatico en la unidad hidrografica Huancane, en el periodo 2020 - 2100*.
- Ravelo, A. ., Sanz Ramos, R., & Douriet Cardenas, J. C. (2014). *Detección , evaluación y pronóstico de las sequías en la región del Organismo de Cuenca Pacifico Norte, Mexico*. 31(1), 11–24.
- Re, M. (2016). *Impacto del Cambio Climático Global en las Costas del Río de la Plata*. November 2005. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17075.43045>
- Real-Rangel, R. A., Pedrozo-Acuña, A., Agustín Breña-Naranjo, J., & Alcocer-Yamanaka, V. H. (2020). A drought monitoring framework for data-scarce regions. *Journal of Hydroinformatics*, 22(1), 170–185. <https://doi.org/10.2166/hydro.2019.020>
- Satge, F., Espinoza, R., Pillco Zola, R., Timouk, F., Molina, J., Garnier, J., Calmant, S., Seyler, F., & Bonnet, M. (2017). *Role of Climate Variability and Human Activity on Poop ó Lake Droughts between 1990 and 2015 Assessed Using Remote Sensing Data*. 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs9030218>



- SENAMHI. (2016). *Ciclos horarios de precipitación en el Perú utilizando información satelital*.
- Solman, S. A. (2011). *Actividad humana y cambio climático*. 15–17.
- Sosa Sarmiento, J. D. (2016). *Análisis de la sequía hidrológica en el Perú*.
- Stahl, K., Kohn, I., Blauhut, V., Urquijo, J., Stefano, L. De, Acácio, V., Dias, S., Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Kampragou, E., Loon, A. F. Van, Barker, L. J., Melsen, L. A., Bifulco, C., Musolino, D., Carli, A. De, Massarutto, A., Assimacopoulos, D., & Lanen, H. A. J. Van. (2016). *Impacts of European drought events : insights from an international database of text-based reports*. 801–819.  
<https://doi.org/10.5194/nhess-16-801-2016>
- Taylor, K. E. (2001). *Summarizing multiple aspects of model performance in a Single Diagram*. 106, 7183–7192.
- Valiente, O. M. (2001). *Sequía: Definiciones, tipologías y metodos de cuantificación*.
- Vargas, P. (2009). *El Cambio Climático y Sus Efectos en el Perú*. 1–59.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Díaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., & Alcántara, J. (2016). Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. In *Universidad Nacional Agraria La Molina*.  
<http://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/CUENCAS-HIDROGRAFICAS.pdf>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.  
<https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>





- Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I., Begueria, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., & Moran-Tejada, E. (2012). *Accurate Computation of a Streamflow Drought Index*. 7823–7830.
- World, & Organization, M. (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide*. 1090.
- Wu, S., Li, J., & Huang, G. H. (2008). A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrologic applications: Sensitivity to elevation data resolution. *Applied Geography*, 28(3), 210–223. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.02.006>
- Yevjevich, V. (1967). *An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts*. August.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F. I. (2004). *A review of drought indices*. <https://doi.org/10.1139/A11-013>
- Zubieta, R., Molina Carpio, J., Laqui, W., Sulca, J., & Ilbay, M. (2014). *Impactos del cambio climatico en diferentes tipos de sequias en la cuenca del Lago Titicaca*. 8(2021), 5–14.
- Zuñiga Medina, S. A. (2021). *Impactos del Cambio Climatico sobre las Sequias en la Cuenca rio Tambo - Peru, bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5*.



## ANEXOS



## ANEXO A: CÓDIGO PARA LEER LA INFORMACIÓN DE LA DATA PISCO CON RSTUDIO

```
## Leer puntos de estaciones de datos PISCO de prec a partir de
# puntos de estaciones que estan almacenados en un archivo *.csv
# Autores: Adrian Huerta & Waldo Lavado #Esta es la ruta de la carpeta donde esta
Pisco
# y deben estar el archivo *.csv con los puntos a extraer
# ojo que es / no \
# Descargar datos PISCO de:
#https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAHMI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-
Language=es
# Este ejemplo es para los datos mensuales PISCOpm.nc
rm(list = ls())#borramos todos los objetos en Environment
#install.packages("raster")#Instalar el paquete comentar # si ya esta instalado
#install.packages("ncdf4")#Instalar el paquete comentar # si ya esta instalado
library(raster)#cargar el paquete
library(ncdf4) #cargar el paquete
a<-"E:/TESIS_DATA/PISCO"
setwd(a)
long_lat <- read.csv(paste0(a,"\\long_lat.csv"), header = T)
### Ensamblamos los datos *.nc
raster_pp <- raster::brick(paste0(a,"\\PISCOpm2_1.nc"))
## Asignamos las coordenadas
sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
# Igualamos las proyecciones del raster y de las puntos a extraer
raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_pp)
# Extraemos los valores
points_long_lat <- raster::extract(raster_pp[[1]], long_lat, cellnumbers = T)[,1]
data_long_lat <- t(raster_pp[points_long_lat])
plot(data_long_lat,type="l")
colnames(data_long_lat) <- as.character(long_lat$NN)
# Guardamos los datos como "data_long_lat.csv" Ud puede cambiar el nombre
```



```
# Las filas son los datos mensuales en este caso y las columnas son los puntos
seleccionados

# Ojo que el orden está de acuerdo al archivo long_lat.csv, de la columna NN
write.csv(data_long_lat, "data_long_lat.csv", quote = F)

##Leemos por poligonos
rm(list=ls())

#install.packages("rgdal")

library(ncdf4)

library(raster)

library(rgdal)

#leemos el netcdf
Pisco.prec.brick <- rotate(brick("pr_Amon_mod_rcp85_038.nc"))# leer netcdf con brick
#Pisco.prec.brick # Enero de 1981 hasta dic 2016
nlayers(Pisco.prec.brick)

splot(Pisco.prec.brick[[1:4]]) #ploteo de enero a abril del 81
# Extraer los valores prec. promedio areal para el Mantaro
###Leemos el shape de mantaro
cuenca.wgs <- readOGR(dsn='.', layer="Cuencas") #'.' = significa que esta en ell mismo
directorio

plot(cuenca.wgs)

pp.cuenca.kgm2s <- extract(Pisco.prec.brick, cuenca.wgs, fun=mean)
pp.cuenca.mensual <- pp.cuenca.kgm2s*86400*30 # PP en mm/month
row.names(pp.cuenca.mensual) <- cuenca.wgs@data$NOMBRE
#View(pp.cuenca.mensual)
range(pp.cuenca.mensual)
plot(pp.cuenca.mensual[1,], type="l", col="blue", ylim=c(0,250), ylab="Prec. [mm]",
      xlab = "Meses", main="Prec. prom areal mensual- PPCuencas_TITICACA [mm]")
write.csv(t(pp.cuenca.mensual),'PPCuencas_TITICACA.csv')
```



## ANEXO B: CÓDIGO PARA OBTENER MÉTRICAS DE DESEMPEÑO

```
rm(list=ls())

# install.packages('hydroGOF')#

# install.packages("pracma") #histc is in pracma

library(pracma)

library(hydroGOF)

Piscofile <- read.csv("D:/CMIP6_PP/SSP245/PP_VTITICACA.csv")

files<- list.files(path
="D:/CMIP6_PP/SSP245/Modelos_Csv.csv",pattern='*.csv',full.names=FALSE)

n<-length(seq_along(files))

Metricas <- matrix(nrow = n,ncol = 11)

colnames(Metricas)<-
c("CMIP6_GCM","Rank","md","nRMSE","SPAEF","KGE","R_md","R_RMSE","R_S
PAEF","R_KGE","MR")

Resumen<-matrix(nrow = 10,ncol = 17)# colocar nro cuencas

colnames(Resumen)<-c(colnames(Piscofile))[-1]

for(j in 2:18) {# colocar nro cuencas+1

Obs<-Piscofile[1:408,j]# cambiar 300 para CMIP5, 408 para CMIP6

for(i in seq_along(files))

setwd('D:/CMIP6_PP/SSP245/Modelos_Csv.csv')

namefile<- tools::file_path_sans_ext(files[i])

print(namefile)

CMIP5_file <- read.csv(paste(namefile, 'csv', sep="."))

Sim<-CMIP5_file[1:408,j]# cambiar 300 para CMIP5, 408 para CMIP6

sqrt(mean((Obs-Sim)^2))#RMSE

r<-cor(Obs,Sim)#coeficiente correlaci?n r de Pearson

PBIAS <- 100 *(sum((Sim - Obs)/sum(Obs), na.rm =TRUE)) #object producing PBIAS
test

NSE <- 1 - sum((Obs - Sim)^2)/sum((Obs - mean(Obs))^2, na.rm =TRUE) #object
producing NSE test

NSE(Sim, Obs)

md<-1-(abs(sum(Obs - Sim)))/(sum(abs(Sim-mean(Obs))+abs(Obs-mean(Obs))))

nRSME<-sqrt(mean((Sim - Obs)^2))/(max(Obs)-min(Obs))

Bp<-mean(Sim)/mean(Obs)
```



```
CVsim<-sd(Sim) / mean(Sim)
CVobs<-sd(Obs) / mean(Obs)
RP<-CVsim/CVobs
KGE<-1-sqrt((r-1)^2+(Bp-1)^2+(RP-1)^2)
#HISTOmatch
x1=(Sim-mean(Sim))/sd(Sim)
x2=(Obs-mean(Obs))/sd(Obs)
h1 <- hist(Sim, breaks=100, freq=TRUE, plot=TRUE)
h2 <- hist(Obs, breaks=100, freq=TRUE, plot=TRUE) #False makes Density instead
of frequency, try it
a=histc(Sim, h1$breaks)
b=histc(Obs, h1$breaks)
c=cbind(a$cnt, b$cnt)
d <- pmin(c[,1],c[,2])
overlap=sum(d)
histogram_match=overlap/sum(a$cnt)
SPAEF = 1- sqrt( (r-1)^2 + (RP-1)^2 + (histogram_match-1)^2 )
#Metricas[i-1,1]=colnames(datosMax)[i]
Metricas[i,1]=namefile
Metricas[i,2]=""
Metricas[i,3]=md
Metricas[i,4]=nRSME
Metricas[i,5]=SPAEF
Metricas[i,6]=KGE
R_md=rank(-rank(Metricas[,3])) # mayor a menor, cercano a 1
R_nRSME=rank(Metricas[,4]) # menor a mayor
R_SPAEF=rank(-rank(Metricas[,5])) # mayor a menor, cercano a 1
R_KGE=rank(-rank(Metricas[,6])) # mayor a menor, cercano a 1
MR=1-((R_md+R_nRSME+R_SPAEF+R_KGE)/(n*4))
Metricas[,2]=rank(-rank(MR)) # mayor a menor, cercano a 1
Metricas[,7]=R_md
Metricas[,8]=R_nRSME
```



```
Metricas[,9]=R_SPAEF
Metricas[,10]=R_KGE
Metricas[,11]=MR
setwd('D:/CMIP6_PP/SSP245/Metricas')
write.csv(Metricas,paste(colnames(Piscofile[j]), 'csv', sep="."))
Mejores<-Metricas[order(MR,decreasing = TRUE), ]
Resumen[1,j-1]=Mejores[1]
Resumen[2,j-1]=Mejores[2]
Resumen[3,j-1]=Mejores[3]
Resumen[4,j-1]=Mejores[4]
Resumen[5,j-1]=Mejores[5]
Resumen[6,j-1]=Mejores[6]
Resumen[7,j-1]=Mejores[7]
Resumen[8,j-1]=Mejores[8]
Resumen[9,j-1]=Mejores[9]
Resumen[10,j-1]=Mejores[10]
}
# Correr la ultima linea para generar el Resumen
write.csv(Resumen,'Resumen.csv')
```



## ANEXO C: CÓDIGO PARA EL DIAGRAMA DE TAYLOR

```
# install.packages('grid')
library(grid)
library(openair)
library(tidyverse)
library(gridExtra)
library(cowplot)
library(ggpubr)
library(ggplot2)
require(tictoc)

Piscofile <- read.csv("D:/CMIP6_PP/SSP245/PP_VTITICACA.csv")
Resumen <- read.csv("D:/CMIP6_PP/SSP245/Metricas/Resumen.csv")
modelData<-matrix(,nrow = 4080,ncol =3) #poner 4080=408*10 para CMIP6
colnames(modelData)<-c("obs","mod","Modelos")
modelData[,1]<-Piscofile[1:408,2] # inicia con Tumbes, ir cambiando ahsta completar
las 45
plot_lst <- vector("list", length = 17)# cambiar nro cuencas
setwd('D:/CMIP6_PP/SSP245/Modelos_Csv')
for (i in 2:18) { # cambiar nro cuencas +1
  y1<-Resumen[1,i]
  y2<-Resumen[2,i]
  y3<-Resumen[3,i]
  y4<-Resumen[4,i]
  y5<-Resumen[5,i]
  y6<-Resumen[6,i]
  y7<-Resumen[7,i]
  y8<-Resumen[8,i]
  y9<-Resumen[9,i]
  y10<-Resumen[10,i]
  modelo1 <- read.csv(paste(Resumen[1,i], 'csv', sep="."))
  modelo2 <- read.csv(paste(Resumen[2,i], 'csv', sep="."))
  modelo3 <- read.csv(paste(Resumen[3,i], 'csv', sep="."))
```





```
modelo4 <- read.csv(paste(Resumen[4,i], 'csv', sep="."))
modelo5 <- read.csv(paste(Resumen[5,i], 'csv', sep="."))
modelo6 <- read.csv(paste(Resumen[6,i], 'csv', sep="."))
modelo7 <- read.csv(paste(Resumen[7,i], 'csv', sep="."))
modelo8 <- read.csv(paste(Resumen[8,i], 'csv', sep="."))
modelo9 <- read.csv(paste(Resumen[9,i], 'csv', sep="."))
modelo10 <- read.csv(paste(Resumen[10,i], 'csv', sep="."))
# Llenar modelo1
modelData[1:408,2]<-modelo1[,i]
modelData[1:408,3]<-substr(y1,0,nchar(y1))
# Llenar modelo2
modelData[409:816,2]<-modelo2[,i]
modelData[409:816,3]<-substr(y2,0,nchar(y2))
# Llenar modelo3
modelData[817:1224,2]<-modelo3[,i]
modelData[817:1224,3]<-substr(y3,0,nchar(y3))
# Llenar modelo4
modelData[1225:1632,2]<-modelo4[,i]
modelData[1225:1632,3]<-substr(y4,0,nchar(y4))
# Llenar modelo5
modelData[1633:2040,2]<-modelo5[,i]
modelData[1633:2040,3]<-substr(y5,0,nchar(y5))
# Llenar modelo6
modelData[2041:2448,2]<-modelo6[,i]
modelData[2041:2448,3]<-substr(y6,0,nchar(y6))
# Llenar modelo7
modelData[2449:2856,2]<-modelo7[,i]
modelData[2449:2856,3]<-substr(y7,0,nchar(y7))
# Llenar modelo8
modelData[2857:3264,2]<-modelo8[,i]
modelData[2857:3264,3]<-substr(y8,0,nchar(y8))
# Llenar modelo9
```



```
modelData[3265:3672,2]<-modelo9[,i]
modelData[3265:3672,3]<-substr(y9,0,nchar(y9))
# Llenar modelo10
modelData[3673:4080,2]<-modelo10[,i]
modelData[3673:4080,3]<-substr(y10,0,nchar(y10))
g<-TaylorDiagram(as.data.frame(modelData),obs = "obs",mod = "mod",group =
"Modelos", main=paste("Precipitaci?n CMIP6 - ", colnames(Piscofile)[i], sep=""))
plot_lst[[i-1]] <- g
for(i in 1:25){
dev.off()
tic()
# Combine all plots
print(plot_lst[i])
png(filename=paste(i, "png", sep="."))
Sys.sleep(3)
toc()
}
```



## ANEXO D: CÓDIGO PARA OBTENER LA REDUCCION DE ESCALA ESTADISTICO

```
#example made by Adrian Huerta (adrhuerta@gmail.com //  
https://github.com/adrhuerta)  
  
## Comentado por Waldo Lavado  
  
## Modificado por Walter Huatuco  
  
## install.packages(c('qmap','zoo','latticeExtra'))  
  
library(qmap) #quantile mapping algorithm  
library(zoo) #time series functions  
library(latticeExtra) #plotting  
  
rm(list = ls())  
  
files<- list.files(path  
="D:/CMIP6_PP/SSP245/Modelos_Csv",pattern='*.csv',full.names=FALSE)  
  
#reading Pisco  
  
Pisco<-read.csv("E:/TESIS_DATA/Pp_Titicaca2.csv")#archivo  
pr<-matrix(,nrow = 1440,ncol = 18)# colocar nro cuencas+1  
colnames(pr)<-c(colnames(Pisco))  
  
for(j in seq_along(files)) {  
  setwd('D:/CMIP6_PP/SSP245/Modelos_Csv')#CARPETA DONDE SE UBICAN LOS  
  csv  
  
  namefile<- tools::file_path_sans_ext(files[j])  
  print(namefile)  
  gcm<- read.csv(paste(namefile, 'csv', sep="."))  
  for(k in 2:18) {# colocar nro cuencas+1  
    #reading info  
    nombre_cuenca<-colnames(Pisco)[k]  
    titulo<-paste0("OBS vs GCM(",namefile,")", " - Cuenca:",nombre_cuenca)  
    obs_d1 <- data.frame(date = c(Pisco[1:408,1]), pp=as.numeric(c(Pisco[1:408,k])))  
    gcm_d1<- data.frame(date = c(gcm[,1]), pp=as.numeric(c(gcm[,k])))  
    obs_d<-read.zoo(obs_d1, format = "%Y-%m-%d")  
    gcm_d<-read.zoo(gcm_d1, format = "%Y-%m-%d")  
    gcm_d_obs_time <- window(gcm_d, end = "2014-12-01")  
    data_at <- cbind(obs_d,gcm_d)
```



```
data_wt <- cbind(obs_d,gcm_d_obs_time)

#plotting time series
plot(data_at,
plot(data_wt,
      plot.type = "single", col = c(1, 2), lwd = 2,
      main = titulo, ylab = "pp (mm/mes)")
plot(data_wt[months(time(data_wt)) %in% c("Diciembre","Enero","Febrero")],
      plot.type = "single", col = c(1, 2), lwd = 2,type='p',
      main = titulo, ylab = "pp (mm/mes)")

#scatterplot
plot(gcm_d_obs_time~obs_d ,coredata(data_wt))
plot(gcm_d_obs_time~obs_d ,coredata(data_wt[ months(time(data_wt)) %in%
c("Diciembre","Enero","Febrero") ]))

#ecdf plot
ecdfplot(~ obs_d + gcm_d_obs_time, data = data.frame(data_wt),
          lwd = 3, col = c(1, 2))
ecdfplot(~ obs_d + gcm_d_obs_time, data =
data.frame(data_wt[months(time(data_wt)) %in%
c("Diciembre","Enero","Febrero")]),
          lwd = 3, col = c(1, 2))

##### seasonal quantile empirical mapping #####
data_wt$gcm_dowscaled <- data_wt$gcm_d_obs_time
seasons_by_year <- list(c("Diciembre","Enero","Febrero"),
                       c("Marzo","Abril","Mayo"),
                       c("Junio","Julio","Agosto"),
                       c("Setiembre","Octubre","Noviembre"))

seasonal_qm_fit_model <- list()
for(i in 1:4) {
  obs_sl <- data_wt[months(time(data_wt)) %in% seasons_by_year[[i]]]$obs_d
  mod_sl <- data_wt[months(time(data_wt)) %in%
seasons_by_year[[i]]]$gcm_d_obs_time
  #MODEL, read!: L. Gudmundsson et al. (2012)
  qm_fit <- fitQmapQUANT(obs = coredata(obs_sl), coredata(mod_sl),
```



```
qstep = 0.01, nboot = 1, wet.day = T, type="linear")

mod_sl_qmapped <- doQmapQUANT(coredata(mod_sl), qm_fit, type = "linear")

data_wt$gcm_downscaled[ months(time(data_wt)) %in% seasons_by_year[[i]] ] <-
mod_sl_qmapped

seasonal_qm_fit_model[[i]] <- qm_fit

plot(data_wt,

plot.type = "single", col = c(1, 2, 3), lwd = 2,

main = c("OBS vs GCM vs GCM downscaled"), ylab = "pp (mm/mes)")

plot(data_wt[months(time(data_wt)) %in% c("Diciembre","Enero","Febrero")],

plot.type = "single", col = c(1, 2, 3), lwd = 2, type = "p",

main = c("OBS vs GCM vs GCM downscaled"), ylab = "pp (mm/mes)")

plot(gcm_downscaled~obs_d ,coredata(data_wt))

plot(gcm_downscaled~obs_d ,coredata(data_wt[ months(time(data_wt)) %in%
c("Diciembre","Enero","Febrero") ]))

ecdfplot(~ obs_d + gcm_d_obs_time + gcm_downscaled, data = data.frame(data_wt),

lwd = 3, col = c(1, 2, 3))

ecdfplot(~ obs_d + gcm_d_obs_time + gcm_downscaled, data =
data.frame(data_wt[months(time(data_wt)) %in%
c("Diciembre","Enero","Febrero")]),

lwd = 3, col = c(1, 2, 3))

#ecdfplot(~ obs_d + gcm_downscaled, data = data.frame(data_wt),

#lwd = 3, col = c(1, 2, 3)

#calibration performance? : cross validation, LOOCV ?

##### future data ?

### applying seasonal qm_fit (the simplest option)

data_at$GCM_downscaled <- data_at$gcm_d

for(i in 1:4)

mod_sl <- data_at[months(time(data_at)) %in% seasons_by_year[[i]]]$gcm_d

mod_sl_qmapped <- doQmapQUANT(coredata(mod_sl),

seasonal_qm_fit_model[[i]], type = "linear")

data_at$GCM_downscaled[ months(time(data_at)) %in% seasons_by_year[[i]] ] <-
mod_sl_qmapped

plot(data_at,

plot.type = "single", col = c(1, 2, 3), lwd = c(1,2,1), type = c("l","l","l"),
```



```
main = titulo, ylab = "pp (mm/mes)")
plot(data_at[,-2],
      plot.type = "single", col = c(1, 2), lwd = c(4,2),
      main = titulo, ylab = "pp (mm/mes)")
# Extraer datos
pr[,k] <- data_at[,3]
#annual totals comparison
data_at_df <- transform(data.frame(data_at), year = substr(time(data_at), 1, 4))
modeldata <- as.numeric(by(data_at_df, data_at_df$year, function(z) {
  sum(z$GCM_downscaled) })))
modeldata_raw <- as.numeric(by(data_at_df, data_at_df$year, function(z) {
  sum(z$gcm_d) })))
obsdata <- as.numeric(by(data_at_df, data_at_df$year, function(z) {
  sum(z$obs_d) })))
plot(1981:2100, modeldata, type = "l", lwd = 5, ylim = c(500, 4500), col = "red", main
= titulo)
points(1981:2100, obsdata, type = "l", lwd = 5)
points(1981:2100, modeldata_raw, type = "l", lwd = 5, col = "blue")
setwd('D:/CMIP6_PP/SSP245/Resultados/Percentiles')#CARPETA DONDE SE
GUARDA LOS Downscaling
pr[,1]<-c(gcm[,1])
```



## ANEXO E: CÓDIGO PARA OBTENER EL PERCENTIL 5, 50 Y 95

```
#COMPARA SSP45 Y SSP85 Y OBTIENE LA MEDIA, P95 P5 DE LOS 10 TOP
MODELOS POR CADA CUENCA

#Realizado por Walter Huatuco Lopez

#install.packages("dplyr")

require(tictoc)

library(zoo)

library(ggplot2)

library(dplyr)

library(tidyverse)

library(xts)

library(gridExtra)

library(grid)

files45<- list.files(path
="D:/DOWNSCALING_grupo2/pp45/Downscaling",pattern="*.csv",full.names=FALSE
)#carpeta

files85<- list.files(path
="D:/DOWNSCALING_grupo2/pp85/Downscaling",pattern="*.csv",full.names=FALSE
)#carpeta

name_cuencas<-read.csv("D:/Archivos_R/CC_RR/CC_2/Name_cuencas.csv")#archivo
de listado de cuencas

pisco<-read.csv("D:/PISCO/pr_cuencas.csv")#archivo de precipitacion de PISCO

p5_p50_p95_pp_mensual_45<-matrix(nrow = 1440,ncol = 76)# 1440 meses desde
1981 a 2100, 76 columnas(3x25+1) por cuenca

p5_p50_p95_pp_anual_45<-matrix(nrow = 120,ncol = 76)# 120 años desde 1981 a
2100, 76 columnas (3x25+1) por cuenca

p5_p50_p95_pp_mensual_85<-matrix(nrow = 1440,ncol = 76)# 1440 meses desde
1981 a 2100, 76 columnas (3x25+1) por cuenca

p5_p50_p95_pp_anual_85<-matrix(nrow = 120,ncol = 76)# 120 años desde 1981 a
2100, 76 columnas (3x25+1) por cuenca

resumen_incrementos<-matrix(nrow = 17,ncol = 13)# Cambiar 25 por el nro de
cuencas

plot_lst <- vector("list", length = 17)# Cambiar 25 por el nro de cuencas

k=2

for (i in 2:18) { # 18 =nro de cuencas +1
```



```
# DATA PISCO

idx <- as.Date(pisco[,1])
data1.matrix <- pisco[,i]
data1.xts <- xts(data1.matrix, order.by = idx )
data_p50.monthly <- apply.monthly(data1.xts[,1], FUN = sum)#
data_p50.anual <- apply.yearly(data_p50.monthly, FUN=apply, 2, sum)
  pisco_anual<-matrix(,nrow = nrow(pisco)/12,ncol = 2)
pisco_anual[,2]<-data_p50.anual
  fecha<-as.data.frame(data_p50.anual)
  pisco_anual[,1]<-rownames(fecha)
  pisco_anual<-as.data.frame(pisco_anual)
  pisco_anual$V1<-as.Date(pisco_anual$V1)
pisco_anual$V2<-as.numeric(pisco_anual$V2)
pisco_anual <- pisco_anual[1:34, ]
Po<-mean(pisco_anual$V2)

# LOS 10 TOP MODELOS PARA GCM_45

setwd('D:/DOWNSCALING_grupo2/pp45/Downscaling') #carpeta donde se
encuentran los datos de precipitacion de cada modelo GCM

  modelo1 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[1]), 'csv', sep="."))
  modelo2 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[2]), 'csv', sep="."))
  modelo3 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[3]), 'csv', sep="."))
  modelo4 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[4]), 'csv', sep="."))
  modelo5 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[5]), 'csv', sep="."))
  modelo6 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[6]), 'csv', sep="."))
  modelo7 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[7]), 'csv', sep="."))
  modelo8 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[8]), 'csv', sep="."))
  modelo9 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[9]), 'csv', sep="."))
  modelo10 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[10]), 'csv', sep="."))

  dat <- data.frame(y1 = c(modelo1[,i]), y2=c(modelo2[,i]),
y3=c(modelo3[,i]),y4=c(modelo4[,i]),y5=c(modelo5[,i]),y6=c(modelo6[,i]),

y7=c(modelo7[,i]),y8=c(modelo8[,i]),y9=c(modelo9[,i]),y10=c(modelo10[,i]))

  ss<-matrix(,nrow = nrow(dat),ncol = 3)
```





```
cmip5_anual<-matrix(,nrow = nrow(dat)/12,ncol = 4)
  for (j in 1:nrow(dat)) {
    ss[j,1]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(dat)[j,],probs = 0.05))[1])
    ss[j,2]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(dat)[j,],probs = 0.5))[1])
    ss[j,3]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(dat)[j,],probs = 0.95))[1])
  }
  idx <- as.Date(modelo1[,1])
data1.matrix <- ss[,]
data1.xts <- xts(data1.matrix, order.by = idx )
  data_p5.monthly <- apply.monthly(data1.xts[,1], FUN = sum)#
data_p5.anual <- apply.yearly(data_p5.monthly, FUN=apply, 2, sum)
  data_p50.monthly <- apply.monthly(data1.xts[,2], FUN = sum)#
data_p50.anual <- apply.yearly(data_p50.monthly, FUN=apply, 2, sum)
  data_p95.monthly <- apply.monthly(data1.xts[,3], FUN = sum)#
data_p95.anual <- apply.yearly(data_p95.monthly, FUN=apply, 2, sum)
  datos45mensual1<-as.data.frame(data_p5.monthly)
datos45mensual2<-as.data.frame(data_p50.monthly)
datos45mensual3<-as.data.frame(data_p95.monthly)
  p5_p50_p95_pp_mensual_45[,k]<-datos45mensual1$V1
p5_p50_p95_pp_mensual_45[,k+1]<-datos45mensual2$V1
p5_p50_p95_pp_mensual_45[,k+2]<-datos45mensual3$V1
  datos45anual1<-as.data.frame(data_p5.anual)
datos45anual2<-as.data.frame(data_p50.anual)
datos45anual3<-as.data.frame(data_p95.anual)
  p5_p50_p95_pp_anual_45[,k]<-datos45anual1$V1
p5_p50_p95_pp_anual_45[,k+1]<-datos45anual2$V1
p5_p50_p95_pp_anual_45[,k+2]<-datos45anual3$V1
  cmip5_anual[,2]<-data_p5.anual
cmip5_anual[,3]<-data_p50.anual
cmip5_anual[,4]<-data_p95.anual
  fecha<-as.data.frame(data_p5.anual)
cmip5_anual[,1]<-rownames(fecha)
```



```
cmip55_anual<-as.data.frame(cmip5_anual)
cmip55_anual$V1<-as.Date(cmip55_anual$V1)
cmip55_anual$V2<-as.numeric(cmip55_anual$V2)
cmip55_anual$V3<-as.numeric(cmip55_anual$V3)
cmip55_anual$V4<-as.numeric(cmip55_anual$V4)
# porcentaje de cambio en la precipitacion para 45
ANUAL45<-matrix(,nrow = nrow(modelo1)/12,ncol = 10)
cuantil_anual45<-matrix(,nrow = nrow(modelo1)/12,ncol = 4)
datanual<-matrix(,nrow = nrow(dat)/12,ncol = 2)
for (n in 1:10) {
  modelo1 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files45[n]), 'csv', sep="."))
  datanual.matrix<-modelo1[,i]
  idx <- as.Date(modelo1[,1])
  datanual.xts <- xts(datanual.matrix, order.by = idx )
  datanual.monthly <- apply.monthly(datanual.xts[,1], FUN = sum)#
  datanual.anual <- apply.yearly(datanual.monthly, FUN=apply, 2, sum)
  datos<-as.data.frame(datanual.anual)
  ANUAL45[,n]<-(datos$V1/Po-1)*100
datanual1<-as.data.frame(ANUAL45)
ss1<-matrix(,nrow = nrow(datanual1),ncol = 3)
for (j in 1:nrow(datanual1)) {
  ss1[j,1]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(datanual1)[j,],probs = 0.05))[1])
  ss1[j,2]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(datanual1)[j,],probs = 0.5))[1])
  ss1[j,3]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(datanual1)[j,],probs = 0.95))[1])
cuantil_anual45[,2]<-ss1[,1]
cuantil_anual45[,3]<-ss1[,2]
cuantil_anual45[,4]<-ss1[,3]
fecha<-as.data.frame(datanual.anual)
cuantil_anual45[,1]<-rownames(fecha)
cuantil_anual45<-as.data.frame(cuantil_anual45)
cuantil_anual45$V1<-as.Date(cuantil_anual45$V1)
cuantil_anual45$V2<-as.numeric(cuantil_anual45$V2)
```



```
cuantil_anual455$V3<-as.numeric(cuantil_anual455$V3)
cuantil_anual455$V4<-as.numeric(cuantil_anual455$V4)
# LOS 10 TOP MODELOS PARA GCM_85
setwd('D:/DOWNSCALING_grupo2/pp85/Downscaling') #carpeta donde se
encuentran los datos de precipitacion de cada modelo GCM
modelo1 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[1]), 'csv', sep="."))
modelo2 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[2]), 'csv', sep="."))
modelo3 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[3]), 'csv', sep="."))
modelo4 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[4]), 'csv', sep="."))
modelo5 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[5]), 'csv', sep="."))
modelo6 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[6]), 'csv', sep="."))
modelo7 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[7]), 'csv', sep="."))
modelo8 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[8]), 'csv', sep="."))
modelo9 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[9]), 'csv', sep="."))
modelo10 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[10]), 'csv', sep="."))
dat <- data.frame(y1 = c(modelo1[,i]), y2=c(modelo2[,i]),
y3=c(modelo3[,i]),y4=c(modelo4[,i]),y5=c(modelo5[,i]),y6=c(modelo6[,i]),
y7=c(modelo7[,i]),y8=c(modelo8[,i]),y9=c(modelo9[,i]),y10=c(modelo10[,i]))
ss<-matrix(,nrow = nrow(dat),ncol = 3)
cmip6_anual<-matrix(,nrow = nrow(dat)/12,ncol = 4)
for (j in 1:nrow(dat)) {
ss[j,1]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(dat)[j,],probs = 0.05))[1])
ss[j,2]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(dat)[j,],probs = 0.5))[1])
ss[j,3]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(dat)[j,],probs = 0.95))[1])
idx <- as.Date(modelo1[,1])
data1.matrix <- ss[,]
data1.xts <- xts(data1.matrix, order.by = idx )
data_p5.monthly <- apply.monthly(data1.xts[,1], FUN = sum)#
data_p5.anual <- apply.yearly(data_p5.monthly, FUN=apply, 2, sum)
data_p50.monthly <- apply.monthly(data1.xts[,2], FUN = sum)#
data_p50.anual <- apply.yearly(data_p50.monthly, FUN=apply, 2, sum)
data_p95.monthly <- apply.monthly(data1.xts[,3], FUN = sum)#
```



```
data_p95.anual <- apply.yearly(data_p95.monthly, FUN=apply, 2, sum)

datos<-as.data.frame(data_p50.monthly)
  datos85mensual1<-as.data.frame(data_p5.monthly)
datos85mensual2<-as.data.frame(data_p50.monthly)
datos85mensual3<-as.data.frame(data_p95.monthly)
  p5_p50_p95_pp_mensual_85[,k]<-datos85mensual1$V1
p5_p50_p95_pp_mensual_85[,k+1]<-datos85mensual2$V1
p5_p50_p95_pp_mensual_85[,k+2]<-datos85mensual3$V1
  datos85anual1<-as.data.frame(data_p5.anual)
datos85anual2<-as.data.frame(data_p50.anual)
datos85anual3<-as.data.frame(data_p95.anual)
  p5_p50_p95_pp_anual_85[,k]<-datos85anual1$V1
p5_p50_p95_pp_anual_85[,k+1]<-datos85anual2$V1
p5_p50_p95_pp_anual_85[,k+2]<-datos85anual3$V1
  cmip6_anual[,2]<-data_p5.anual
cmip6_anual[,3]<-data_p50.anual
cmip6_anual[,4]<-data_p95.anual
fecha<-as.data.frame(data_p5.anual)
cmip6_anual[,1]<-rownames(fecha)
cmip66_anual<-as.data.frame(cmip6_anual)
cmip66_anual$V1<-as.Date(cmip66_anual$V1)
cmip66_anual$V2<-as.numeric(cmip66_anual$V2)
cmip66_anual$V3<-as.numeric(cmip66_anual$V3)
cmip66_anual$V4<-as.numeric(cmip66_anual$V4)
# porcentaje de cambio en la precipitacion para 85
ANUAL85<-matrix(,nrow = nrow(modelo1)/12,ncol = 10)
cuantil_anual85<-matrix(,nrow = nrow(modelo1)/12,ncol = 4)
datanual<-matrix(,nrow = nrow(dat)/12,ncol = 2)
for (n in 1:10) {
  modelo45 <- read.csv(paste(tools::file_path_sans_ext(files85[n]), 'csv', sep="."))
  datanual.matrix<-modelo45[,i]
```



```
idx <- as.Date(modelo45[,1])
datanual.xts <- xts(datanual.matrix, order.by = idx )
datanual.monthly <- apply.monthly(datanual.xts[,1], FUN = sum)#
datanual.anual <- apply.yearly(datanual.monthly, FUN=apply, 2, sum)
datos<-as.data.frame(datanual.anual)
ANUAL85[,n]<-(datos$V1/Po-1)*100
} datanual1<-as.data.frame(ANUAL85)
ss2<-matrix(nrow = nrow(datanual1),ncol = 3)
for (j in 1:nrow(datanual1)) {
ss2[j,1]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(datanual1)[j,],probs = 0.05))[1])
ss2[j,2]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(datanual1)[j,],probs = 0.5))[1])
ss2[j,3]<-as.numeric(as.matrix(quantile(as.matrix(datanual1)[j,],probs = 0.95))[1])
} cuantil_anual85[,2]<-ss2[,1]
cuantil_anual85[,3]<-ss2[,2]
cuantil_anual85[,4]<-ss2[,3]
fecha<-as.data.frame(datanual.anual)
cuantil_anual85[,1]<-rownames(fecha)
cuantil_anual855<-as.data.frame(cuantil_anual85)
cuantil_anual855$V1<-as.Date(cuantil_anual855$V1)
cuantil_anual855$V2<-as.numeric(cuantil_anual855$V2)
cuantil_anual855$V3<-as.numeric(cuantil_anual855$V3)
cuantil_anual855$V4<-as.numeric(cuantil_anual855$V4)
resumen_incrementos[(i-1),2]<-mean(cuantil_anual455$V2[55:85])
resumen_incrementos[(i-1),3]<-mean(cuantil_anual455$V3[55:85])
resumen_incrementos[(i-1),4]<-mean(cuantil_anual455$V4[55:85])
resumen_incrementos[(i-1),5]<-mean(cuantil_anual455$V2[90:120])
resumen_incrementos[(i-1),6]<-mean(cuantil_anual455$V3[90:120])
resumen_incrementos[(i-1),7]<-mean(cuantil_anual455$V4[90:120])
resumen_incrementos[(i-1),8]<-mean(cuantil_anual855$V2[55:85])
resumen_incrementos[(i-1),9]<-mean(cuantil_anual855$V3[55:85])
resumen_incrementos[(i-1),10]<-mean(cuantil_anual855$V4[55:85])
resumen_incrementos[(i-1),11]<-mean(cuantil_anual855$V2[90:120])
```



```
resumen_incrementos[(i-1),12]<-mean(cuantil_anual855$V3[90:120])
resumen_incrementos[(i-1),13]<-mean(cuantil_anual855$V4[90:120])
resumen_incrementos[(i-1),1]<-name_cuencas[(i-1),2]
g<-ggplot()+
  geom_line(data=cuantil_anual455,aes(x = V1, y = V3,colour = "red4"),
size=0.2,linetype = 1)+
  geom_ribbon(data=cuantil_anual455, aes(x = V1, ymin = V2, ymax =
V4),fill="red",alpha = 0.2)+
  scale_x_date(date_breaks = '10 year',labels = scales::date_format("%Y"))+
  geom_line(data=cuantil_anual855, aes(x = V1, y = V3,colour = "cyan"),
size=0.2,linetype = 1)+
  geom_ribbon(data=cuantil_anual855, aes(x = V1, ymin = V2, ymax =
V4),fill="cyan", alpha = 0.25)+
  ggtitle(name_cuencas[(i-1),2])+ ylab("% de precipitación")+xlab("Años")+
  theme_light()+
  scale_color_manual(name = NULL,labels = c("SSP5-4.5","SSP5-8.5"),
values=c("red4"="red4","cyan"="cyan"))+
  theme(plot.title = element_text(size = 11, face =
"bold"),legend.title=element_text(size=8))+
  theme(legend.position = c(0.1, 0.85),legend.background = element_rect(fill =
"white", color = "white"))+
  theme(axis.text = element_text(size = 10), axis.title = element_text(size = 11))+
  scale_y_continuous(breaks=seq(-50,75,25),limits = c(-50, 75))+
  theme(panel.grid.major = element_blank(), panel.grid.minor = element_blank(),
  panel.background = element_blank(), axis.line = element_line(colour =
"black"))
plot_lst[[i-1]] <- g
k<-(k+3)
# GUARDAR ARCHIVOS
setwd('D:/DOWNSCALING_grupo2/Medias')# Carpeta para archivo
p5_p50_p95_pp_mensual_45[,1]<-modelo1[,1]
p5_p50_p95_pp_mensual_85[,1]<-modelo1[,1]
colnames(p5_p50_p95_pp_mensual_45)<-c("date",paste0(paste0("X",c(rep(1:25, each
= 3, times = 1) )), c(rep(c("_p5","_p50","_p95"),25))))
colnames(p5_p50_p95_pp_mensual_85)<-c("date",paste0(paste0("X",c(rep(1:25, each
= 3, times = 1) )), c(rep(c("_p5","_p50","_p95"),25))))
```



```
colnames(resumen_incrementos)<-c("cuenca", "Min_2035-2065","Media_2035-2065",  
"Max_2035-2065","Min_2070-2100", "Media_2070-2100","Max_2070-  
2100","Min_2035-2065",  
"Media_2035-2065","Max_2035-2065", "Min_2070-2100",  
"Media_2070-2100","Max_2070-2100")  
write.table(x = p5_p50_p95_pp_mensual_45,file = "p5_p50_p95_pp_mensual_45.csv",  
sep = ',', row.names = FALSE)  
write.table(x = p5_p50_p95_pp_mensual_85,file = "p5_p50_p95_pp_mensual_85.csv",  
sep = ',', row.names = FALSE)  
write.table(x = resumen_incrementos,file = "resumen_incrementos_pp.csv", sep = ',',  
row.names = FALSE)  
plot_lst[5]# para ver grafico individual  
# GUARDAR GRAFICOS  
setwd('D:/DOWNSCALING_grupo2/Comparacion/Graficos/Precipitacion')# Carpeta  
para guardar graficos  
for(i in seq(from=1, to=25, by=4)){  
  tic() # Combine all plots  
  print(cowplot::plot_grid(plotlist = plot_lst[i:(i+3)], nrow = 2)) # cambiar 2:5 para  
plotear por partes  
  ggsave(filename=paste(str_c("Porcentaje_cambio_pp_", i), "png", sep="."),  
plot=ggplot2::last_plot(),dpi = 600)  
  Sys.sleep(2)  
  toc()  
}
```



## ANEXO F: CÓDIGO PARA EXTRAER EL SPI DURACIÓN, INTENSIDAD Y

### MAGNITUD

```
#=====
#=====
#SCRIPT: TESIS DE ARF DE SEGUIAS - ESTIMACION DEL SPI E
INTENSIDAD,DURACIÓN Y MAGNITUD
#Elaborado por: FIORELLA VEGA
#Descripción: Estimamos el SPI 3,6 y 12 y la duración, magnitud e intensidad para cada
periodo de SPI
#=====
#=====

#Instalando paquetes
#install.packages("SPEI")
#install.packages("rgdal")
#install.packages("raster")
library(SPEI)
library(rgdal)
library(zoo)
#=====
#=====

#ESTIMACION DEL SPI 3
#-----
#Establecer directorio de trabajo
#setwd("C:/Users/usuario/Google Drive/Curso Metodos
Estadisticos/5_SEQUIAS/R_codeSequia") #Modificar en funcion al directorio de
trabajo

#Leemos los datos

files<- list.files(path
="C:/DATOS/SSP245/PR/division",pattern='*.csv',full.names=FALSE)
n<-length(seq_along(files))

for (qq in seq_along(files)) {
  setwd('C:/DATOS/SSP245/PR/division')
  namefile<- tools::file_path_sans_ext(files[qq])
  print(namefile)

  datam<-read.csv(paste(namefile, 'csv', sep="."))

  dataQC1980_SC<-datam[,2:ncol(datam)]#Seleccionar los datos
  head(dataQC1980_SC)
  plot(dataQC1980_SC[,1],type="l")
  #SPI3
```





```
#-----  
spi_peru3<-list()  
for (i in 1:ncol(dataQC1980_SC)){#nrow(valores)  
  indice<-spei(dataQC1980_SC[i], 12, distribution = 'Gamma', fit = 'ub-pwm', na.rm =  
TRUE) #modificar valor de 3 en funcion a la escala del SPI 3,6,12  
  spi_value<-indice$fitted  
  spi_peru3[[i]]<-spi_value  
  
#png(filename=paste(substring(colnames(dataQC1980_SC[i]),2,7),".png",sep=""),width  
=700,height=500)  
  #nombre=colnames(dataQC1980_SC[i])  
  #plot(indice,main=nombre)  
  #dev.off()  
}  
spi_peru3.df<-as.data.frame(spi_peru3)  
#reemplazamos los NA de los primeros meses por 0.1  
#spi_peru3.df[is.na(spi_peru3.df)]<-0.1  
  
#Guardamos  
setwd('C:/ALVAROMQB/MAESTRIA/3_CICLO/Cambio_Climatico/2-  
TRABAJOS/T2/sequias/SSP245/12/spi')  
write.csv(spi_peru3.df,paste(namefile, 'csv', sep="."))  
  
#=====
```

#CALCULO DE DURACION, SEVERIDAD, INTENSIDAD E INTERARRIVAL  
PARA CADA SPI

```
#-----  
#FUNCION PARA EL CALCULO DE DURACION, SEVERIDAD, INTENSIDAD E  
INTERARRIVAL  
drought.index<-function(SPI,spi_escal,umbral){  
  #Calculo de parametros de sequia: Intensidad, Duraci?n, Severidad e Interarrival.  
  #SPI: serie de tiempo  
  #spi_escal: escala a en la que se calculo el spi  
  #umbral: valor minimo para calcular los parametros  
  #  
  #Adrian Huerta  
  SPI<-SPI[spi_escal:length(SPI)]  
  #----- severidad, duracion e intensidad -----  
  sdi<-SPI  
  sdi[sdi >= umbral]<-NA  
  idx<- 1 + cumsum(is.na(sdi))  
  no.NA<-!is.na(sdi)  
  D.S<-split(sdi[no.NA],idx[no.NA])  
  
  D<-matrix(nrow=length(D.S),ncol=1)  
  S<-matrix(nrow=length(D.S),ncol=1)  
  I<-matrix(nrow=length(D.S),ncol=1)  
  for (i in 1:length(D.S)){  
    D[i]<- length(D.S[[i]])
```



```
S[i]<- -1*sum(D.S[[i]])
I[i]<- min(D.S[[i]])
}
#I<-S/D
rm(idx,no.NA)

#----- Interarrival -----
int<-SPI
int[int < umbral]<-NA
idx<- 1 + cumsum(is.na(int))
no.NA<-!is.na(int)
I.n<-split(int[no.NA],idx[no.NA])

intera.raw<-matrix(nrow=length(I.n),ncol=1)
for (i in 1:length(I.n)){
  intera.raw[i]<- length(I.n[[i]])
}

#1era condici?n.
if (is.na(int[1])==FALSE){
  intera.y<-intera.raw[c(-1),]} else
  {intera.y<-intera.raw }

#2da condicion
if (is.na(int[length(int)])==FALSE){
  interarrival<-intera.y+D} else
  { n<-c(intera.y,0)+D
  interarrival<-matrix(n[-length(n)],ncol=1)}

return(list(Duracion=D,Severidad=S,Intensidad=I,Interarrival=interarrival))
}

#CALCULO DE DURACION, SEVERIDAD, INTENSIDAD E INTERARRIVAL
PARA SPI(6 Y 12)
#-----
#Para el SPI3-----
spi3_duracion<-list()
spi3_severidad<-list()
spi3_intensidad<-list()
spi3_interarrival<-list()
for (i in 1:ncol(spi_peru3.df)){#cambiar por el archivo que contiene las series de SPI
  SD3<-drought.index(spi_peru3.df[,i],12,-0.84)#cambiar el valor 3 en funcion a la
escala del SPI
  spi3_duracioni<-SD3$Duracion
  spi3_severidadi<-SD3$Severidad
  spi3_intensidadi<-SD3$Intensidad
  spi3_interarrivali<-SD3$Interarrival
  a<-nrow(as.data.frame(spi3_duracioni))
  na_comp<-matrix(999,ncol=1,nrow=(100-a))
  #el numero de interarrivals puede ser diferente al de los otros indicadores por lo que:
```



```
a1<-nrow(as.data.frame(spi3_interarrivali))
na_comp1<-matrix(999,ncol=1,nrow=(100-a1))
#continua
duracion<-rbind(spi3_duracioni,na_comp)
severidad<-rbind(spi3_severidadi,na_comp)
intensidad<-rbind(spi3_intensidadi,na_comp)
interarrival<-rbind(spi3_interarrivali,na_comp1)
spi3_duracion[[i]]<-duracion
colnames(spi3_duracion[[i]])<-colnames(spi_peru3.df[i])
spi3_severidad[[i]]<-severidad
colnames(spi3_severidad[[i]])<-colnames(spi_peru3.df[i])
spi3_intensidad[[i]]<-intensidad
colnames(spi3_intensidad[[i]])<-colnames(spi_peru3.df[i])
spi3_interarrival[[i]]<-interarrival
colnames(spi3_interarrival[[i]])<-colnames(spi_peru3.df[i])
}
#convertimos los resultados a dataframe
spi3_duracionP<-as.data.frame(spi3_duracion)
spi3_severidadP<-as.data.frame(spi3_severidad)
spi3_intensidadP<-as.data.frame(spi3_intensidad)
spi3_interarrivalP<-as.data.frame(spi3_interarrival)

rm(spi3_duracioni,spi3_severidadi,spi3_intensidadi,spi3_interarrivali)
rm(spi3_duracion,spi3_severidad,spi3_intensidad,spi3_interarrival)
#Quitando los valores auxiliares 999
spi3_duracionP[spi3_duracionP==999]<-NA
spi3_severidadP[spi3_severidadP==999]<-NA
spi3_intensidadP[spi3_intensidadP==999]<-NA
spi3_interarrivalP[spi3_interarrivalP==999]<-NA

#estimamos el numero de valores
contar<-function (x){
  length(which(!is.na(x)))
}
n_intensidad<-apply(spi3_intensidadP,2,contar)
("elegimos guardar hasta el numero maximo de valores")
max_val<-summary(n_intensidad)[[6]]

#Guardamos
setwd('C:/sequias/SSP245/12/severidad')
write.csv(spi3_severidadP[1:max_val,],paste(namefile, 'csv', sep="."))
setwd('C:/sequias/SSP245/12/intensidad')
write.csv(spi3_intensidadP[1:max_val,],paste(namefile, 'csv', sep="."))

#write.csv(spi3_interarrivalP[1:max_val,],"spi3_interarrivalM.csv",row.names=FALSE)
setwd('C:/sequias/SSP245/12/duracion')
write.csv(spi3_duracionP[1:max_val,],paste(namefile, 'csv', sep="."))
}
```

## ANEXO G0: METRICAS DE RENDIMEINTO PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA

**Tabla 19**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Azángaro*

CUENCA AZANGARO											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	
ACCESS-CM2	33	0.16	1.28	0.18	-2.93	ACCESS-CM2	34	0.16	1.28	0.18	-2.93
ACCESS-ESM1-5	17	0.19	1.17	0.23	-2.51	ACCESS-ESM1-5	18	0.19	1.17	0.23	-2.51
AWI-CM-1-1-MR	11	0.21	0.99	0.31	-1.91	AWI-CM-1-1-MR	13.5	0.21	0.99	0.31	-1.91
BCC-CSM2-MR	31	0.18	1.28	0.19	-2.79	BCC-CSM2-MR	32	0.18	1.28	0.19	-2.79
CAMS-CSM1-0	7	0.26	0.72	0.26	-1.25	CAMS-CSM1-0	7	0.26	0.72	0.26	-1.25
CanESM5-CanOE p2	36	0.18	1.33	0.15	-2.95	CanESM5-CanOE p1	37	0.18	1.33	0.15	-2.95
CanESM5 p1	24	0.19	1.32	0.22	-2.87	CanESM5-CanOE p2	9	0.24	1.24	0.32	-2.37
CanESM5 p2	34	0.19	1.31	0.14	-2.89	CanESM5 p1	25	0.19	1.32	0.22	-2.87
CESM2-WACCM	9	0.24	1.30	0.36	-2.49	CanESM5 p2	36	0.19	1.31	0.14	-2.89
CESM2	8	0.24	1.24	0.32	-2.37	CESM2-WACCM	22	0.43	0.39	-0.02	-0.02
CIESM	21.5	0.43	0.39	-0.02	-0.02	CESM2	11	0.24	1.30	0.36	-2.49
CMCC-CM2-SR5	36	0.13	2.09	0.21	-4.99	CIESM	38	0.13	2.09	0.21	-4.99
CNRM-CM6-1-HR f2	11	0.26	0.74	0.22	-1.29	CMCC-CM2-SR5	17	0.19	1.11	0.26	-2.30
CNRM-CM6-1 f2	15	0.19	1.11	0.26	-2.30	CNRM-CM6-1-HR f2	24	0.19	1.16	0.22	-2.45
CNRM-ESM2-1 f2	23	0.19	1.16	0.22	-2.45	CNRM-CM6-1 f2	11	0.26	0.74	0.22	-1.29
EC-Earth3-Veg	19	0.25	0.72	0.17	-1.32	CNRM-ESM2-1 f2	15	0.26	0.72	0.21	-1.29
EC-Earth3	21.5	0.25	0.71	0.07	-1.30	EC-Earth3-Veg	4	0.31	0.81	0.37	-1.24
FGOALS-f3-L	5	0.31	0.81	0.37	-1.24	EC-Earth3	21	0.25	0.72	0.17	-1.32
FGOALS-g3	39	0.11	1.95	-0.31	-5.44	FGOALS-f3-L	41	0.11	1.95	-0.31	-5.44
FIO-ESM-2-0	38	0.12	2.00	0.17	-4.89	FGOALS-g3	40	0.12	2.00	0.17	-4.89
GFDL-CM4	20	0.18	1.27	0.28	-2.67	FIO-ESM-2-0	23	0.18	1.27	0.28	-2.67
GFDL-ESM4	16	0.19	1.14	0.26	-2.33	GFDL-CM4	16	0.20	1.15	0.28	-2.31
GISS-E2-1-G p1	3	0.46	0.38	0.30	-0.18	GFDL-ESM4	1	0.48	0.42	0.42	-0.17
GISS-E2-1-G p3	14	0.20	1.12	0.27	-2.26	GISS-E2-1-G p1	19.5	0.19	1.10	0.22	-2.29
HadGEM3-GC31-LL f3	6	0.25	1.17	0.45	-2.00	GISS-E2-1-G p3	6	0.27	0.74	0.28	-1.24
HadGEM3-GC31-MM f3	11	0.23	1.30	0.44	-2.31	HadGEM3-GC31-LL f3	5	0.25	1.17	0.45	-2.00
INM-CM4-8	36	0.15	1.42	0.18	-3.23	HadGEM3-GC31-MM f3	11	0.23	1.30	0.44	-2.31
INM-CM5-0	18	0.21	0.97	0.22	-1.97	INM-CM4-8	39	0.15	1.44	0.18	-3.26
IPSL-CM6A-LR	28.5	0.15	1.63	0.25	-3.74	INM-CM5-0	19.5	0.21	0.97	0.22	-1.97
MCM-UA-1-0	13	0.22	0.98	0.30	-1.90	IPSL-CM6A-LR	35	0.15	1.59	0.21	-3.66

MIROC-ES2L f2	28.5	0.14	1.70	0.25	-3.85	KACE-1-0-G	8	0.23	1.13	0.37	-2.11
MIROC6	27	0.20	0.95	0.09	-2.08	MCM-UA-1-0	13.5	0.22	0.98	0.30	-1.90
MPI-ESM1-2-HR	25.5	0.19	1.08	0.17	-2.35	MIROC-ES2L f2	28.5	0.14	1.69	0.24	-3.87
MPI-ESM1-2-LR	4	0.37	0.81	0.39	-1.07	MIROC6	28.5	0.20	0.95	0.09	-2.08
MRI-ESM2-0	1.5	0.33	0.93	0.43	-1.34	MPI-ESM1-2-HR	30	0.14	1.67	0.22	-3.86
NESM3	31	0.17	1.21	0.19	-2.68	MPI-ESM1-2-LR	27	0.19	1.08	0.17	-2.35
NorESM2-LM	1.5	0.33	0.93	0.43	-1.34	MRI-ESM2-0	2.5	0.33	0.93	0.43	-1.34
NorESM2-MM	25.5	0.19	1.10	0.18	-2.32	NESM3	32	0.17	1.21	0.19	-2.68
UKESM1-0-LL f2	31	0.17	1.21	0.19	-2.68	NorESM2-LM	2.5	0.33	0.93	0.43	-1.34
						NorESM2-MM	26	0.19	1.11	0.18	-2.37
						UKESM1-0-LL f2	32	0.17	1.21	0.19	-2.68

**Tabla 20**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Callaccame*

CUENCA CALLACCAME											
ESCENARIO SSP2-4.5						ESCENARIO SSP5-8.5					
CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
ACCESS-CM2	7	0.65	0.28	0.51	0.12	ACCESS-CM2	8	0.65	0.28	0.51	0.12
ACCESS-ESM1-5	24.5	0.45	0.45	0.45	-0.66	ACCESS-ESM1-5	25	0.45	0.45	0.45	-0.66
AWI-CM-1-1-MR	11	0.55	0.37	0.53	-0.14	AWI-CM-1-1-MR	13	0.55	0.37	0.53	-0.14
BCC-CSM2-MR	38.5	0.17	0.89	0.04	-3.20	BCC-CSM2-MR	40.5	0.17	0.89	0.04	-3.20
CAMS-CSM1-0	34	0.28	0.58	0.30	-1.48	CAMS-CSM1-0	35	0.28	0.58	0.30	-1.48
CanESM5-CanOE p2	37	0.28	0.62	0.14	-1.76	CanESM5-CanOE p1	38	0.28	0.62	0.14	-1.76
CanESM5 p1	35	0.29	0.61	0.21	-1.68	CanESM5-CanOE p2	16	0.47	0.44	0.51	-0.57
CanESM5 p2	36	0.29	0.61	0.13	-1.70	CanESM5 p1	36	0.29	0.61	0.21	-1.68
CESM2-WACCM	12	0.46	0.50	0.55	-0.73	CanESM5 p2	37	0.29	0.61	0.13	-1.70
CESM2	17.5	0.47	0.45	0.49	-0.59	CESM2-WACCM	30	0.46	0.28	-0.07	-0.07
CIESM	31	0.46	0.28	-0.07	-0.07	CESM2	13	0.46	0.50	0.55	-0.73
CMCC-CM2-SR5	33	0.30	0.67	0.30	-1.82	CIESM	31.5	0.30	0.67	0.30	-1.82
CNRM-CM6-1-HR f2	4	0.65	0.25	0.50	0.17	CMCC-CM2-SR5	20	0.55	0.22	0.27	-0.01
CNRM-CM6-1 f2	19	0.55	0.22	0.27	-0.01	CNRM-CM6-1-HR f2	23.5	0.50	0.26	0.24	-0.16
CNRM-ESM2-1 f2	21	0.50	0.26	0.24	-0.16	CNRM-CM6-1 f2	7	0.65	0.25	0.50	0.17
EC-Earth3-Veg	14	0.54	0.30	0.43	-0.15	CNRM-ESM2-1 f2	13	0.55	0.31	0.50	-0.12
EC-Earth3	17.5	0.53	0.30	0.37	-0.15	EC-Earth3-Veg	27	0.45	0.36	0.32	-0.48
FGOALS-f3-L	27	0.45	0.36	0.32	-0.48	EC-Earth3	18.5	0.54	0.30	0.43	-0.15
FGOALS-g3	38.5	0.18	0.87	0.00	-3.09	FGOALS-f3-L	40.5	0.18	0.87	0.00	-3.09
FIO-ESM-2-0	31	0.29	0.69	0.34	-1.86	FGOALS-g3	29	0.29	0.69	0.34	-1.86
GFDL-CM4	21	0.46	0.40	0.46	-0.49	FIO-ESM-2-0	22	0.46	0.40	0.46	-0.49
GFDL-ESM4	24.5	0.42	0.42	0.44	-0.64	GFDL-CM4	26	0.42	0.43	0.44	-0.64
GISS-E2-1-G p1	9	0.61	0.23	0.36	0.09	GFDL-ESM4	10	0.62	0.24	0.43	0.13
GISS-E2-1-G p3	1	0.73	0.26	0.59	0.32	GISS-E2-1-G p1	4	0.71	0.24	0.51	0.29
HadGEM3-GC31-LL f3	23	0.38	0.75	0.52	-1.32	GISS-E2-1-G p3	1	0.85	0.17	0.55	0.57
HadGEM3-GC31-MM f3	21	0.35	0.81	0.55	-1.57	HadGEM3-GC31-LL f3	23.5	0.38	0.75	0.52	-1.32
INM-CM4-8	8	0.63	0.24	0.39	0.17	HadGEM3-GC31-MM f3	21	0.35	0.81	0.55	-1.57



INM-CM5-0	13	0.56	0.34	0.48	-0.12	INM-CM4-8	9	0.63	0.24	0.45	0.17
IPSL-CM6A-LR	31	0.35	0.48	0.32	-1.07	INM-CM5-0	15	0.56	0.34	0.48	-0.12
MCM-UA-1-0	10	0.58	0.34	0.54	-0.04	IPSL-CM6A-LR	34	0.35	0.47	0.18	-1.03
MIROC-ES2L f2	29	0.29	0.78	0.39	-1.94	KACE-1-0-G	39	0.20	0.89	0.27	-2.82
MIROC6	15.5	0.59	0.31	0.43	0.00	MCM-UA-1-0	11	0.58	0.34	0.54	-0.04
MPI-ESM1-2-HR	15.5	0.46	0.51	0.51	-0.68	MIROC-ES2L f2	31.5	0.28	0.79	0.41	-2.02
MPI-ESM1-2-LR	26	0.36	0.70	0.48	-1.51	MIROC6	18.5	0.59	0.31	0.43	0.00
MRI-ESM2-0	5.5	0.67	0.32	0.57	0.14	MPI-ESM1-2-HR	33	0.28	0.77	0.41	-1.98
NESM3	2.5	0.71	0.23	0.50	0.31	MPI-ESM1-2-LR	17	0.46	0.51	0.51	-0.68
NorESM2-LM	5.5	0.67	0.32	0.57	0.14	MRI-ESM2-0	5.5	0.67	0.32	0.57	0.14
NorESM2-MM	28	0.40	0.42	0.31	-0.75	NESM3	2.5	0.71	0.23	0.50	0.31
UKESM1-0-LL f2	2.5	0.71	0.23	0.50	0.31	NorESM2-LM	5.5	0.67	0.32	0.57	0.14
						NorESM2-MM	28	0.40	0.42	0.30	-0.73
						UKESM1-0-LL f2	2.5	0.71	0.23	0.50	0.31

**Tabla 21**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Coata*

CUENCA COATA											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP5-8.5				
	Rank	md	nRMS E	SPAEF	KG E		Rank	md	nRMS E	SPAEF	KG E
ACCESS-CM2	21	0.33	0.59	0.27	-1.26	ACCESS-CM2	22	0.33	0.59	0.27	-1.26
ACCESS-ESM1-5	27	0.27	0.80	0.21	-2.00	ACCESS-ESM1-5	28	0.27	0.80	0.21	-2.00
AWI-CM-1-1-MR	11	0.38	0.51	0.33	-0.84	AWI-CM-1-1-MR	10.5	0.38	0.51	0.33	-0.84
BCC-CSM2-MR	37.5	0.19	1.04	0.01	-3.18	BCC-CSM2-MR	39	0.19	1.04	0.01	-3.18
CAMS-CSM1-0	24	0.30	0.64	0.29	-1.38	CAMS-CSM1-0	25	0.30	0.64	0.29	-1.38
CanESM5-CanOE p2	37.5	0.19	1.18	0.02	-3.56	CanESM5-CanOE p1	40	0.19	1.18	0.02	-3.56
CanESM5 p1	35	0.19	1.17	0.14	-3.46	CanESM5-CanOE p2	21	0.19	0.77	0.32	-1.69
CanESM5 p2	36	0.19	1.17	0.02	-3.49	CanESM5 p1	37	0.19	1.17	0.14	-3.46
CESM2-WACCM	17	0.32	0.83	0.36	-1.84	CanESM5 p2	38	0.19	1.17	0.02	-3.49
CESM2	20	0.33	0.78	0.32	-1.70	CESM2-WACCM	24	0.33	0.78	0.32	-1.70
CIESM	23	0.48	0.34	0.03	-0.05	CIESM	15	0.48	0.34	0.03	-0.05
CMCC-CM2-SR5	32.5	0.23	1.00	0.19	-2.78	CIESM	32	0.23	1.00	0.19	-2.78
CNRM-CM6-1-HR f2	7.5	0.50	0.31	0.29	-0.20	CMCC-CM2-SR5	29	0.50	0.31	0.29	-0.20
CNRM-CM6-1 f2	28	0.29	0.59	0.17	-1.41	CNRM-CM6-1-HR f2	31	0.29	0.59	0.17	-1.41
CNRM-ESM2-1 f2	32.5	0.27	0.64	0.15	-1.60	CNRM-CM6-1 f2	9	0.27	0.64	0.15	-1.60
EC-Earth3-Veg	19	0.34	0.55	0.29	-1.11	CNRM-ESM2-1 f2	14	0.34	0.55	0.29	-1.11
EC-Earth3	22	0.35	0.54	0.20	-1.07	EC-Earth3-Veg	5	0.35	0.54	0.20	-1.07



FGOALS-f3-L	4	0.42	0.48	0.34	-0.75	EC-Earth3	19.5	0.34	0.55	0.29	-1.11
FGOALS-g3	39	0.09	2.28	-0.39	-8.74	FGOALS-f3-L	41	0.09	2.28	-0.39	-8.74
FIO-ESM-2-0	31	0.21	1.04	0.20	-2.97	FGOALS-g3	33	0.21	1.04	0.20	-2.97
GFDL-CM4	25	0.30	0.66	0.27	-1.49	FIO-ESM-2-0	26.5	0.30	0.66	0.27	-1.49
GFDL-ESM4	26	0.30	0.64	0.25	-1.44	GFDL-CM4	26.5	0.30	0.64	0.26	-1.41
GISS-E2-1-G p1	13	0.53	0.28	0.20	-0.13	GFDL-ESM4	6.5	0.53	0.31	0.29	-0.11
GISS-E2-1-G p3	5.5	0.39	0.53	0.37	-0.90	GISS-E2-1-G p1	12.5	0.39	0.52	0.32	-0.94
HadGEM3-GC31-LL f3	11	0.36	0.84	0.52	-1.46	GISS-E2-1-G p3	1	0.36	0.32	0.41	-0.16
HadGEM3-GC31-MM f3	11	0.33	0.91	0.54	-1.71	HadGEM3-GC31-LL f3	10.5	0.33	0.84	0.52	-1.46
INM-CM4-8	18	0.40	0.40	0.21	-0.65	HadGEM3-GC31-MM f3	12.5	0.40	0.91	0.54	-1.71
INM-CM5-0	15	0.36	0.53	0.28	-1.03	INM-CM4-8	18	0.36	0.40	0.24	-0.66
IPSL-CM6A-LR	34	0.23	0.88	0.17	-2.42	INM-CM5-0	19.5	0.23	0.53	0.28	-1.03
MCM-UA-1-0	7.5	0.39	0.50	0.35	-0.80	IPSL-CM6A-LR	35	0.39	0.86	0.08	-2.35
MIROC-ES2L f2	30	0.20	1.08	0.22	-3.08	MCM-UA-1-0	6.5	0.20	0.50	0.35	-0.80
MIROC6	3	0.48	0.43	0.37	-0.45	MIROC-ES2L f2	34	0.48	1.09	0.20	-3.14
MPI-ESM1-2-HR	9	0.41	0.60	0.45	-0.94	MPI-ESM1-2-HR	36	0.41	1.07	0.18	-3.11
MPI-ESM1-2-LR	5.5	0.44	0.60	0.50	-0.90	MIROC6	4	0.44	0.43	0.37	-0.45
MRI-ESM2-0	1.5	0.50	0.50	0.53	-0.51	MRI-ESM2-0	2.5	0.50	0.50	0.53	-0.51
NESM3	15	0.36	0.54	0.31	-1.05	MPI-ESM1-2-LR	8	0.36	0.60	0.45	-0.94
NorESM2-LM	1.5	0.50	0.50	0.53	-0.51	NorESM2-LM	2.5	0.50	0.50	0.53	-0.51
NorESM2-MM	29	0.28	0.68	0.17	-1.68	NESM3	16.5	0.28	0.54	0.31	-1.05
UKESM1-0-LL f2	15	0.36	0.54	0.31	-1.05	NorESM2-MM	30	0.27	0.69	0.16	-1.70
						UKESM1-0-LL f2	16.5	0.36	0.54	0.31	-1.05

**Tabla 22**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Huancané*

CUENCA HUANCANÉ											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	
ACCESS-CM2	28	0.18	1.00	0.19	-2.61	ACCESS-CM2	30	0.18	1.00	0.19	-2.61
ACCESS-ESM1-5	18.5	0.19	1.04	0.23	-2.66	ACCESS-ESM1-5	21	0.19	1.04	0.23	-2.66
AWI-CM-1-1-MR	14	0.23	0.80	0.32	-1.76	AWI-CM-1-1-MR	15.5	0.23	0.80	0.32	-1.76
BCC-CSM2-MR	38	0.16	1.20	0.09	-3.35	BCC-CSM2-MR	40	0.16	1.20	0.09	-3.35
CAMS-CSM1-0	10.5	0.24	0.72	0.27	-1.57	CAMS-CSM1-0	13	0.24	0.72	0.27	-1.57



CanESM5-CanOE p2	36	0.16	1.31	0.11	-3.62	CanESM5-CanOE p1	37	0.16	1.31	0.11	-3.62
CanESM5 p1	33	0.17	1.30	0.18	-3.52	CanESM5-CanOE p2	14	0.24	1.07	0.33	-2.44
CanESM5 p2	35	0.16	1.29	0.10	-3.55	CanESM5 p1	34	0.17	1.30	0.18	-3.52
CESM2-WACCM	6.5	0.24	1.13	0.36	-2.58	CanESM5 p2	36	0.16	1.29	0.10	-3.55
CESM2	12.5	0.24	1.07	0.31	-2.44	CESM2-WACCM	22.5	0.44	0.34	0.00	-0.03
CIESM	21	0.44	0.34	0.00	-0.03	CESM2	6.5	0.24	1.13	0.36	-2.58
CMCC-CM2-SR5	34	0.14	1.63	0.20	-4.61	CIESM	35	0.14	1.63	0.20	-4.61
CNRM-CM6-1-HR f2	10.5	0.29	0.56	0.25	-1.07	CMCC-CM2-SR5	25.5	0.20	0.90	0.22	-2.26
CNRM-CM6-1 f2	23	0.20	0.90	0.22	-2.26	CNRM-CM6-1-HR f2	29	0.19	0.95	0.20	-2.44
CNRM-ESM2-1 f2	27	0.19	0.95	0.20	-2.44	CNRM-CM6-1 f2	9	0.29	0.56	0.25	-1.07
EC-Earth3-Veg	12.5	0.24	0.67	0.23	-1.49	CNRM-ESM2-1 f2	8	0.25	0.67	0.27	-1.46
EC-Earth3	18.5	0.25	0.66	0.13	-1.46	EC-Earth3-Veg	4	0.31	0.69	0.35	-1.29
FGOALS-f3-L	2	0.31	0.69	0.35	-1.29	EC-Earth3	12	0.24	0.67	0.23	-1.49
FGOALS-g3	39	0.08	2.15	-0.34	-7.48	FGOALS-f3-L	41	0.08	2.15	-0.34	-7.48
FIO-ESM-2-0	37	0.13	1.61	0.18	-4.63	FGOALS-g3	39	0.13	1.61	0.18	-4.63
GFDL-CM4	18.5	0.19	1.03	0.27	-2.54	FIO-ESM-2-0	20	0.19	1.03	0.27	-2.54
GFDL-ESM4	18.5	0.20	0.94	0.25	-2.29	GFDL-CM4	18	0.20	0.95	0.27	-2.27
GISS-E2-1-G p1	4	0.43	0.35	0.29	-0.31	GFDL-ESM4	1	0.45	0.38	0.36	-0.29
GISS-E2-1-G p3	15	0.23	0.88	0.29	-2.02	GISS-E2-1-G p1	19	0.21	0.87	0.24	-2.05
HadGEM3-GC31-LL f3	6.5	0.26	1.05	0.48	-2.10	GISS-E2-1-G p3	5	0.31	0.57	0.33	-1.03
HadGEM3-GC31-MM f3	8.5	0.23	1.16	0.46	-2.41	HadGEM3-GC31-LL f3	6.5	0.26	1.05	0.48	-2.10
INM-CM4-8	29.5	0.18	0.98	0.19	-2.53	HadGEM3-GC31-MM f3	10.5	0.23	1.16	0.46	-2.41
INM-CM5-0	22	0.23	0.80	0.22	-1.89	INM-CM4-8	28	0.18	0.99	0.21	-2.55
IPSL-CM6A-LR	31	0.15	1.33	0.22	-3.64	INM-CM5-0	22.5	0.23	0.80	0.22	-1.89
MCM-UA-1-0	8.5	0.23	0.80	0.33	-1.74	IPSL-CM6A-LR	38	0.15	1.30	0.17	-3.56
MIROC-ES2L f2	29.5	0.14	1.46	0.25	-4.00	MCM-UA-1-0	10.5	0.23	0.80	0.33	-1.74
MIROC6	25	0.23	0.73	0.18	-1.71	MIROC-ES2L f2	32.5	0.14	1.46	0.23	-4.04
MPI-ESM1-2-HR	16	0.21	0.88	0.28	-2.10	MIROC6	25.5	0.23	0.73	0.18	-1.71
MPI-ESM1-2-LR	1	0.36	0.75	0.39	-1.26	MPI-ESM1-2-HR	31	0.14	1.44	0.23	-4.02
MRI-ESM2-0	4	0.35	0.76	0.46	-1.25	MPI-ESM1-2-LR	17	0.21	0.88	0.28	-2.10
NESM3	25	0.19	0.94	0.22	-2.36	MRI-ESM2-0	2.5	0.35	0.76	0.46	-1.25
NorESM2-LM	4	0.35	0.76	0.46	-1.25	NESM3	25.5	0.19	0.94	0.22	-2.36
NorESM2-MM	32	0.19	0.95	0.18	-2.40	NorESM2-LM	2.5	0.35	0.76	0.46	-1.25
UKESM1-0-LL f2	25	0.19	0.94	0.22	-2.36	NorESM2-MM	32.5	0.19	0.96	0.17	-2.44
						UKESM1-0-LL f2	25.5	0.19	0.94	0.22	-2.36

**Tabla 23**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Ilave*

CUENCA ILAVE											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
ACCESS-CM2	10	0.53	0.30	0.41	-0.26	ACCESS-CM2	12	0.53	0.30	0.41	-0.26
ACCESS-ESM1-5	23	0.40	0.47	0.37	-1.02	ACCESS-ESM1-5	23	0.40	0.47	0.37	-1.02





AWI-CM-1-1-MR	12	0.50	0.34	0.44	-0.31	AWI-CM-1-1-MR	14	0.50	0.34	0.44	-0.31
BCC-CSM2-MR	38	0.19	0.82	0.02	-3.06	BCC-CSM2-MR	40	0.19	0.82	0.02	-3.06
CAMS-CSM1-0	29	0.31	0.52	0.27	-1.36	CAMS-CSM1-0	30	0.31	0.52	0.27	-1.36
CanESM5-CanOE p2	36.5	0.26	0.69	0.06	-2.24	CanESM5-CanOE p1	38	0.26	0.69	0.06	-2.24
CanESM5 p1	35	0.27	0.68	0.18	-2.16	CanESM5-CanOE p2	20.5	0.43	0.46	0.41	-0.86
CanESM5 p2	36.5	0.26	0.68	0.06	-2.18	CanESM5 p1	36	0.27	0.68	0.18	-2.16
CESM2-WACCM	15.5	0.42	0.51	0.46	-1.01	CanESM5 p2	38	0.26	0.68	0.06	-2.18
CESM2	19	0.43	0.47	0.42	-0.88	CESM2-WACCM	28.5	0.49	0.29	0.01	-0.06
CIESM	28	0.49	0.29	0.01	-0.06	CESM2	17.5	0.42	0.51	0.46	-1.01
CMCC-CM2-SR5	33	0.29	0.67	0.26	-2.04	CIESM	31	0.29	0.67	0.26	-2.04
CNRM-CM6-1-HR f2	1	0.62	0.23	0.40	0.08	CMCC-CM2-SR5	23	0.46	0.28	0.19	-0.40
CNRM-CM6-1 f2	23	0.46	0.28	0.19	-0.40	CNRM-CM6-1-HR f2	27	0.42	0.32	0.16	-0.57
CNRM-ESM2-1 f2	27	0.42	0.32	0.16	-0.57	CNRM-CM6-1 f2	2	0.62	0.23	0.40	0.08
EC-Earth3-Veg	15.5	0.48	0.31	0.36	-0.41	CNRM-ESM2-1 f2	15.5	0.49	0.32	0.43	-0.37
EC-Earth3	20.5	0.48	0.31	0.28	-0.40	EC-Earth3-Veg	26	0.47	0.35	0.30	-0.52
FGOALS-f3-L	25	0.47	0.35	0.30	-0.52	EC-Earth3	19	0.48	0.31	0.36	-0.41
FGOALS-g3	39	0.14	1.12	-0.20	-4.76	FGOALS-f3-L	41	0.14	1.12	-0.20	-4.76
FIO-ESM-2-0	34	0.28	0.69	0.26	-2.12	FGOALS-g3	34.5	0.28	0.69	0.26	-2.12
GFDL-CM4	23	0.41	0.41	0.35	-0.75	FIO-ESM-2-0	25	0.41	0.41	0.35	-0.75
GFDL-ESM4	26	0.40	0.41	0.35	-0.83	GFDL-CM4	23	0.40	0.42	0.37	-0.83
GISS-E2-1-G p1	2	0.61	0.22	0.27	0.03	GFDL-ESM4	3	0.62	0.23	0.33	0.07
GISS-E2-1-G p3	4	0.61	0.27	0.52	-0.02	GISS-E2-1-G p1	6	0.59	0.26	0.48	-0.06
HadGEM3-GC31-LL f3	17.5	0.39	0.67	0.58	-1.27	GISS-E2-1-G p3	1	0.75	0.18	0.45	0.36
HadGEM3-GC31-MM f3	20.5	0.36	0.73	0.57	-1.51	HadGEM3-GC31-LL f3	17.5	0.39	0.67	0.58	-1.27
INM-CM4-8	13	0.56	0.24	0.30	-0.06	HadGEM3-GC31-MM f3	20.5	0.36	0.73	0.57	-1.51
INM-CM5-0	14	0.50	0.32	0.43	-0.36	INM-CM4-8	13	0.56	0.24	0.36	-0.06
IPSL-CM6A-LR	30.5	0.32	0.52	0.25	-1.43	INM-CM5-0	15.5	0.50	0.32	0.43	-0.36
MCM-UA-1-0	9	0.53	0.32	0.48	-0.23	IPSL-CM6A-LR	32.5	0.32	0.50	0.12	-1.38
MIROC-ES2L f2	32	0.27	0.75	0.32	-2.20	KACE-1-0-G	38	0.23	0.79	0.24	-2.51
MIROC6	8	0.58	0.29	0.46	-0.10	MCM-UA-1-0	10	0.53	0.32	0.48	-0.23
MPI-ESM1-2-HR	11	0.47	0.45	0.52	-0.69	MIROC-ES2L f2	32.5	0.26	0.76	0.32	-2.28
MPI-ESM1-2-LR	17.5	0.41	0.58	0.51	-1.23	MIROC6	8	0.58	0.29	0.46	-0.10
MRI-ESM2-0	4	0.63	0.31	0.61	-0.01	MPI-ESM1-2-HR	34.5	0.26	0.74	0.30	-2.24
NESM3	6.5	0.58	0.26	0.43	-0.08	MPI-ESM1-2-LR	11	0.47	0.45	0.52	-0.69
NorESM2-LM	4	0.63	0.31	0.61	-0.01	MRI-ESM2-0	4.5	0.63	0.31	0.61	-0.01
NorESM2-MM	30.5	0.37	0.43	0.23	-0.98	NESM3	8	0.58	0.26	0.43	-0.08
UKESM1-0-LL f2	6.5	0.58	0.26	0.43	-0.08	NorESM2-LM	4.5	0.63	0.31	0.61	-0.01
						NorESM2-MM	28.5	0.37	0.43	0.22	-0.98
						UKESM1-0-LL f2	8	0.58	0.26	0.43	-0.08

**Tabla 24**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Ilpa*

CUENCA ILPA	
ESCENARIO SSP2-4.5	ESCENARIO SSP5-8.5



CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
ACCESS-CM2	23	0.28	0.67	0.27	-1.73	ACCESS-CM2	23	0.28	0.67	0.27	-1.73
ACCESS-ESM1-5	26	0.23	0.90	0.22	-2.59	ACCESS-ESM1-5	28	0.23	0.90	0.22	-2.59
AWI-CM-1-1-MR	11	0.31	0.58	0.34	-1.26	AWI-CM-1-1-MR	10	0.31	0.58	0.34	-1.26
BCC-CSM2-MR	37.5	0.16	1.14	-0.01	-3.94	BCC-CSM2-MR	39	0.16	1.14	-0.01	-3.94
CAMS-CSM1-0	24	0.25	0.72	0.29	-1.88	CAMS-CSM1-0	24.5	0.25	0.72	0.29	-1.88
CanESM5-CanOE p2	37.5	0.15	1.30	0.04	-4.38	CanESM5-CanOE p1	40	0.15	1.30	0.04	-4.38
CanESM5 p1	35	0.16	1.29	0.13	-4.27	CanESM5-CanOE p2	16	0.28	0.87	0.32	-2.24
CanESM5 p2	36	0.16	1.29	0.05	-4.30	CanESM5 p1	37	0.16	1.29	0.13	-4.27
CESM2-WACCM	18.5	0.27	0.94	0.34	-2.41	CanESM5 p2	38	0.16	1.29	0.05	-4.30
CESM2	18.5	0.28	0.87	0.32	-2.26	CESM2-WACCM	22	0.47	0.31	0.03	-0.05
CIESM	21.5	0.47	0.31	0.03	-0.05	CESM2	16	0.27	0.94	0.34	-2.41
CMCC-CM2-SR5	32.5	0.19	1.11	0.17	-3.49	CIESM	32	0.19	1.11	0.17	-3.49
CNRM-CM6-1-HR f2	11	0.42	0.36	0.29	-0.49	CMCC-CM2-SR5	29	0.24	0.66	0.14	-1.90
CNRM-CM6-1 f2	28	0.24	0.66	0.14	-1.90	CNRM-CM6-1-HR f2	30.5	0.23	0.72	0.13	-2.12
CNRM-ESM2-1 f2	29	0.23	0.72	0.13	-2.12	CNRM-CM6-1 f2	13	0.42	0.36	0.29	-0.49
EC-Earth3-Veg	16.5	0.28	0.63	0.30	-1.56	CNRM-ESM2-1 f2	13	0.29	0.63	0.36	-1.52
EC-Earth3	21.5	0.29	0.62	0.24	-1.52	EC-Earth3-Veg	6	0.35	0.55	0.31	-1.14
FGOALS-f3-L	5	0.35	0.55	0.31	-1.14	EC-Earth3	16	0.28	0.63	0.30	-1.56
FGOALS-g3	39	0.07	2.47	-0.40	-10.34	FGOALS-f3-L	41	0.07	2.47	-0.40	-10.34
FIO-ESM-2-0	34	0.18	1.16	0.19	-3.71	FGOALS-g3	33	0.18	1.16	0.19	-3.71
GFDL-CM4	25	0.25	0.75	0.27	-2.00	FIO-ESM-2-0	26	0.25	0.75	0.27	-2.00
GFDL-ESM4	27	0.25	0.72	0.23	-1.94	GFDL-CM4	27	0.25	0.73	0.26	-1.91
GISS-E2-1-G p1	13	0.45	0.32	0.19	-0.39	GFDL-ESM4	5	0.47	0.34	0.30	-0.37
GISS-E2-1-G p3	5	0.33	0.60	0.37	-1.32	GISS-E2-1-G p1	13	0.32	0.59	0.31	-1.37
HadGEM3-GC31-LL f3	8.5	0.30	0.94	0.51	-1.98	GISS-E2-1-G p3	2	0.45	0.37	0.41	-0.46
HadGEM3-GC31-MM f3	11	0.28	1.01	0.53	-2.26	HadGEM3-GC31-LL f3	9	0.30	0.94	0.51	-1.98
INM-CM4-8	20	0.33	0.46	0.22	-1.01	HadGEM3-GC31-MM f3	11	0.28	1.01	0.53	-2.26
INM-CM5-0	16.5	0.30	0.60	0.29	-1.46	INM-CM4-8	18	0.33	0.47	0.22	-1.03
IPSL-CM6A-LR	30.5	0.19	0.98	0.17	-3.07	INM-CM5-0	21	0.30	0.60	0.29	-1.46
MCM-UA-1-0	7	0.32	0.58	0.35	-1.21	IPSL-CM6A-LR	35	0.19	0.96	0.07	-3.00
MIROC-ES2L f2	32.5	0.16	1.20	0.19	-3.84	MCM-UA-1-0	7	0.32	0.58	0.35	-1.21
MIROC6	3	0.40	0.51	0.37	-0.81	MIROC-ES2L f2	34	0.16	1.21	0.18	-3.90
MPI-ESM1-2-HR	8.5	0.35	0.68	0.46	-1.37	MIROC6	4	0.40	0.51	0.37	-0.81
MPI-ESM1-2-LR	5	0.38	0.68	0.47	-1.34	MPI-ESM1-2-HR	36	0.16	1.19	0.16	-3.87
MRI-ESM2-0	1.5	0.44	0.57	0.50	-0.87	MPI-ESM1-2-LR	8	0.35	0.68	0.46	-1.37
NESM3	14.5	0.30	0.62	0.29	-1.50	MRI-ESM2-0	2	0.44	0.57	0.50	-0.87
NorESM2-LM	1.5	0.44	0.57	0.50	-0.87	NESM3	19.5	0.30	0.62	0.29	-1.50
NorESM2-MM	30.5	0.23	0.77	0.16	-2.22	NorESM2-LM	2	0.44	0.57	0.50	-0.87
UKESM1-0-LL f2	14.5	0.30	0.62	0.29	-1.50	NorESM2-MM	30.5	0.23	0.77	0.15	-2.25
						UKESM1-0-LL f2	19.5	0.30	0.62	0.29	-1.50

**Tabla 25**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Mauri Chico*



CUENCA MAURI CHICO

CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP5-8.5				
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE		Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
ACCESS-CM2	6	0.54	0.30	0.43	-0.30	ACCESS-CM2	7	0.54	0.30	0.43	-0.30
ACCESS-ESM1-5	22.5	0.37	0.48	0.39	-1.32	ACCESS-ESM1-5	24	0.37	0.48	0.39	-1.32
AWI-CM-1-1-MR	11	0.45	0.39	0.44	-0.66	AWI-CM-1-1-MR	12.5	0.45	0.39	0.44	-0.66
BCC-CSM2-MR	39	0.15	0.93	-0.03	-4.50	BCC-CSM2-MR	41	0.15	0.93	-0.03	-4.50
CAMS-CSM1-0	34	0.23	0.62	0.23	-2.34	CAMS-CSM1-0	34	0.23	0.62	0.23	-2.34
CanESM5-CanOE p2	37	0.23	0.66	0.06	-2.70	CanESM5-CanOE p1	38	0.23	0.66	0.06	-2.70
CanESM5 p1	35	0.24	0.65	0.16	-2.60	CanESM5-CanOE p2	18.5	0.39	0.48	0.44	-1.21
CanESM5 p2	36	0.24	0.65	0.06	-2.62	CanESM5 p1	36	0.24	0.65	0.16	-2.60
CESM2-WACCM	10	0.38	0.54	0.48	-1.41	CanESM5 p2	37	0.24	0.65	0.06	-2.62
CESM2	17	0.39	0.48	0.43	-1.23	CESM2-WACCM	28	0.49	0.24	-0.04	-0.08
CIESM	28	0.49	0.24	-0.04	-0.08	CIESM	10	0.38	0.54	0.48	-1.41
CMCC-CM2-SR5	33	0.25	0.71	0.23	-2.78	CMCC-CM2-SR5	32	0.25	0.71	0.23	-2.78
CNRM-CM6-1-HR f2	8	0.54	0.28	0.41	-0.27	CNRM-CM6-1-HR f2	22.5	0.45	0.25	0.20	-0.45
CNRM-CM6-1 f2	20.5	0.45	0.25	0.20	-0.45	CNRM-CM6-1-HR f2	26	0.41	0.29	0.15	-0.65
CNRM-ESM2-1 f2	26	0.41	0.29	0.15	-0.65	CNRM-CM6-1 f2	10	0.54	0.28	0.41	-0.27
EC-Earth3-Veg	15	0.44	0.33	0.33	-0.67	CNRM-ESM2-1 f2	12.5	0.46	0.34	0.43	-0.63
EC-Earth3	18	0.43	0.33	0.26	-0.68	EC-Earth3-Veg	29	0.37	0.39	0.22	-1.08
FGOALS-f3-L	31.5	0.37	0.39	0.22	-1.08	EC-Earth3	18.5	0.44	0.33	0.33	-0.67
FGOALS-g3	38	0.15	0.91	-0.06	-4.36	FGOALS-f3-L	40	0.15	0.91	-0.06	-4.36
FIO-ESM-2-0	29.5	0.24	0.73	0.27	-2.83	FGOALS-g3	30	0.24	0.73	0.27	-2.83
GFDL-CM4	20.5	0.38	0.43	0.37	-1.10	FIO-ESM-2-0	22.5	0.38	0.43	0.37	-1.10
GFDL-ESM4	24	0.34	0.45	0.34	-1.30	GFDL-CM4	25	0.35	0.46	0.37	-1.30
GISS-E2-1-G p1	16	0.50	0.26	0.23	-0.35	GFDL-ESM4	16	0.52	0.27	0.32	-0.32
GISS-E2-1-G p3	2	0.62	0.28	0.52	-0.05	GISS-E2-1-G p1	6	0.60	0.26	0.43	-0.10
HadGEM3-GC31-LL f3	22.5	0.32	0.78	0.47	-2.14	GISS-E2-1-G p3	1	0.72	0.18	0.48	0.29
HadGEM3-GC31-MM f3	19	0.29	0.84	0.52	-2.46	HadGEM3-GC31-LL f3	21	0.32	0.78	0.47	-2.14
INM-CM4-8	13.5	0.52	0.26	0.29	-0.25	HadGEM3-GC31-MM f3	20	0.29	0.84	0.52	-2.46
INM-CM5-0	9	0.46	0.36	0.45	-0.63	INM-CM4-8	15	0.52	0.26	0.34	-0.25
IPSL-CM6A-LR	31.5	0.29	0.52	0.24	-1.83	INM-CM5-0	10	0.46	0.36	0.45	-0.63
MCM-UA-1-0	7	0.48	0.36	0.45	-0.53	IPSL-CM6A-LR	35	0.29	0.50	0.13	-1.78
MIROC-ES2L f2	29.5	0.24	0.82	0.34	-2.93	KACE-1-0-G	39	0.16	0.94	0.19	-4.03
MIROC6	13.5	0.49	0.34	0.33	-0.49	MCM-UA-1-0	8	0.48	0.36	0.45	-0.53
MPI-ESM1-2-HR	12	0.38	0.54	0.48	-1.34	MIROC-ES2L f2	31	0.23	0.83	0.34	-3.04
MPI-ESM1-2-LR	25	0.30	0.74	0.44	-2.39	MIROC6	17	0.49	0.34	0.33	-0.49
MRI-ESM2-0	4.5	0.57	0.34	0.56	-0.30	MRI-ESM1-2-HR	33	0.23	0.81	0.32	-2.98
NESM3	2	0.60	0.25	0.45	-0.08	MPI-ESM1-2-LR	14	0.38	0.54	0.48	-1.34
NorESM2-LM	4.5	0.57	0.34	0.56	-0.30	MRI-ESM2-0	4.5	0.57	0.34	0.56	-0.30
NorESM2-MM	27	0.32	0.46	0.26	-1.43	NESM3	2.5	0.60	0.25	0.45	-0.08
UKESM1-0-LL f2	2	0.60	0.25	0.45	-0.08	NorESM2-LM	4.5	0.57	0.34	0.56	-0.30
						NorESM2-MM	27	0.32	0.45	0.25	-1.40
						UKESM1-0-LL f2	2.5	0.60	0.25	0.45	-0.08

**Tabla 26**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Pucara*

CUENCA PUCARA											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
ACCESS-CM2	25	0.30	0.65	0.25	-1.37	ACCESS-CM2	26	0.30	0.65	0.25	-1.37
ACCESS-ESM1-5	27	0.27	0.80	0.24	-1.87	ACCESS-ESM1-5	27.5	0.27	0.80	0.24	-1.87
AWI-CM-1-1-MR	11.5	0.35	0.54	0.36	-0.88	AWI-CM-1-1-MR	11.5	0.35	0.54	0.36	-0.88
BCC-CSM2-MR	38	0.19	1.01	0.06	-2.82	BCC-CSM2-MR	40	0.19	1.01	0.06	-2.82
CAMS-CSM1-0	22	0.31	0.60	0.29	-1.17	CAMS-CSM1-0	23.5	0.31	0.60	0.29	-1.17
CanESM5-CanOE p2	37	0.20	1.14	0.08	-3.14	CanESM5-CanOE p1	39	0.20	1.14	0.08	-3.14
CanESM5 p1	35	0.20	1.13	0.16	-3.05	CanESM5-CanOE p2	16	0.32	0.79	0.31	-1.61
CanESM5 p2	36	0.20	1.12	0.08	-3.08	CanESM5 p1	35.5	0.20	1.13	0.16	-3.05
CESM2-WACCM	17	0.32	0.85	0.33	-1.74	CanESM5 p2	38	0.20	1.12	0.08	-3.08
CESM2	15.5	0.32	0.80	0.30	-1.62	CESM2-WACCM	25	0.47	0.34	0.04	-0.04
CIESM	24	0.47	0.34	0.04	-0.04	CESM2	18	0.32	0.85	0.33	-1.74
CMCC-CM2-SR5	29.5	0.22	1.10	0.22	-2.91	CIESM	32	0.22	1.10	0.22	-2.91
CNRM-CM6-1-HR f2	4.5	0.46	0.34	0.31	-0.28	CMCC-CM2-SR5	29	0.28	0.62	0.18	-1.38
CNRM-CM6-1 f2	28	0.28	0.62	0.18	-1.38	CNRM-CM6-1-HR f2	31	0.27	0.67	0.16	-1.55
CNRM-ESM2-1 f2	32	0.27	0.67	0.16	-1.55	CNRM-CM6-1 f2	9	0.46	0.34	0.31	-0.28
EC-Earth3-Veg	15.5	0.34	0.53	0.27	-0.97	CNRM-ESM2-1 f2	13	0.35	0.54	0.33	-0.94
EC-Earth3	20	0.34	0.52	0.22	-0.94	EC-Earth3-Veg	5	0.42	0.49	0.36	-0.68
FGOALS-f3-L	3	0.42	0.49	0.36	-0.68	EC-Earth3	17	0.34	0.53	0.27	-0.97
FGOALS-g3	39	0.09	2.12	-0.36	-7.56	FGOALS-f3-L	41	0.09	2.12	-0.36	-7.56
FIO-ESM-2-0	33.5	0.20	1.12	0.19	-3.04	FGOALS-g3	33.5	0.20	1.12	0.19	-3.04
GFDL-CM4	26	0.29	0.70	0.26	-1.51	FIO-ESM-2-0	27.5	0.29	0.70	0.26	-1.51
GFDL-ESM4	23	0.29	0.67	0.27	-1.40	GFDL-CM4	23.5	0.29	0.67	0.29	-1.38
GISS-E2-1-G p1	13	0.55	0.27	0.24	-0.03	GFDL-ESM4	4	0.57	0.30	0.36	-0.01
GISS-E2-1-G p3	8	0.36	0.57	0.34	-0.98	GISS-E2-1-G p1	14	0.35	0.56	0.31	-1.02
HadGEM3-GC31-LL f3	11.5	0.35	0.84	0.51	-1.37	GISS-E2-1-G p3	1	0.49	0.34	0.40	-0.23
HadGEM3-GC31-MM f3	10	0.32	0.91	0.53	-1.61	HadGEM3-GC31-LL f3	10	0.35	0.84	0.51	-1.37
INM-CM4-8	18	0.34	0.51	0.22	-0.95	HadGEM3-GC31-MM f3	11.5	0.32	0.91	0.53	-1.61
INM-CM5-0	14	0.34	0.55	0.30	-1.03	INM-CM4-8	19	0.33	0.51	0.23	-0.96
IPSL-CM6A-LR	31	0.22	0.94	0.20	-2.41	INM-CM5-0	15	0.34	0.55	0.30	-1.03
MCM-UA-1-0	6.5	0.36	0.53	0.36	-0.84	IPSL-CM6A-LR	35.5	0.22	0.91	0.10	-2.35
MIROC-ES2L f2	33.5	0.19	1.11	0.22	-2.93	KACE-1-0-G	21	0.26	0.87	0.34	-1.98
MIROC6	4.5	0.40	0.46	0.33	-0.61	MCM-UA-1-0	6	0.36	0.53	0.36	-0.84
MPI-ESM1-2-HR	9	0.36	0.62	0.39	-1.03	MIROC-ES2L f2	33.5	0.19	1.12	0.22	-2.98
MPI-ESM1-2-LR	6.5	0.45	0.58	0.48	-0.77	MIROC6	7	0.40	0.46	0.33	-0.61
MRI-ESM2-0	1.5	0.49	0.52	0.50	-0.51	MPI-ESM1-2-HR	37	0.19	1.10	0.19	-2.96
NESM3	20	0.32	0.60	0.26	-1.17	MPI-ESM1-2-LR	8	0.36	0.62	0.39	-1.03
NorESM2-LM	1.5	0.49	0.52	0.50	-0.51	MRI-ESM2-0	2.5	0.49	0.52	0.50	-0.51
NorESM2-MM	29.5	0.27	0.70	0.16	-1.59	NESM3	21	0.32	0.60	0.26	-1.17
UKESM1-0-LL f2	20	0.32	0.60	0.26	-1.17	NorESM2-LM	2.5	0.49	0.52	0.50	-0.51

NorESM2-MM	30	0.27	0.70	0.15	-1.62
UKESM1-0-LL f2	21	0.32	0.60	0.26	-1.17

**Tabla 27**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Suches*

CUENCA SUCHES											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
ACCESS-CM2	32	0.14	1.31	0.17	-3.52	ACCESS-CM2	33	0.14	1.31	0.17	-3.52
ACCESS-ESM1-5	19	0.15	1.28	0.23	-3.28	ACCESS-ESM1-5	18	0.15	1.28	0.23	-3.28
AWI-CM-1-1-MR	14.5	0.17	1.05	0.24	-2.44	AWI-CM-1-1-MR	16.5	0.17	1.05	0.24	-2.44
BCC-CSM2-MR	38	0.13	1.42	0.10	-3.83	BCC-CSM2-MR	39.5	0.13	1.42	0.10	-3.83
CAMS-CSM1-0	9	0.20	0.85	0.23	-1.91	CAMS-CSM1-0	8	0.20	0.85	0.23	-1.91
CanESM5-CanOE p2	36	0.13	1.51	0.15	-4.07	CanESM5-CanOE p1	38	0.13	1.51	0.15	-4.07
CanESM5 p1	29.5	0.14	1.49	0.21	-3.97	CanESM5-CanOE p2	9.5	0.20	1.33	0.32	-3.08
CanESM5 p2	34	0.14	1.49	0.13	-4.00	CanESM5 p1	27	0.14	1.49	0.21	-3.97
CESM2-WACCM	7	0.19	1.40	0.36	-3.24	CanESM5 p2	36.5	0.14	1.49	0.13	-4.00
CESM2	8	0.20	1.33	0.34	-3.09	CESM2-WACCM	22.5	0.42	0.34	-0.03	-0.03
CIESM	20.5	0.42	0.34	-0.03	-0.03	CESM2	6.5	0.19	1.40	0.36	-3.24
CMCC-CM2-SR5	34	0.11	2.10	0.18	-5.88	CIESM	36.5	0.11	2.10	0.18	-5.88
CNRM-CM6-1-HR f2	12	0.22	0.76	0.20	-1.67	CMCC-CM2-SR5	22.5	0.15	1.17	0.21	-2.94
CNRM-CM6-1 f2	20.5	0.15	1.17	0.21	-2.94	CNRM-CM6-1-HR f2	24.5	0.15	1.23	0.20	-3.14
CNRM-ESM2-1 f2	24	0.15	1.23	0.20	-3.14	CNRM-CM6-1 f2	14.5	0.22	0.76	0.20	-1.67
EC-Earth3-Veg	16.5	0.20	0.82	0.18	-1.91	CNRM-ESM2-1 f2	11.5	0.20	0.82	0.21	-1.88
EC-Earth3	22.5	0.20	0.81	0.08	-1.89	EC-Earth3-Veg	4.5	0.24	0.88	0.32	-1.77
FGOALS-f3-L	5	0.24	0.88	0.32	-1.77	EC-Earth3	20.5	0.20	0.82	0.18	-1.91
FGOALS-g3	39	0.08	2.29	-0.32	-7.67	FGOALS-f3-L	41	0.08	2.29	-0.32	-7.67
FIO-ESM-2-0	37	0.10	2.04	0.17	-5.82	FGOALS-g3	39.5	0.10	2.04	0.17	-5.82
GFDL-CM4	18	0.15	1.32	0.26	-3.32	FIO-ESM-2-0	19	0.15	1.32	0.26	-3.32
GFDL-ESM4	16.5	0.15	1.20	0.25	-2.98	GFDL-CM4	16.5	0.16	1.22	0.26	-2.95
GISS-E2-1-G p1	3	0.35	0.44	0.29	-0.55	GFDL-ESM4	1	0.38	0.48	0.34	-0.55
GISS-E2-1-G p3	13	0.17	1.16	0.27	-2.79	GISS-E2-1-G p1	20.5	0.16	1.14	0.22	-2.82
HadGEM3-GC31-LL f3	6	0.20	1.29	0.38	-2.68	GISS-E2-1-G p3	4.5	0.22	0.78	0.29	-1.62
HadGEM3-GC31-MM f3	10.5	0.19	1.42	0.38	-3.04	HadGEM3-GC31-LL f3	6.5	0.20	1.29	0.38	-2.68
INM-CM4-8	34	0.13	1.38	0.16	-3.67	HadGEM3-GC31-MM f3	11.5	0.19	1.42	0.38	-3.04
INM-CM5-0	14.5	0.17	1.03	0.23	-2.54	INM-CM4-8	35	0.13	1.40	0.17	-3.70
IPSL-CM6A-LR	29.5	0.12	1.69	0.24	-4.58	INM-CM5-0	14.5	0.17	1.03	0.23	-2.54
MCM-UA-1-0	10.5	0.18	1.04	0.28	-2.42	IPSL-CM6A-LR	34	0.12	1.65	0.18	-4.49
MIROC-ES2L f2	31	0.11	1.79	0.24	-4.84	MCM-UA-1-0	13	0.18	1.04	0.28	-2.42
MIROC6	26.5	0.17	0.98	0.09	-2.51	MIROC-ES2L f2	32	0.11	1.79	0.21	-4.87
MPI-ESM1-2-HR	22.5	0.16	1.14	0.19	-2.89	MIROC6	30	0.17	0.98	0.09	-2.51
MPI-ESM1-2-LR	4	0.31	0.92	0.33	-1.65	MPI-ESM1-2-HR	31	0.11	1.77	0.22	-4.86
MRI-ESM2-0	1.5	0.28	0.98	0.41	-1.81	MPI-ESM1-2-LR	24.5	0.16	1.14	0.19	-2.89
NESM3	26.5	0.14	1.24	0.18	-3.23						



NorESM2-LM	1.5	0.28	0.98	0.41	-1.81	MRI-ESM2-0	2.5	0.28	0.98	0.41	-1.81
NorESM2-MM	26.5	0.15	1.18	0.18	-3.03	NESM3	27	0.14	1.24	0.18	-3.23
UKESM1-0-LL f2	26.5	0.14	1.24	0.18	-3.23	NorESM2-LM	2.5	0.28	0.98	0.41	-1.81
						NorESM2-MM	29	0.15	1.20	0.18	-3.08
						UKESM1-0-LL f2	27	0.14	1.24	0.18	-3.23

**Tabla 28**

*Métricas de rendimiento para la Inter cuenca 0155*

INTERCUENCA 0155											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	
ACCESS-CM2	8	0.61	0.23	0.40	-0.09	ACCESS-CM2	9	0.61	0.23	0.40	-0.09
ACCESS-ESM1-5	26	0.43	0.36	0.34	-0.95	ACCESS-ESM1-5	26.5	0.43	0.36	0.34	-0.95
AWI-CM-1-1-MR	9	0.52	0.29	0.47	-0.36	AWI-CM-1-1-MR	9	0.52	0.29	0.47	-0.36
BCC-CSM2-MR	39	0.17	0.70	-0.03	-3.74	BCC-CSM2-MR	41	0.17	0.70	-0.03	-3.74
CAMS-CSM1-0	35	0.27	0.46	0.21	-1.84	CAMS-CSM1-0	35	0.27	0.46	0.21	-1.84
CanESM5-CanOE p2	37	0.27	0.49	0.05	-2.16	CanESM5-CanOE p1	38	0.27	0.49	0.05	-2.16
CanESM5 p1	34	0.28	0.49	0.14	-2.07	CanESM5-CanOE p2	19	0.45	0.35	0.42	-0.84
CanESM5 p2	36	0.28	0.48	0.04	-2.09	CanESM5 p1	36	0.28	0.49	0.14	-2.07
CESM2-WACCM	10.5	0.44	0.39	0.47	-1.02	CanESM5 p2	37	0.28	0.48	0.04	-2.09
CESM2	18	0.44	0.35	0.42	-0.86	CESM2-WACCM	29.5	0.49	0.22	-0.07	-0.09
CIESM	30.5	0.49	0.22	-0.07	-0.09	CESM2	12.5	0.44	0.39	0.47	-1.02
CMCC-CM2-SR5	33	0.28	0.53	0.23	-2.23	CIESM	31.5	0.28	0.53	0.23	-2.23
CNRM-CM6-1-HR f2	6	0.61	0.21	0.42	-0.03	CMCC-CM2-SR5	21.5	0.52	0.19	0.17	-0.21
CNRM-CM6-1 f2	19	0.52	0.19	0.17	-0.21	CNRM-CM6-1-HR f2	24	0.47	0.21	0.15	-0.39
CNRM-ESM2-1 f2	23.5	0.47	0.21	0.15	-0.39	CNRM-CM6-1 f2	9	0.61	0.21	0.42	-0.03
EC-Earth3-Veg	15.5	0.50	0.24	0.34	-0.38	CNRM-ESM2-1 f2	12.5	0.52	0.25	0.43	-0.35
EC-Earth3	17	0.50	0.24	0.29	-0.39	EC-Earth3-Veg	28	0.43	0.29	0.22	-0.74
FGOALS-f3-L	28	0.43	0.29	0.22	-0.74	EC-Earth3	17	0.50	0.24	0.34	-0.38
FGOALS-g3	38	0.17	0.69	-0.08	-3.62	FGOALS-f3-L	40	0.17	0.69	-0.08	-3.62
FIO-ESM-2-0	30.5	0.28	0.54	0.27	-2.26	FGOALS-g3	29.5	0.28	0.54	0.27	-2.26
GFDL-CM4	21	0.43	0.32	0.36	-0.76	FIO-ESM-2-0	23	0.43	0.32	0.36	-0.76
GFDL-ESM4	23.5	0.40	0.33	0.35	-0.92	GFDL-CM4	25	0.40	0.34	0.37	-0.93
GISS-E2-1-G p1	10.5	0.57	0.19	0.27	-0.12	GFDL-ESM4	11	0.59	0.20	0.35	-0.08
GISS-E2-1-G p3	1	0.69	0.21	0.50	0.14	GISS-E2-1-G p1	4	0.67	0.19	0.43	0.11
HadGEM3-GC31-LL f3	21	0.36	0.58	0.50	-1.66	GISS-E2-1-G p3	1	0.80	0.14	0.46	0.41
HadGEM3-GC31-MM f3	21	0.33	0.63	0.53	-1.93	HadGEM3-GC31-LL f3	20	0.36	0.58	0.50	-1.66
INM-CM4-8	15.5	0.60	0.20	0.29	-0.04	HadGEM3-GC31-MM f3	21.5	0.33	0.63	0.53	-1.93
INM-CM5-0	13	0.53	0.27	0.41	-0.35	INM-CM4-8	18	0.60	0.20	0.34	-0.04
IPSL-CM6A-LR	30.5	0.33	0.38	0.23	-1.40	INM-CM5-0	15	0.53	0.27	0.41	-0.35
MCM-UA-1-0	7	0.55	0.27	0.44	-0.25	IPSL-CM6A-LR	33.5	0.33	0.37	0.10	-1.35
MIROC-ES2L f2	30.5	0.28	0.61	0.33	-2.36	KACE-1-0-G	39	0.19	0.70	0.18	-3.32
MIROC6	13	0.56	0.25	0.34	-0.22	MCM-UA-1-0	7	0.55	0.27	0.44	-0.25
MPI-ESM1-2-HR	13	0.43	0.40	0.48	-0.96	MIROC-ES2L f2	31.5	0.27	0.62	0.34	-2.45



MPI-ESM1-2-LR	25	0.34	0.55	0.43	-1.88	MIROC6	16	0.56	0.25	0.34	-0.22
MRI-ESM2-0	4.5	0.63	0.25	0.55	-0.05	MPI-ESM1-2-HR	33.5	0.27	0.60	0.32	-2.40
NESM3	2.5	0.67	0.19	0.44	0.12	MPI-ESM1-2-LR	14	0.43	0.40	0.48	-0.96
NorESM2-LM	4.5	0.63	0.25	0.55	-0.05	MRI-ESM2-0	5.5	0.63	0.25	0.55	-0.05
NorESM2-MM	27	0.37	0.34	0.24	-1.04	NESM3	2.5	0.67	0.19	0.44	0.12
UKESM1-0-LL f2	2.5	0.67	0.19	0.44	0.12	NorESM2-LM	5.5	0.63	0.25	0.55	-0.05
						NorESM2-MM	26.5	0.38	0.33	0.23	-1.02
						UKESM1-0-LL f2	2.5	0.67	0.19	0.44	0.12

**Tabla 29**

*Métricas de rendimiento para la Inter cuenca 0157*

INTERCUENCA 0157											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	
ACCESS-CM2	11	0.60	0.27	0.47	0.05	ACCESS-CM2	12	0.60	0.27	0.47	0.05
ACCESS-ESM1-5	25	0.45	0.42	0.44	-0.59	ACCESS-ESM1-5	23.5	0.45	0.42	0.44	-0.59
AWI-CM-1-1-MR	12	0.58	0.31	0.49	0.02	AWI-CM-1-1-MR	13	0.58	0.31	0.49	0.02
BCC-CSM2-MR	38	0.21	0.76	0.07	-2.33	BCC-CSM2-MR	40	0.21	0.76	0.07	-2.33
CAMS-CSM1-0	29	0.35	0.47	0.36	-0.88	CAMS-CSM1-0	29	0.35	0.47	0.36	-0.88
CanESM5-CanOE p2	37	0.29	0.64	0.11	-1.63	CanESM5-CanOE p1	39	0.29	0.64	0.11	-1.63
CanESM5 p1	36	0.30	0.63	0.21	-1.56	CanESM5-CanOE p2	20.5	0.49	0.42	0.47	-0.45
CanESM5 p2	35	0.30	0.62	0.12	-1.58	CanESM5 p1	37	0.30	0.63	0.21	-1.56
CESM2-WACCM	16	0.48	0.47	0.51	-0.57	CanESM5 p2	37	0.30	0.62	0.12	-1.58
CESM2	20	0.49	0.42	0.47	-0.46	CESM2-WACCM	34.5	0.46	0.31	-0.03	-0.04
CIESM	33	0.46	0.31	-0.03	-0.04	CESM2	18	0.48	0.47	0.51	-0.57
CMCC-CM2-SR5	32	0.33	0.62	0.31	-1.45	CIESM	30	0.33	0.62	0.31	-1.45
CNRM-CM6-1-HR f2	2	0.70	0.20	0.44	0.34	CMCC-CM2-SR5	22	0.52	0.25	0.26	-0.09
CNRM-CM6-1 f2	22	0.52	0.25	0.26	-0.09	CNRM-CM6-1-HR f2	27	0.48	0.28	0.23	-0.23
CNRM-ESM2-1 f2	27	0.48	0.28	0.23	-0.23	CNRM-CM6-1 f2	4	0.70	0.20	0.44	0.34
EC-Earth3-Veg	14.5	0.55	0.28	0.44	-0.06	CNRM-ESM2-1 f2	16	0.56	0.29	0.49	-0.03
EC-Earth3	18.5	0.55	0.27	0.34	-0.06	EC-Earth3-Veg	25.5	0.53	0.31	0.37	-0.18
FGOALS-f3-L	23.5	0.53	0.31	0.37	-0.18	EC-Earth3	16	0.55	0.28	0.44	-0.06
FGOALS-g3	39	0.15	1.05	-0.17	-3.80	FGOALS-f3-L	41	0.15	1.05	-0.17	-3.80
FIO-ESM-2-0	34	0.32	0.64	0.29	-1.52	FGOALS-g3	34.5	0.32	0.64	0.29	-1.52
GFDL-CM4	23.5	0.47	0.36	0.43	-0.36	FIO-ESM-2-0	23.5	0.47	0.36	0.43	-0.36
GFDL-ESM4	26	0.45	0.37	0.43	-0.43	GFDL-CM4	25.5	0.45	0.38	0.44	-0.42
GISS-E2-1-G p1	8	0.70	0.19	0.32	0.27	GFDL-ESM4	6	0.71	0.20	0.39	0.31
GISS-E2-1-G p3	4	0.68	0.25	0.57	0.26	GISS-E2-1-G p1	5	0.67	0.23	0.52	0.23
HadGEM3-GC31-LL f3	18.5	0.44	0.62	0.59	-0.80	GISS-E2-1-G p3	1	0.84	0.16	0.51	0.55
HadGEM3-GC31-MM f3	21	0.41	0.67	0.61	-1.00	HadGEM3-GC31-LL f3	19	0.44	0.62	0.59	-0.80
INM-CM4-8	9	0.65	0.21	0.37	0.21	HadGEM3-GC31-MM f3	20.5	0.41	0.67	0.61	-1.00
INM-CM5-0	14.5	0.57	0.29	0.50	-0.03	INM-CM4-8	11	0.64	0.21	0.43	0.21
IPSL-CM6A-LR	30.5	0.36	0.47	0.29	-0.94	INM-CM5-0	16	0.57	0.29	0.50	-0.03
MCM-UA-1-0	10	0.61	0.29	0.55	0.09	IPSL-CM6A-LR	32.5	0.37	0.45	0.18	-0.90

MIROC-ES2L f2	30.5	0.30	0.69	0.38	-1.59	KACE-1-0-G	37	0.26	0.72	0.33	-1.85
MIROC6	7	0.65	0.26	0.50	0.21	MCM-UA-1-0	10	0.61	0.29	0.55	0.09
MPI-ESM1-2-HR	13	0.53	0.41	0.58	-0.30	MIROC-ES2L f2	31	0.29	0.70	0.39	-1.65
MPI-ESM1-2-LR	17	0.46	0.53	0.53	-0.75	MIROC6	9	0.65	0.26	0.50	0.21
MRI-ESM2-0	2	0.70	0.28	0.66	0.27	MPI-ESM1-2-HR	32.5	0.29	0.68	0.38	-1.62
NESM3	5.5	0.65	0.23	0.50	0.20	MPI-ESM1-2-LR	14	0.53	0.41	0.58	-0.30
NorESM2-LM	2	0.70	0.28	0.66	0.27	MRI-ESM2-0	2.5	0.70	0.28	0.66	0.27
NorESM2-MM	28	0.42	0.38	0.32	-0.55	NESM3	7.5	0.65	0.23	0.50	0.20
UKESM1-0-LL f2	5.5	0.65	0.23	0.50	0.20	NorESM2-LM	2.5	0.70	0.28	0.66	0.27
						NorESM2-MM	28	0.42	0.38	0.32	-0.55
						UKESM1-0-LL f2	7.5	0.65	0.23	0.50	0.20

**Tabla 30**

*Métricas de rendimiento para la Inter cuenca 0171*

INTERCUENCA 0171											
ESCENARIO SSP2-4.5						ESCENARIO SSP5-8.5					
CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
ACCESS-CM2	21	0.29	0.54	0.29	-1.41	ACCESS-CM2	24	0.29	0.54	0.29	-1.41
ACCESS-ESM1-5	27	0.24	0.73	0.25	-2.19	ACCESS-ESM1-5	28	0.24	0.73	0.25	-2.19
AWI-CM-1-1-MR	10.5	0.33	0.47	0.40	-0.97	AWI-CM-1-1-MR	10.5	0.33	0.47	0.40	-0.97
BCC-CSM2-MR	37.5	0.16	0.93	0.01	-3.42	BCC-CSM2-MR	39	0.16	0.93	0.01	-3.42
CAMS-CSM1-0	24	0.26	0.59	0.33	-1.54	CAMS-CSM1-0	24	0.26	0.59	0.33	-1.54
CanESM5-CanOE p2	37.5	0.16	1.07	0.07	-3.82	CanESM5-CanOE p1	40	0.16	1.07	0.07	-3.82
CanESM5 p1	35	0.17	1.06	0.17	-3.72	CanESM5-CanOE p2	17.5	0.29	0.71	0.36	-1.87
CanESM5 p2	36	0.16	1.05	0.07	-3.75	CanESM5 p1	36.5	0.17	1.06	0.17	-3.72
CESM2-WACCM	17	0.29	0.76	0.37	-2.02	CanESM5 p2	38	0.16	1.05	0.07	-3.75
CESM2	18.5	0.29	0.71	0.35	-1.88	CESM2-WACCM	22	0.45	0.27	0.01	-0.05
CIESM	22.5	0.45	0.27	0.01	-0.05	CESM2	15	0.29	0.76	0.37	-2.02
CMCC-CM2-SR5	33	0.20	0.91	0.20	-3.01	CIESM	32	0.20	0.91	0.20	-3.01
CNRM-CM6-1-HR f2	5	0.45	0.28	0.34	-0.28	CMCC-CM2-SR5	29	0.25	0.53	0.18	-1.56
CNRM-CM6-1 f2	28	0.25	0.53	0.18	-1.56	CNRM-CM6-1-HR f2	31	0.23	0.58	0.16	-1.76
CNRM-ESM2-1 f2	31	0.23	0.58	0.16	-1.76	CNRM-CM6-1 f2	8	0.45	0.28	0.34	-0.28
EC-Earth3-Veg	20	0.30	0.51	0.32	-1.25	CNRM-ESM2-1 f2	14	0.31	0.51	0.39	-1.21
EC-Earth3	22.5	0.30	0.50	0.23	-1.21	EC-Earth3-Veg	5.5	0.37	0.44	0.36	-0.86
FGOALS-f3-L	4	0.37	0.44	0.36	-0.86	EC-Earth3	21	0.30	0.51	0.32	-1.25
FGOALS-g3	39	0.07	2.03	-0.38	-9.26	FGOALS-f3-L	41	0.07	2.03	-0.38	-9.26
FIO-ESM-2-0	34	0.18	0.94	0.22	-3.21	FGOALS-g3	33	0.18	0.94	0.22	-3.21
GFDL-CM4	25.5	0.26	0.60	0.30	-1.65	FIO-ESM-2-0	26.5	0.26	0.60	0.30	-1.65
GFDL-ESM4	25.5	0.26	0.58	0.30	-1.59	GFDL-CM4	26.5	0.26	0.59	0.29	-1.57
GISS-E2-1-G p1	12.5	0.48	0.25	0.24	-0.20	GFDL-ESM4	5.5	0.50	0.27	0.33	-0.18
GISS-E2-1-G p3	8.5	0.35	0.49	0.39	-1.03	GISS-E2-1-G p1	13	0.34	0.48	0.34	-1.07
HadGEM3-GC31-LL f3	10.5	0.32	0.76	0.53	-1.63	GISS-E2-1-G p3	2	0.48	0.29	0.46	-0.25
HadGEM3-GC31-MM f3	12.5	0.30	0.83	0.54	-1.89	HadGEM3-GC31-LL f3	10.5	0.32	0.76	0.53	-1.63
INM-CM4-8	18.5	0.35	0.37	0.23	-0.76	HadGEM3-GC31-MM f3	12	0.30	0.83	0.54	-1.89



INM-CM5-0	16	0.32	0.48	0.31	-1.16	INM-CM4-8	17.5	0.35	0.38	0.25	-0.77
IPSL-CM6A-LR	31	0.20	0.80	0.21	-2.63	INM-CM5-0	20	0.32	0.48	0.31	-1.16
MCM-UA-1-0	6.5	0.34	0.47	0.41	-0.93	IPSL-CM6A-LR	35	0.20	0.78	0.12	-2.56
MIROC-ES2L f2	31	0.17	0.98	0.24	-3.32	KACE-1-0-G	24	0.22	0.81	0.33	-2.43
MIROC6	3	0.43	0.41	0.45	-0.56	MCM-UA-1-0	7	0.34	0.47	0.41	-0.93
MPI-ESM1-2-HR	6.5	0.37	0.56	0.48	-1.08	MIROC-ES2L f2	34	0.16	0.99	0.22	-3.38
MPI-ESM1-2-LR	8.5	0.40	0.56	0.48	-1.05	MIROC6	4	0.43	0.41	0.45	-0.56
MRI-ESM2-0	1.5	0.46	0.47	0.52	-0.63	MPI-ESM1-2-HR	36.5	0.16	0.97	0.20	-3.35
NESM3	14.5	0.32	0.50	0.33	-1.19	MPI-ESM1-2-LR	9	0.37	0.56	0.48	-1.08
NorESM2-LM	1.5	0.46	0.47	0.52	-0.63	MRI-ESM2-0	2	0.46	0.47	0.52	-0.63
NorESM2-MM	29	0.24	0.62	0.20	-1.85	NESM3	17.5	0.32	0.50	0.33	-1.19
UKESM1-0-LL f2	14.5	0.32	0.50	0.33	-1.19	NorESM2-LM	2	0.46	0.47	0.52	-0.63
						NorESM2-MM	30	0.24	0.63	0.19	-1.87
						UKESM1-0-LL f2	17.5	0.32	0.50	0.33	-1.19

**Tabla 31**

*Métricas de rendimiento para la Inter cuenca 0173*

INTERCUENCA 0173												
N°	CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP5-8.5				
		Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE		Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
1	ACCESS-CM2	22	0.32	0.56	0.32	-1.21	ACCESS-CM2	22	0.32	0.56	0.32	-1.21
2	ACCESS-ESM1-5	26	0.27	0.76	0.28	-1.94	ACCESS-ESM1-5	27.5	0.27	0.76	0.28	-1.94
3	AWI-CM-1-1-MR	10.5	0.36	0.49	0.39	-0.80	AWI-CM-1-1-MR	8.5	0.36	0.49	0.39	-0.80
4	BCC-CSM2-MR	38	0.18	0.99	0.01	-3.11	BCC-CSM2-MR	39.5	0.18	0.99	0.01	-3.11
5	CAMS-CSM1-0	23.5	0.29	0.61	0.32	-1.34	CAMS-CSM1-0	24	0.29	0.61	0.32	-1.34
6	CanESM5-CanOE p2	37	0.18	1.13	0.07	-3.48	CanESM5-CanOE p1	39.5	0.18	1.13	0.07	-3.48
7	CanESM5 p1	35	0.19	1.12	0.18	-3.38	CanESM5-CanOE p2	19.5	0.32	0.74	0.35	-1.64
8	CanESM5 p2	36	0.18	1.11	0.08	-3.41	CanESM5 p1	36	0.19	1.12	0.18	-3.38
9	CESM2-WACCM	18.5	0.31	0.80	0.36	-1.78	CanESM5 p2	38	0.18	1.11	0.08	-3.41
10	CESM2	20	0.32	0.74	0.34	-1.65	CESM2-WACCM	25.5	0.46	0.32	0.02	-0.05
11	CIESM	23.5	0.46	0.32	0.02	-0.05	CESM2	16.5	0.31	0.80	0.36	-1.78
12	CMCC-CM2-SR5	30.5	0.22	0.95	0.21	-2.71	CIESM	32.5	0.22	0.95	0.21	-2.71
13	CNRM-CM6-1-HR f2	9	0.49	0.30	0.32	-0.17	CMCC-CM2-SR5	29	0.28	0.56	0.18	-1.36
14	CNRM-CM6-1 f2	28	0.28	0.56	0.18	-1.36	CNRM-CM6-1-HR f2	31	0.26	0.60	0.16	-1.55
15	CNRM-ESM2-1 f2	30.5	0.26	0.60	0.16	-1.55	CNRM-CM6-1 f2	11.5	0.49	0.30	0.32	-0.17
16	EC-Earth3-Veg	18.5	0.33	0.52	0.33	-1.06	CNRM-ESM2-1 f2	14	0.34	0.53	0.39	-1.03
17	EC-Earth3	21	0.33	0.51	0.27	-1.03	EC-Earth3-Veg	7	0.41	0.46	0.35	-0.71
18	FGOALS-f3-L	4	0.41	0.46	0.35	-0.71	EC-Earth3	21	0.33	0.52	0.33	-1.06
19	FGOALS-g3	39	0.08	2.17	-0.38	-8.60	FGOALS-f3-L	41	0.08	2.17	-0.38	-8.60
20	FIO-ESM-2-0	34	0.21	0.99	0.23	-2.90	FGOALS-g3	32.5	0.21	0.99	0.23	-2.90
21	GFDL-CM4	25	0.29	0.63	0.30	-1.44	FIO-ESM-2-0	27.5	0.29	0.63	0.30	-1.44
22	GFDL-ESM4	27	0.29	0.61	0.28	-1.39	GFDL-CM4	25.5	0.29	0.61	0.31	-1.37
23	GISS-E2-1-G p1	13	0.52	0.26	0.23	-0.10	GFDL-ESM4	5	0.55	0.29	0.34	-0.08
24	GISS-E2-1-G p3	6.5	0.39	0.51	0.40	-0.86	GISS-E2-1-G p1	13	0.37	0.50	0.34	-0.90

25	HadGEM3-GC31-LL f3	10.5	0.35	0.80	0.56	-1.42	GISS-E2-1-G p3	1	0.53	0.30	0.44	-0.13
26	HadGEM3-GC31-MM f3	12	0.32	0.87	0.56	-1.66	HadGEM3-GC31-LL f3	10	0.35	0.80	0.56	-1.42
27	INM-CM4-8	17	0.39	0.38	0.25	-0.61	HadGEM3-GC31-MM f3	11.5	0.32	0.87	0.56	-1.66
28	INM-CM5-0	14	0.35	0.50	0.33	-0.99	INM-CM4-8	19.5	0.39	0.39	0.26	-0.62
29	IPSL-CM6A-LR	32.5	0.22	0.84	0.19	-2.36	INM-CM5-0	16.5	0.35	0.50	0.33	-0.99
30	MCM-UA-1-0	5	0.38	0.48	0.40	-0.76	IPSL-CM6A-LR	34.5	0.22	0.82	0.09	-2.30
31	MIROC-ES2L f2	32.5	0.19	1.03	0.25	-3.01	KACE-1-0-G	23	0.24	0.85	0.34	-2.18
32	MIROC6	3	0.47	0.42	0.43	-0.42	MCM-UA-1-0	6	0.38	0.48	0.40	-0.76
33	MPI-ESM1-2-HR	6.5	0.41	0.57	0.52	-0.90	MIROC-ES2L f2	34.5	0.18	1.04	0.22	-3.07
34	MPI-ESM1-2-LR	8	0.44	0.57	0.50	-0.87	MIROC6	4	0.47	0.42	0.43	-0.42
35	MRI-ESM2-0	1.5	0.50	0.48	0.53	-0.48	MPI-ESM1-2-HR	37	0.18	1.02	0.20	-3.04
36	NESM3	15.5	0.35	0.52	0.33	-1.01	MPI-ESM1-2-LR	8.5	0.41	0.57	0.52	-0.90
37	NorESM2-LM	1.5	0.50	0.48	0.53	-0.48	MRI-ESM2-0	2.5	0.50	0.48	0.53	-0.48
38	NorESM2-MM	29	0.27	0.65	0.18	-1.63	NESM3	16.5	0.35	0.52	0.33	-1.01
39	UKESM1-0-LL f2	15.5	0.35	0.52	0.33	-1.01	NorESM2-LM	2.5	0.50	0.48	0.53	-0.48
40							NorESM2-MM	30	0.26	0.65	0.18	-1.65
41							UKESM1-0-LL f2	16.5	0.35	0.52	0.33	-1.01

**Tabla 32**

*Métricas de rendimiento para la Inter cuenca 0175*

INTERCUENCA 0175											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	
ACCESS-CM2	23.5	0.27	0.68	0.24	-1.84	ACCESS-CM2	25.5	0.27	0.68	0.24	-1.84
ACCESS-ESM1-5	27	0.22	0.92	0.22	-2.72	ACCESS-ESM1-5	28	0.22	0.92	0.22	-2.72
AWI-CM-1-1-MR	11.5	0.30	0.60	0.34	-1.35	AWI-CM-1-1-MR	9	0.30	0.60	0.34	-1.35
BCC-CSM2-MR	37	0.15	1.17	-0.02	-4.11	BCC-CSM2-MR	39	0.15	1.17	-0.02	-4.11
CAMS-CSM1-0	23.5	0.24	0.74	0.29	-1.99	CAMS-CSM1-0	23	0.24	0.74	0.29	-1.99
CanESM5-CanOE p2	38	0.15	1.34	0.04	-4.57	CanESM5-CanOE p1	40	0.15	1.34	0.04	-4.57
CanESM5 p1	35	0.15	1.32	0.15	-4.45	CanESM5-CanOE p2	17.5	0.27	0.89	0.31	-2.37
CanESM5 p2	36	0.15	1.32	0.04	-4.49	CanESM5 p1	37	0.15	1.32	0.15	-4.45
CESM2-WACCM	18	0.26	0.96	0.34	-2.54	CanESM5 p2	38	0.15	1.32	0.04	-4.49
CESM2	16.5	0.27	0.90	0.31	-2.38	CESM2-WACCM	21	0.47	0.31	0.06	-0.05
CIESM	21	0.47	0.31	0.06	-0.05	CESM2	17.5	0.26	0.96	0.34	-2.54
CMCC-CM2-SR5	30.5	0.19	1.14	0.16	-3.65	CIESM	31.5	0.19	1.14	0.16	-3.65
CNRM-CM6-1-HR f2	10	0.41	0.37	0.29	-0.56	CMCC-CM2-SR5	29	0.23	0.68	0.13	-2.01
CNRM-CM6-1 f2	28	0.23	0.68	0.13	-2.01	CNRM-CM6-1-HR f2	30	0.22	0.74	0.13	-2.24
CNRM-ESM2-1 f2	29	0.22	0.74	0.13	-2.24	CNRM-CM6-1 f2	11	0.41	0.37	0.29	-0.56
EC-Earth3-Veg	19.5	0.27	0.64	0.27	-1.66	CNRM-ESM2-1 f2	13	0.28	0.65	0.34	-1.62
EC-Earth3	22	0.28	0.63	0.22	-1.62	EC-Earth3-Veg	9	0.34	0.57	0.30	-1.23
FGOALS-f3-L	8	0.34	0.57	0.30	-1.23	EC-Earth3	22	0.27	0.64	0.27	-1.66
FGOALS-g3	39	0.07	2.53	-0.38	-10.70	FGOALS-f3-L	41	0.07	2.53	-0.38	-10.70
FIO-ESM-2-0	33.5	0.17	1.19	0.17	-3.88	FGOALS-g3	33.5	0.17	1.19	0.17	-3.88
GFDL-CM4	25.5	0.24	0.77	0.25	-2.12	FIO-ESM-2-0	27	0.24	0.77	0.25	-2.12



GFDL-ESM4	25.5	0.24	0.74	0.25	-2.05	GFDL-CM4	25.5	0.24	0.75	0.25	-2.03
GISS-E2-1-G p1	13	0.43	0.33	0.20	-0.45	GFDL-ESM4	9	0.46	0.36	0.27	-0.43
GISS-E2-1-G p3	4.5	0.32	0.62	0.36	-1.41	GISS-E2-1-G p1	16	0.31	0.61	0.29	-1.46
HadGEM3-GC31-LL f3	8	0.29	0.96	0.52	-2.10	GISS-E2-1-G p3	1	0.44	0.38	0.39	-0.53
HadGEM3-GC31-MM f3	11.5	0.27	1.04	0.53	-2.39	HadGEM3-GC31-LL f3	6.5	0.29	0.96	0.52	-2.10
INM-CM4-8	19.5	0.32	0.47	0.19	-1.10	HadGEM3-GC31-MM f3	12	0.27	1.04	0.53	-2.39
INM-CM5-0	16.5	0.29	0.62	0.26	-1.56	INM-CM4-8	19	0.32	0.48	0.22	-1.11
IPSL-CM6A-LR	32	0.19	1.01	0.15	-3.22	INM-CM5-0	20	0.29	0.62	0.26	-1.56
MCM-UA-1-0	4.5	0.31	0.59	0.35	-1.30	IPSL-CM6A-LR	35.5	0.18	0.98	0.05	-3.14
MIROC-ES2L f2	30.5	0.16	1.23	0.20	-4.01	KACE-1-0-G	24	0.20	1.02	0.30	-3.01
MIROC6	3	0.39	0.52	0.37	-0.89	MCM-UA-1-0	5	0.31	0.59	0.35	-1.30
MPI-ESM1-2-HR	6	0.34	0.70	0.45	-1.47	MIROC-ES2L f2	33.5	0.15	1.24	0.19	-4.08
MPI-ESM1-2-LR	8	0.37	0.70	0.45	-1.44	MIROC6	4	0.39	0.52	0.37	-0.89
MRI-ESM2-0	1.5	0.42	0.59	0.48	-0.96	MPI-ESM1-2-HR	35.5	0.15	1.22	0.16	-4.04
NESM3	14.5	0.29	0.63	0.30	-1.60	MPI-ESM1-2-LR	6.5	0.34	0.70	0.45	-1.47
NorESM2-LM	1.5	0.42	0.59	0.48	-0.96	MRI-ESM2-0	2.5	0.42	0.59	0.48	-0.96
NorESM2-MM	33.5	0.22	0.79	0.13	-2.34	NESM3	14.5	0.29	0.63	0.30	-1.60
UKESM1-0-LL f2	14.5	0.29	0.63	0.30	-1.60	NorESM2-LM	2.5	0.42	0.59	0.48	-0.96
						NorESM2-MM	31.5	0.22	0.80	0.13	-2.37
						UKESM1-0-LL f2	14.5	0.29	0.63	0.30	-1.60

**Tabla 33**

*Métricas de rendimiento para la Inter cuenca Ramis*

INTERCUENCA RAMIS											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
ACCESS-CM2	24.5	0.26	0.78	0.27	-1.75	ACCESS-CM2	26	0.26	0.78	0.27	-1.75
ACCESS-ESM1-5	26	0.22	1.03	0.26	-2.57	ACCESS-ESM1-5	28	0.22	1.03	0.26	-2.57
AWI-CM-1-1-MR	8	0.30	0.68	0.38	-1.26	AWI-CM-1-1-MR	8.5	0.30	0.68	0.38	-1.26
BCC-CSM2-MR	37.5	0.15	1.30	0.01	-3.88	BCC-CSM2-MR	39.5	0.15	1.30	0.01	-3.88
CAMS-CSM1-0	22	0.24	0.83	0.32	-1.84	CAMS-CSM1-0	24	0.24	0.83	0.32	-1.84
CanESM5-CanOE p2	37.5	0.15	1.49	0.07	-4.31	CanESM5-CanOE p1	39.5	0.15	1.49	0.07	-4.31
CanESM5 p1	35	0.15	1.47	0.15	-4.20	CanESM5-CanOE p2	15.5	0.27	1.00	0.33	-2.23
CanESM5 p2	36	0.15	1.47	0.07	-4.24	CanESM5 p1	36	0.15	1.47	0.15	-4.20
CESM2-WACCM	17	0.26	1.08	0.32	-2.39	CanESM5 p2	38	0.15	1.47	0.07	-4.24
CESM2	20	0.27	1.01	0.31	-2.24	CESM2-WACCM	22	0.46	0.34	0.05	-0.04
CIESM	21	0.46	0.34	0.05	-0.04	CESM2	20	0.26	1.08	0.32	-2.39
CMCC-CM2-SR5	30.5	0.18	1.29	0.20	-3.51	CIESM	32	0.18	1.29	0.20	-3.51
CNRM-CM6-1-HR f2	5	0.40	0.42	0.32	-0.50	CMCC-CM2-SR5	29	0.23	0.77	0.16	-1.89
CNRM-CM6-1 f2	28	0.23	0.77	0.16	-1.89	CNRM-CM6-1-HR f2	31	0.22	0.83	0.13	-2.11
CNRM-ESM2-1 f2	30.5	0.22	0.83	0.13	-2.11	CNRM-CM6-1 f2	10	0.40	0.42	0.32	-0.50
EC-Earth3-Veg	17	0.27	0.72	0.29	-1.54	CNRM-ESM2-1 f2	14	0.28	0.73	0.35	-1.49



EC-Earth3	23	0.28	0.71	0.21	-1.49	EC-Earth3-Veg	6	0.34	0.63	0.35	-1.12
FGOALS-f3-L	4	0.34	0.63	0.35	-1.12	EC-Earth3	18	0.27	0.72	0.29	-1.54
FGOALS-g3	39	0.07	2.80	-0.37	-10.14	FGOALS-f3-L	41	0.07	2.80	-0.37	-10.14
FIO-ESM-2-0	33.5	0.17	1.34	0.20	-3.73	FGOALS-g3	33.5	0.17	1.34	0.20	-3.73
GFDL-CM4	24.5	0.24	0.87	0.28	-2.00	FIO-ESM-2-0	27	0.24	0.87	0.28	-2.00
GFDL-ESM4	27	0.23	0.83	0.27	-1.93	GFDL-CM4	25	0.24	0.84	0.29	-1.91
GISS-E2-1-G p1	13	0.43	0.36	0.25	-0.36	GFDL-ESM4	4	0.46	0.39	0.33	-0.34
GISS-E2-1-G p3	6	0.32	0.70	0.37	-1.33	GISS-E2-1-G p1	13	0.30	0.69	0.32	-1.38
HadGEM3-GC31-LL f3	11.5	0.29	1.08	0.50	-1.97	GISS-E2-1-G p3	3	0.44	0.43	0.42	-0.47
HadGEM3-GC31-MM f3	11.5	0.27	1.17	0.53	-2.25	HadGEM3-GC31-LL f3	11	0.29	1.08	0.50	-1.97
INM-CM4-8	17	0.31	0.55	0.24	-1.07	HadGEM3-GC31-MM f3	12	0.27	1.17	0.53	-2.25
INM-CM5-0	14	0.29	0.70	0.28	-1.46	INM-CM4-8	15.5	0.31	0.56	0.26	-1.08
IPSL-CM6A-LR	33.5	0.18	1.14	0.17	-3.07	INM-CM5-0	17	0.29	0.70	0.28	-1.46
MCM-UA-1-0	10	0.31	0.67	0.36	-1.22	IPSL-CM6A-LR	35	0.18	1.11	0.10	-3.00
MIROC-ES2L f2	32	0.15	1.38	0.22	-3.81	KACE-1-0-G	23	0.20	1.14	0.33	-2.82
MIROC6	3	0.38	0.60	0.42	-0.84	MCM-UA-1-0	7	0.31	0.67	0.36	-1.22
MPI-ESM1-2-HR	8	0.33	0.80	0.48	-1.39	MIROC-ES2L f2	33.5	0.15	1.39	0.20	-3.88
MPI-ESM1-2-LR	8	0.37	0.79	0.46	-1.32	MIROC6	5	0.38	0.60	0.42	-0.84
MRI-ESM2-0	1.5	0.42	0.67	0.51	-0.88	MPI-ESM1-2-HR	37	0.15	1.37	0.16	-3.85
NESM3	17	0.28	0.72	0.28	-1.52	MPI-ESM1-2-LR	8.5	0.33	0.80	0.48	-1.39
NorESM2-LM	1.5	0.42	0.67	0.51	-0.88	MRI-ESM2-0	1.5	0.42	0.67	0.51	-0.88
NorESM2-MM	29	0.22	0.89	0.18	-2.21	NESM3	20	0.28	0.72	0.28	-1.52
UKESM1-0-LL f2	17	0.28	0.72	0.28	-1.52	NorESM2-LM	1.5	0.42	0.67	0.51	-0.88
						NorESM2-MM	30	0.21	0.89	0.19	-2.23
						UKESM1-0-LL f2	20	0.28	0.72	0.28	-1.52

**Tabla 34**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Lago Titicaca*

CUENCA LAGO TITICACA											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
ACCESS-CM2	21	0.41	0.43	0.34	-0.67	ACCESS-CM2	22	0.41	0.43	0.34	-0.67
ACCESS-ESM1-5	26	0.34	0.59	0.31	-1.26	ACCESS-ESM1-5	27	0.34	0.59	0.31	-1.26
AWI-CM-1-1-MR	11	0.46	0.37	0.42	-0.33	AWI-CM-1-1-MR	9	0.46	0.37	0.42	-0.33
BCC-CSM2-MR	37.5	0.22	0.79	0.05	-2.23	BCC-CSM2-MR	39	0.22	0.79	0.05	-2.23
CAMS-CSM1-0	23.5	0.37	0.47	0.33	-0.76	CAMS-CSM1-0	24	0.37	0.47	0.33	-0.76
CanESM5-CanOE p2	37.5	0.23	0.90	0.07	-2.53	CanESM5-CanOE p1	40	0.23	0.90	0.07	-2.53
CanESM5 p1	35.5	0.24	0.89	0.16	-2.45	CanESM5-CanOE p2	20	0.39	0.57	0.39	-1.01
CanESM5 p2	35.5	0.23	0.89	0.07	-2.47	CanESM5 p1	37	0.24	0.89	0.16	-2.45
CESM2-WACCM	18.5	0.39	0.62	0.40	-1.12	CanESM5 p2	38	0.23	0.89	0.07	-2.47
CESM2	18.5	0.39	0.58	0.36	-1.02	CESM2-WACCM	27	0.47	0.33	0.02	-0.05
CIESM	27	0.47	0.33	0.02	-0.05	CESM2	19	0.39	0.62	0.40	-1.12
CMCC-CM2-SR5	32.5	0.28	0.76	0.22	-1.90	CIESM	32	0.28	0.76	0.22	-1.90
CNRM-CM6-1-HR f2	1	0.62	0.23	0.33	0.14	CMCC-CM2-SR5	29	0.36	0.43	0.21	-0.80



CNRM-CM6-1 f2	28.5	0.36	0.43	0.21	-0.80	CNRM-CM6-1-HR f2	31	0.33	0.47	0.19	-0.95
CNRM-ESM2-1 f2	32.5	0.33	0.47	0.19	-0.95	CNRM-CM6-1 f2	3	0.62	0.23	0.33	0.14
EC-Earth3-Veg	20	0.42	0.39	0.34	-0.54	CNRM-ESM2-1 f2	16.5	0.43	0.40	0.38	-0.51
EC-Earth3	22	0.42	0.39	0.26	-0.52	EC-Earth3-Veg	8	0.51	0.35	0.39	-0.27
FGOALS-f3-L	6.5	0.51	0.35	0.39	-0.27	EC-Earth3	21	0.42	0.39	0.34	-0.54
FGOALS-g3	39	0.10	1.79	-0.38	-6.74	FGOALS-f3-L	41	0.10	1.79	-0.38	-6.74
FIO-ESM-2-0	32.5	0.26	0.79	0.23	-2.05	FGOALS-g3	33	0.26	0.79	0.23	-2.05
GFDL-CM4	25	0.37	0.49	0.32	-0.85	FIO-ESM-2-0	25	0.37	0.49	0.32	-0.85
GFDL-ESM4	23.5	0.37	0.46	0.32	-0.81	GFDL-CM4	27	0.37	0.47	0.31	-0.79
GISS-E2-1-G p1	2	0.65	0.21	0.22	0.17	GFDL-ESM4	2	0.67	0.23	0.34	0.19
GISS-E2-1-G p3	8	0.48	0.38	0.43	-0.37	GISS-E2-1-G p1	10.5	0.46	0.37	0.40	-0.41
HadGEM3-GC31-LL f3	14	0.43	0.62	0.57	-0.82	GISS-E2-1-G p3	1	0.65	0.23	0.46	0.19
HadGEM3-GC31-MM f3	13	0.40	0.68	0.59	-1.01	HadGEM3-GC31-LL f3	12.5	0.43	0.62	0.57	-0.82
INM-CM4-8	15	0.49	0.29	0.28	-0.20	HadGEM3-GC31-MM f3	12.5	0.40	0.68	0.59	-1.01
INM-CM5-0	12	0.44	0.38	0.35	-0.49	INM-CM4-8	16.5	0.49	0.29	0.29	-0.21
IPSL-CM6A-LR	30	0.28	0.66	0.22	-1.60	INM-CM5-0	14	0.44	0.38	0.35	-0.49
MCM-UA-1-0	6.5	0.48	0.36	0.42	-0.29	IPSL-CM6A-LR	35	0.29	0.64	0.12	-1.55
MIROC-ES2L f2	32.5	0.24	0.82	0.26	-2.14	MIROC-ES2L f2	23	0.31	0.67	0.38	-1.45
MIROC6	5	0.58	0.30	0.44	0.00	MCM-UA-1-0	7	0.48	0.36	0.42	-0.29
MPI-ESM1-2-HR	9.5	0.50	0.43	0.52	-0.39	MIROC6	6	0.58	0.30	0.44	0.00
MPI-ESM1-2-LR	9.5	0.53	0.43	0.55	-0.37	MPI-ESM1-2-HR	36	0.23	0.81	0.22	-2.16
MRI-ESM2-0	3.5	0.60	0.37	0.57	-0.05	MPI-ESM1-2-LR	10.5	0.50	0.43	0.52	-0.39
NESM3	16.5	0.44	0.39	0.34	-0.50	MRI-ESM2-0	4.5	0.60	0.37	0.57	-0.05
NorESM2-LM	3.5	0.60	0.37	0.57	-0.05	NESM3	16.5	0.44	0.39	0.34	-0.50
NorESM2-MM	28.5	0.34	0.50	0.22	-1.01	NorESM2-LM	4.5	0.60	0.37	0.57	-0.05
UKESM1-0-LL f2	16.5	0.44	0.39	0.34	-0.50	NorESM2-MM	30	0.34	0.50	0.19	-1.03
						UKESM1-0-LL f2	16.5	0.44	0.39	0.34	-0.50

**Tabla 35**

*Métricas de rendimiento para la cuenca Lago Titicaca 1*

CUENCA LAGO TITICACA 1											
CMIP6_GCM	ESCENARIO SSP2-4.5					ESCENARIO SSP5-8.5					
	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE	CMIP6_GCM	Rank	md	nRMSE	SPAEF	KGE
ACCESS-CM2	16	0.60	0.24	0.42	0.05	ACCESS-CM2	17.5	0.60	0.24	0.42	0.05
ACCESS-ESM1-5	24.5	0.48	0.35	0.39	-0.42	ACCESS-ESM1-5	25	0.48	0.35	0.39	-0.42
AWI-CM-1-1-MR	10.5	0.64	0.23	0.47	0.19	AWI-CM-1-1-MR	11.5	0.64	0.23	0.47	0.19
BCC-CSM2-MR	38	0.27	0.56	0.08	-1.52	BCC-CSM2-MR	40	0.27	0.56	0.08	-1.52
CAMS-CSM1-0	27	0.47	0.32	0.36	-0.33	CAMS-CSM1-0	27	0.47	0.32	0.36	-0.33
CanESM5-CanOE p2	36.5	0.32	0.55	0.10	-1.37	CanESM5-CanOE p1	39	0.32	0.55	0.10	-1.37
CanESM5 p1	34.5	0.33	0.55	0.21	-1.30	CanESM5-CanOE p2	22	0.53	0.34	0.43	-0.25
CanESM5 p2	34.5	0.33	0.54	0.10	-1.32	CanESM5 p1	36	0.33	0.55	0.21	-1.30
CESM2-WACCM	21	0.52	0.38	0.46	-0.35	CanESM5 p2	37	0.33	0.54	0.10	-1.32
CESM2	22	0.53	0.34	0.43	-0.26	CESM2-WACCM	38	0.47	0.30	-0.02	-0.05



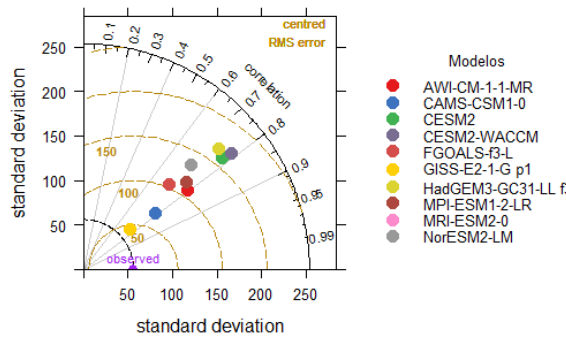
CIESM	36.5	0.47	0.30	-0.02	-0.05	CESM2	21	0.52	0.38	0.46	-0.35
CMCC-CM2-SR5	33	0.38	0.49	0.29	-1.03	CIESM	31	0.38	0.49	0.29	-1.03
CNRM-CM6-1-HR f2	4	0.80	0.16	0.39	0.43	CMCC-CM2-SR5	26	0.54	0.24	0.26	-0.08
CNRM-CM6-1 f2	26	0.54	0.24	0.26	-0.08	CNRM-CM6-1-HR f2	28	0.50	0.26	0.25	-0.19
CNRM-ESM2-1 f2	28	0.50	0.26	0.25	-0.19	CNRM-CM6-1 f2	5	0.80	0.16	0.39	0.43
EC-Earth3-Veg	14	0.59	0.22	0.40	0.07	CNRM-ESM2-1 f2	14.5	0.60	0.23	0.45	0.10
EC-Earth3	17	0.60	0.22	0.33	0.08	EC-Earth3-Veg	17.5	0.64	0.24	0.37	0.11
FGOALS-f3-L	15	0.64	0.24	0.37	0.11	EC-Earth3	16	0.59	0.22	0.40	0.07
FGOALS-g3	39	0.15	1.05	-0.27	-4.01	FGOALS-f3-L	41	0.15	1.05	-0.27	-4.01
FIO-ESM-2-0	32	0.36	0.51	0.29	-1.12	FGOALS-g3	32.5	0.36	0.51	0.29	-1.12
GFDL-CM4	23	0.52	0.29	0.39	-0.17	FIO-ESM-2-0	23	0.52	0.29	0.39	-0.17
GFDL-ESM4	24.5	0.51	0.28	0.37	-0.18	GFDL-CM4	24	0.52	0.30	0.39	-0.17
GISS-E2-1-G p1	9	0.82	0.17	0.24	0.37	GFDL-ESM4	8	0.83	0.18	0.35	0.40
GISS-E2-1-G p3	5	0.68	0.21	0.51	0.26	GISS-E2-1-G p1	7	0.67	0.20	0.45	0.23
HadGEM3-GC31-LL f3	19	0.53	0.43	0.61	-0.29	GISS-E2-1-G p3	1.5	0.87	0.15	0.41	0.53
HadGEM3-GC31-MM f3	20	0.50	0.47	0.62	-0.46	HadGEM3-GC31-LL f3	19	0.53	0.43	0.61	-0.29
INM-CM4-8	10.5	0.69	0.17	0.27	0.27	HadGEM3-GC31-MM f3	20	0.50	0.47	0.62	-0.46
INM-CM5-0	12.5	0.61	0.23	0.43	0.10	INM-CM4-8	11.5	0.69	0.18	0.33	0.27
IPSL-CM6A-LR	30	0.40	0.39	0.29	-0.71	INM-CM5-0	13	0.61	0.23	0.43	0.10
MCM-UA-1-0	6	0.66	0.21	0.49	0.24	IPSL-CM6A-LR	34.5	0.41	0.38	0.17	-0.67
MIROC-ES2L f2	31	0.34	0.53	0.34	-1.18	KACE-1-0-G	30	0.36	0.49	0.34	-0.98
MIROC6	1	0.74	0.18	0.51	0.42	MCM-UA-1-0	6	0.66	0.21	0.49	0.24
MPI-ESM1-2-HR	12.5	0.62	0.28	0.58	0.08	MIROC-ES2L f2	34.5	0.33	0.54	0.32	-1.22
MPI-ESM1-2-LR	18	0.59	0.33	0.55	-0.09	MIROC6	1.5	0.74	0.18	0.51	0.42
MRI-ESM2-0	2.5	0.76	0.22	0.63	0.42	MPI-ESM1-2-HR	32.5	0.33	0.53	0.31	-1.20
NESM3	7.5	0.65	0.21	0.43	0.18	MPI-ESM1-2-LR	14.5	0.62	0.28	0.58	0.08
NorESM2-LM	2.5	0.76	0.22	0.63	0.42	MRI-ESM2-0	3.5	0.76	0.22	0.63	0.42
NorESM2-MM	29	0.48	0.30	0.26	-0.31	NESM3	9.5	0.65	0.21	0.43	0.18
UKESM1-0-LL f2	7.5	0.65	0.21	0.43	0.18	NorESM2-LM	3.5	0.76	0.22	0.63	0.42
						NorESM2-MM	29	0.48	0.30	0.23	-0.32
						UKESM1-0-LL f2	9.5	0.65	0.21	0.43	0.18



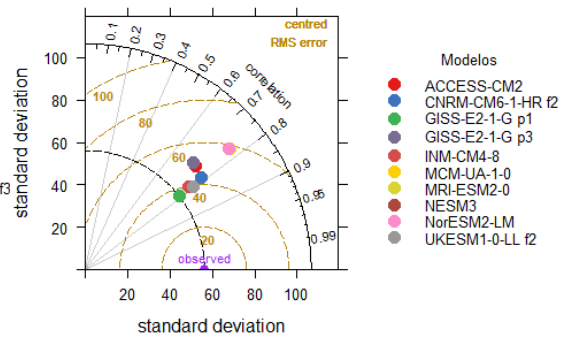
**ANEXO H: DIGRAMAS DE TAYLOR PARA LAS 17 UNIDADES  
HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA EN EL ESCENARIO  
DE EMISIÓN SSP2-4.5**



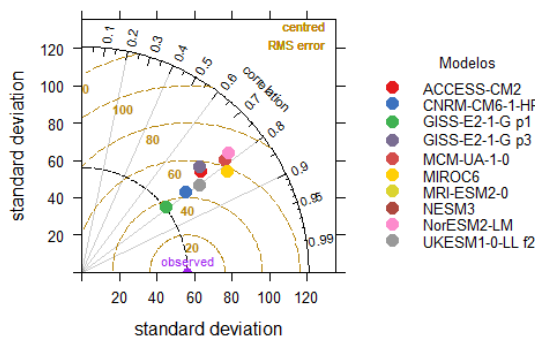
Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Az?ngaro



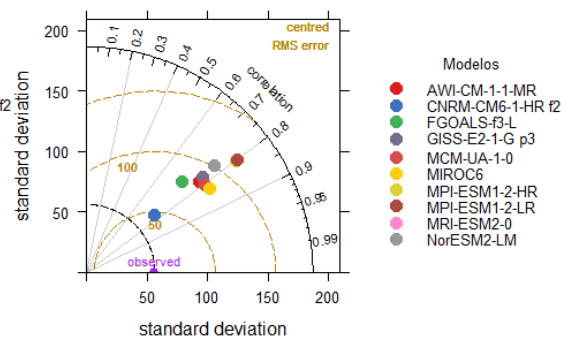
Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Callacame



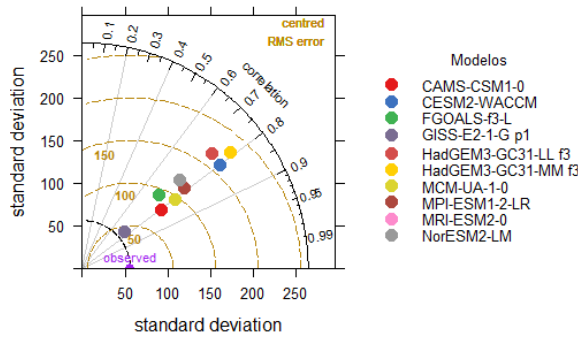
Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Ilave



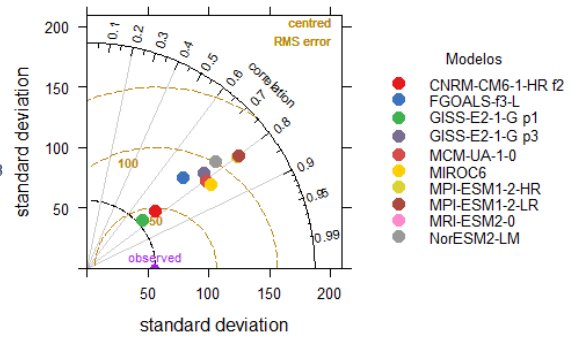
Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Coata



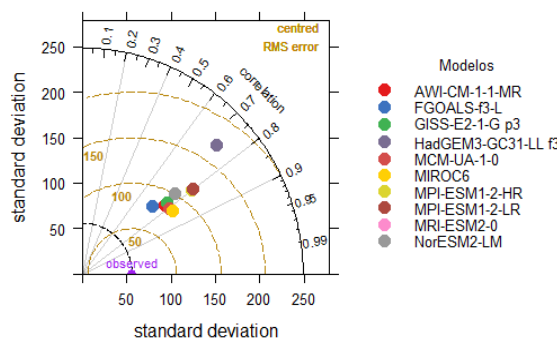
Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Huancané



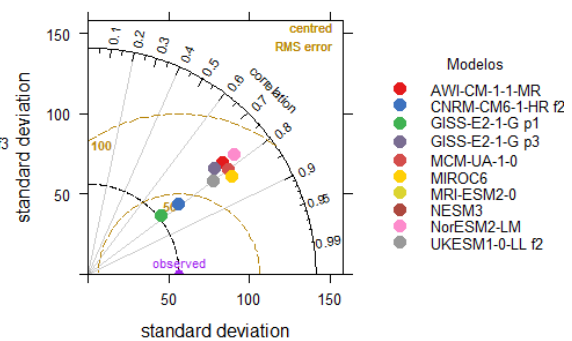
Precipitaci?n CMIP6 - Lago.Titicaca



Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Ilpa

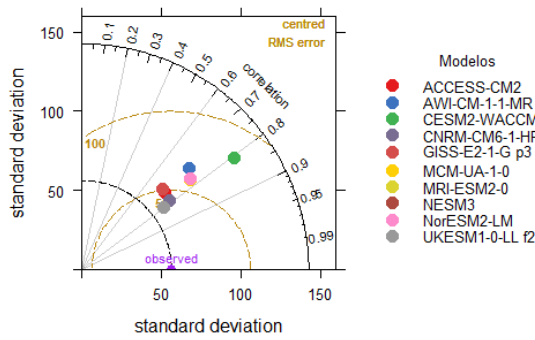


Precipitaci?n CMIP6 - Lago.Titicaca.1

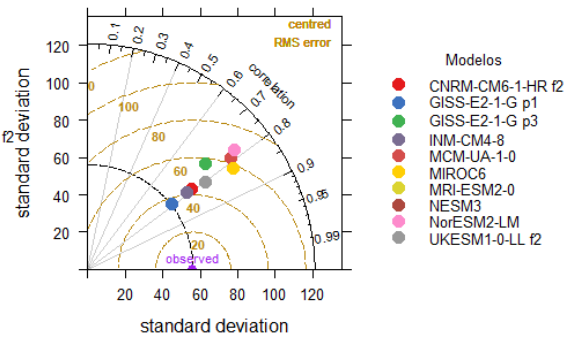




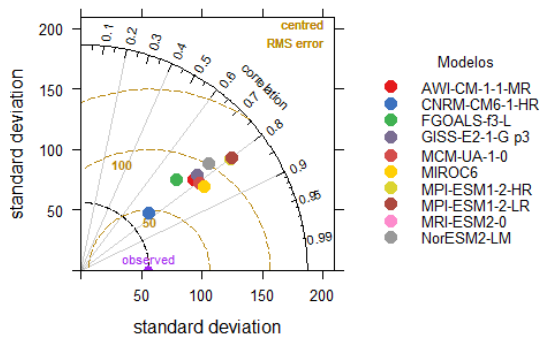
Precipitaci?n CMIP6 - Intercuenca.0155



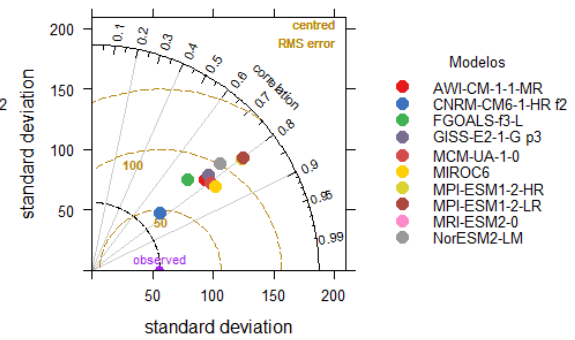
Precipitaci?n CMIP6 - Intercuenca.0157



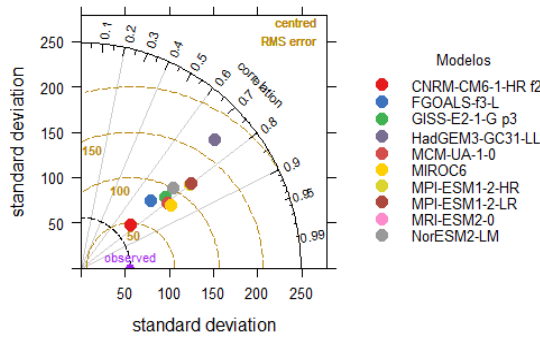
Precipitaci?n CMIP6 - Intercuenca.0171



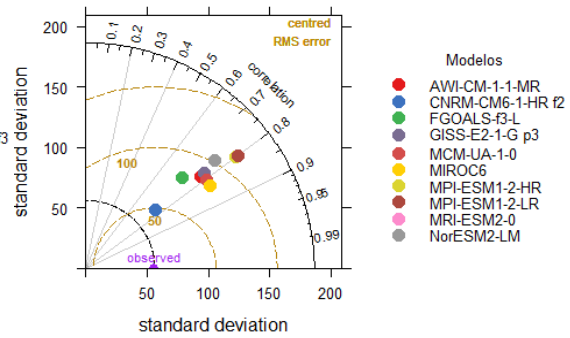
Precipitaci?n CMIP6 - Intercuenca.0173



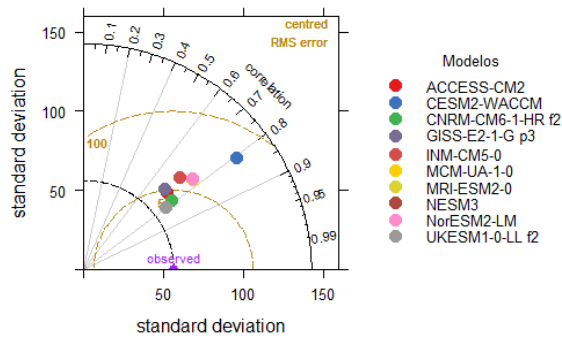
Precipitaci?n CMIP6 - Intercuenca.0175



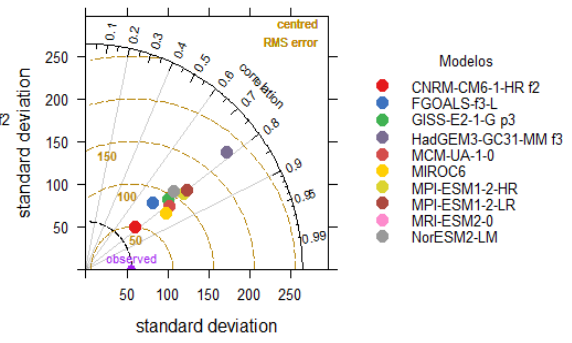
Precipitaci?n CMIP6 - Intercuenca.Ramis



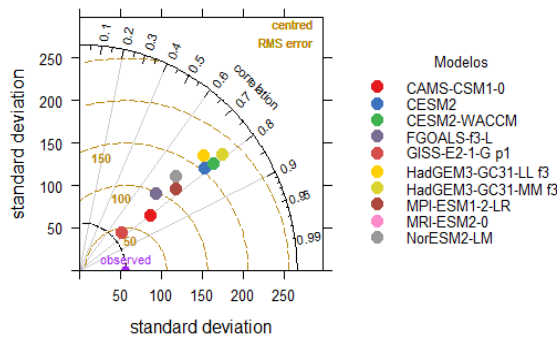
Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Mauri.ChiCO



Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Pucar?

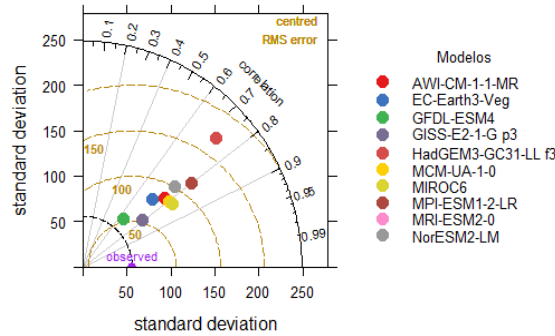


Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Suches

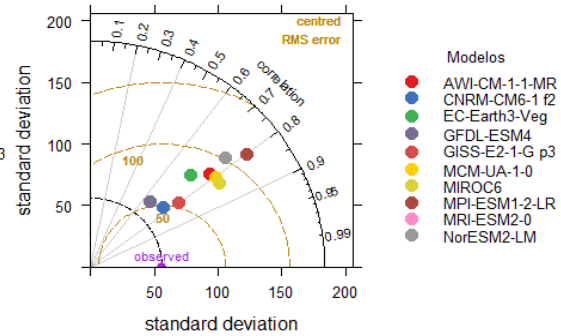


# ANEXO I: DIGRAMAS DE TAYLOR PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA EN EL ESCENARIO DE EMISIÓN SSP5-8.5

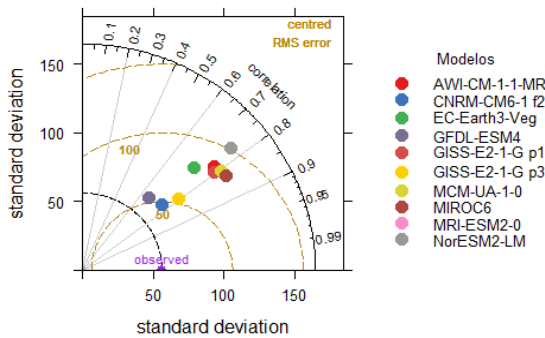
Precipitación CMIP6 - Intercuenca.0175



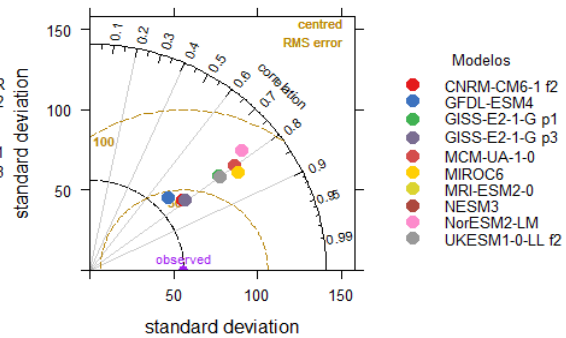
Precipitación CMIP6 - Intercuenca.Ramis



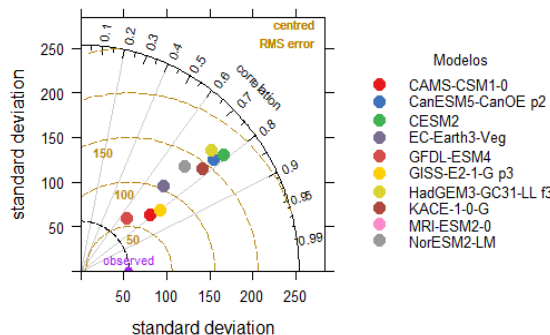
Precipitación CMIP6 - Lago.Titicaca



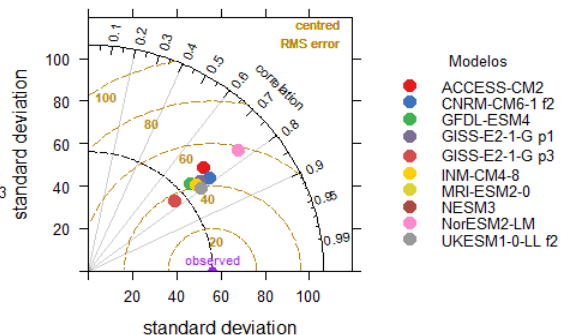
Precipitación CMIP6 - Lago.Titicaca.1



Precipitación CMIP6 - Cuenca.Azángaro

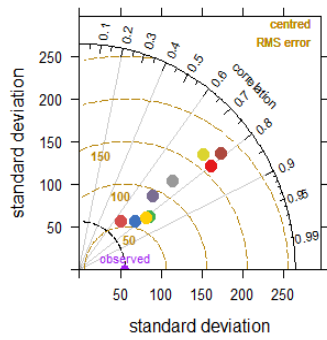


Precipitación CMIP6 - Cuenca.Callacame



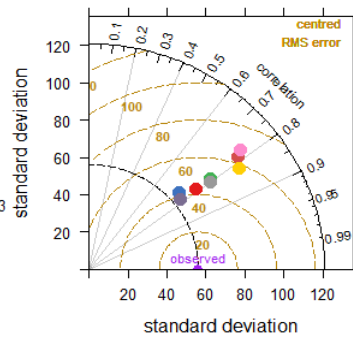


Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Huancaané



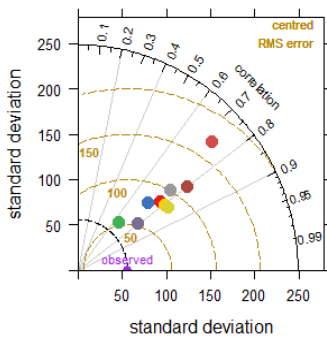
- Modelos
- CESM2
  - CNRM-CM6-1 f2
  - CNRM-ESM2-1 f2
  - EC-Earth3-Veg
  - GFDL-ESM4
  - GISS-E2-1-G p3
  - HadGEM3-GC31-LL f3
  - HadGEM3-GC31-MM f3
  - MRI-ESM2-0
  - NorESM2-LM

Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Ilave



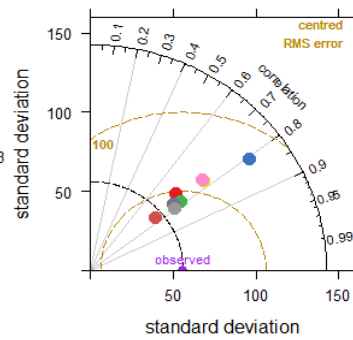
- Modelos
- CNRM-CM6-1 f2
  - GFDL-ESM4
  - GISS-E2-1-G p1
  - GISS-E2-1-G p3
  - MCM-UA-1-0
  - MIROC6
  - MRI-ESM2-0
  - NESM3
  - NorESM2-LM
  - UKESM1-0-LL f2

Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Ilpa



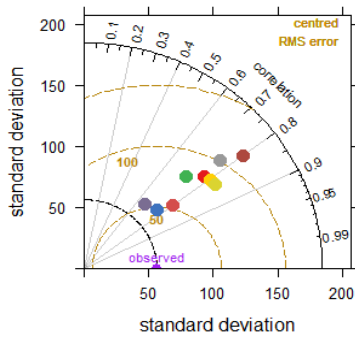
- Modelos
- AWI-CM-1-1-MR
  - EC-Earth3-Veg
  - GFDL-ESM4
  - GISS-E2-1-G p3
  - HadGEM3-GC31-LL f3
  - MCM-UA-1-0
  - MIROC6
  - MPI-ESM1-2-LR
  - MRI-ESM2-0
  - NorESM2-LM

Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Mauri.ChiCO



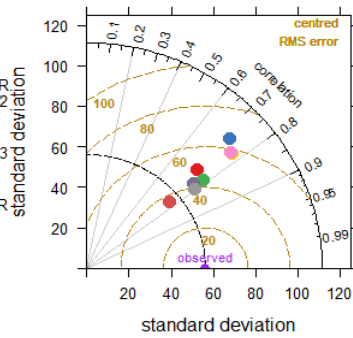
- Modelos
- ACCESS-CM2
  - CESM2
  - CNRM-CM6-1 f2
  - GISS-E2-1-G p1
  - GISS-E2-1-G p3
  - MCM-UA-1-0
  - MRI-ESM2-0
  - NESM3
  - NorESM2-LM
  - UKESM1-0-LL f2

Precipitaci?n CMIP6 - Intercuenca.0171



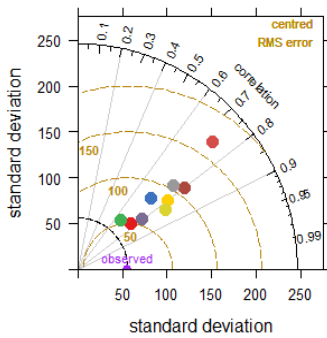
- Modelos
- AWI-CM-1-1-MR
  - CNRM-CM6-1 f2
  - EC-Earth3-Veg
  - GFDL-ESM4
  - GISS-E2-1-G p3
  - MCM-UA-1-0
  - MIROC6
  - MPI-ESM1-2-LR
  - MRI-ESM2-0
  - NorESM2-LM

Precipitaci?n CMIP6 - Intercuenca.0155



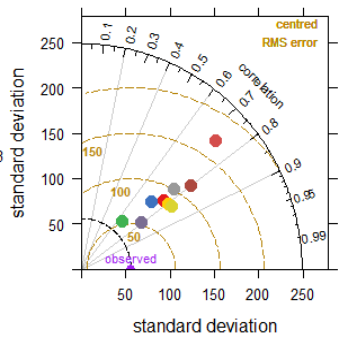
- Modelos
- ACCESS-CM2
  - AWI-CM-1-1-MR
  - CNRM-CM6-1 f2
  - GISS-E2-1-G p1
  - GISS-E2-1-G p3
  - MCM-UA-1-0
  - MRI-ESM2-0
  - NESM3
  - NorESM2-LM
  - UKESM1-0-LL f2

Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Pucar?



- Modelos
- CNRM-CM6-1 f2
  - EC-Earth3-Veg
  - GFDL-ESM4
  - GISS-E2-1-G p3
  - HadGEM3-GC31-LL f3
  - MCM-UA-1-0
  - MIROC6
  - MPI-ESM1-2-LR
  - MRI-ESM2-0
  - NorESM2-LM

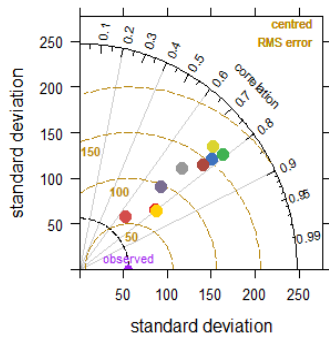
Precipitaci?n CMIP6 - Intercuenca.0173



- Modelos
- AWI-CM-1-1-MR
  - EC-Earth3-Veg
  - GFDL-ESM4
  - GISS-E2-1-G p3
  - HadGEM3-GC31-LL f3
  - MCM-UA-1-0
  - MIROC6
  - MPI-ESM1-2-LR
  - MRI-ESM2-0
  - NorESM2-LM

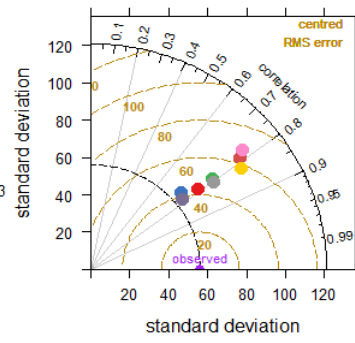


Precipitaci?n CMIP6 - Cuenca.Suches



- Modelos
- CAMS-CSM1-0
  - CanESM5-CanOE p2
  - CESM2
  - EC-Earth3-Veg
  - GFDL-ESM4
  - GISS-E2-1-G p3
  - HadGEM3-GC31-LL f3
  - KACE-1-0-G
  - MRI-ESM2-0
  - NorESM2-LM

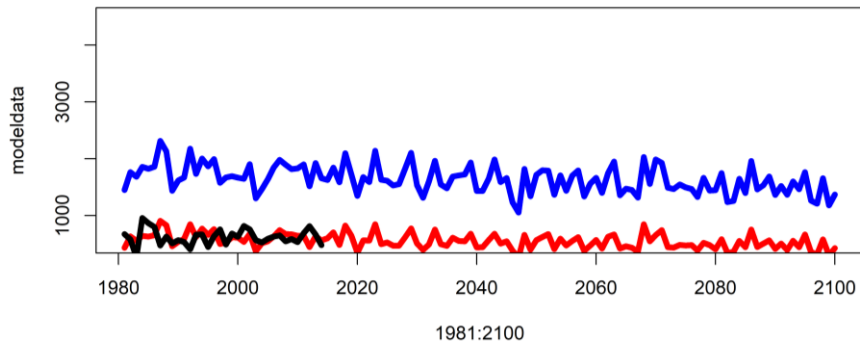
Precipitaci?n CMIP6 - Intercuenca.0157



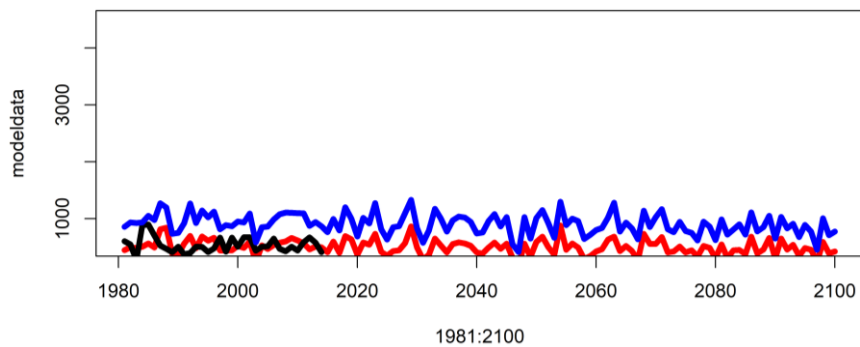
- Modelos
- CNRM-CM6-1 f2
  - GFDL-ESM4
  - GISS-E2-1-G p1
  - GISS-E2-1-G p3
  - MCM-UA-1-0
  - MIROC6
  - MRI-ESM2-0
  - NESM3
  - NorESM2-LM
  - UKESM1-0-LL f2

## ANEXO J: REDUCCION DE ESCALA ESTADISTICA PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA

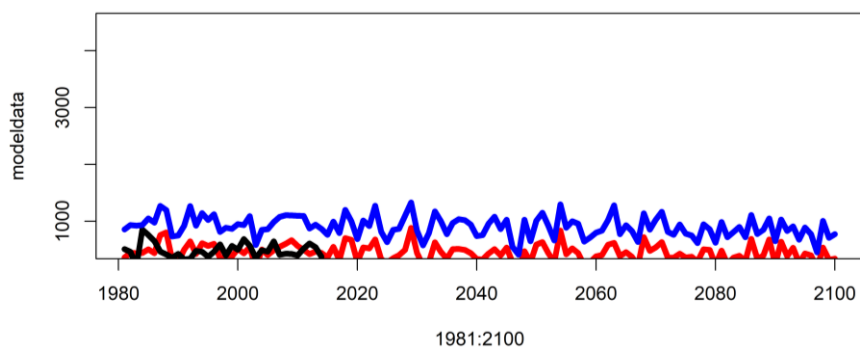
OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Cuenca.Iipa



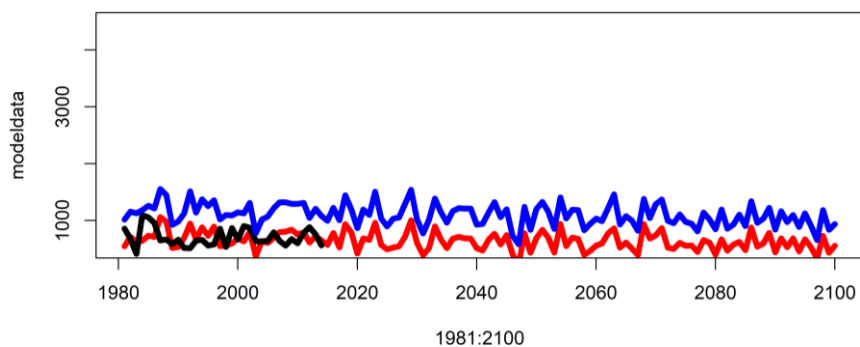
OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Cuenca.Callaccame



OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Intercuenca.0155

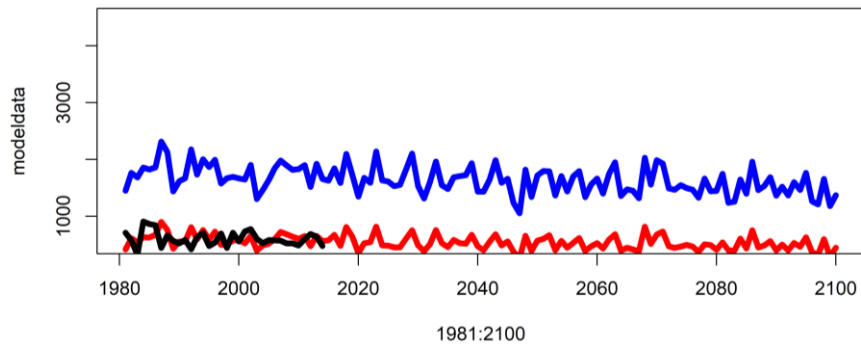


OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Intercuenca.0157

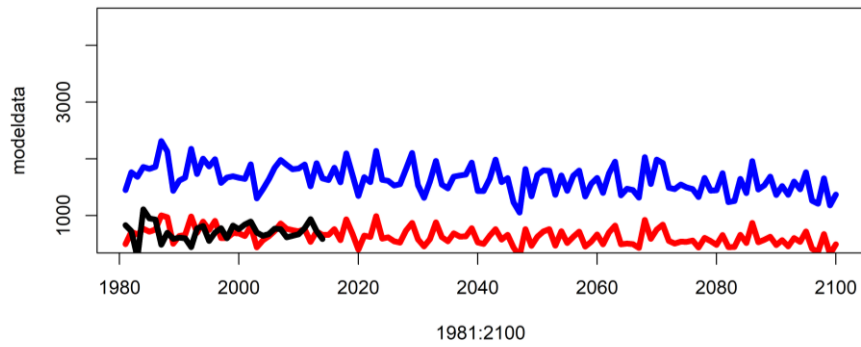




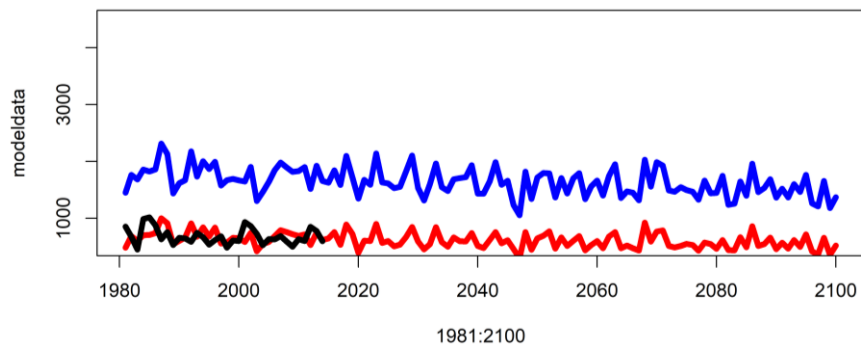
**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Intercuenca.0175**



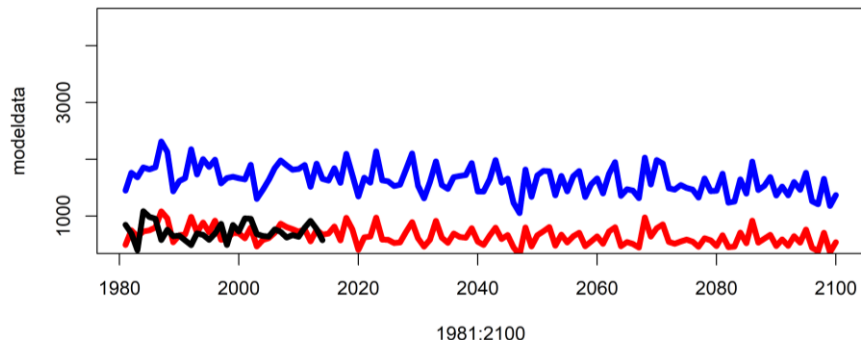
**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Cuenca.Coata**



**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Intercuenca.0171**

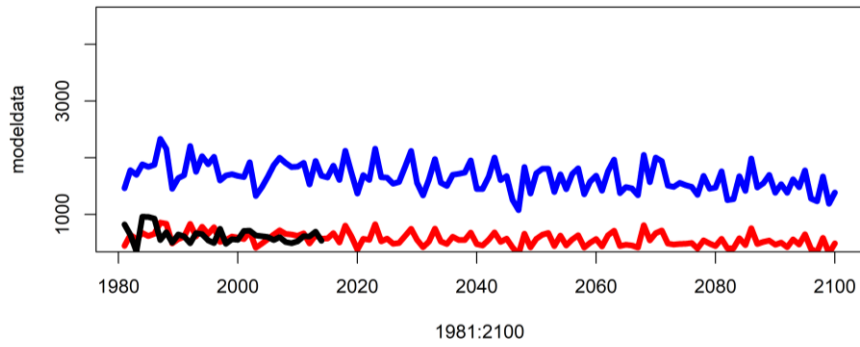


**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Intercuenca.0173**

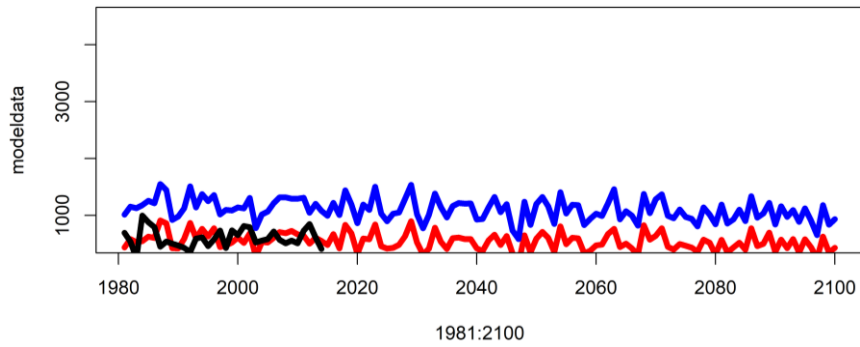




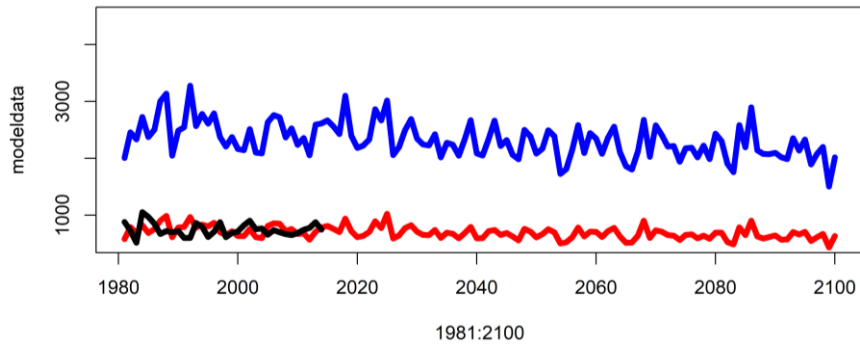
**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Intercuenca.Ramis**



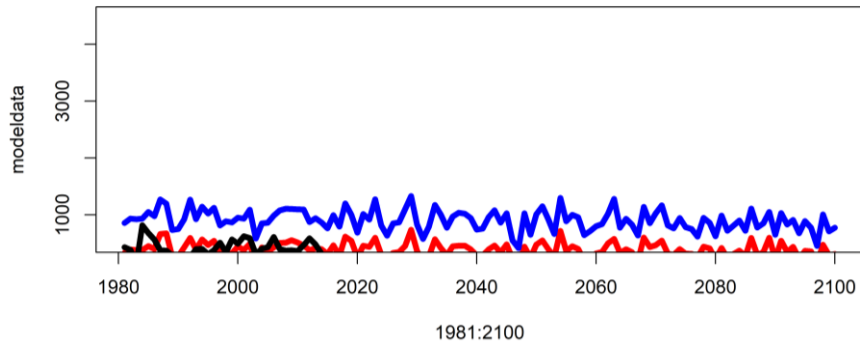
**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Cuenca.Ilave**



**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Cuenca.Azángaro**



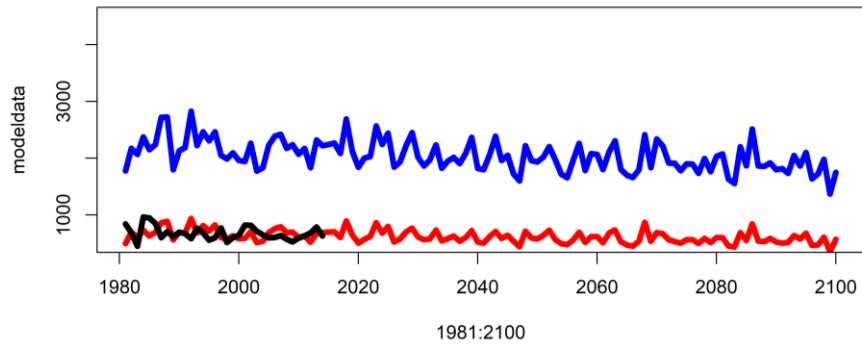
**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Cuenca.Mauri.Chico**



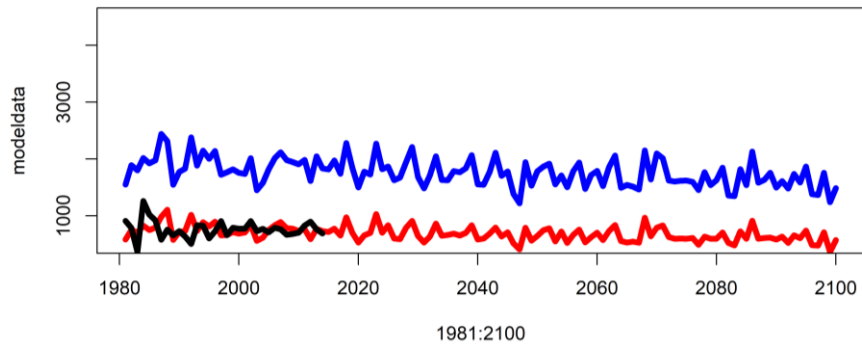




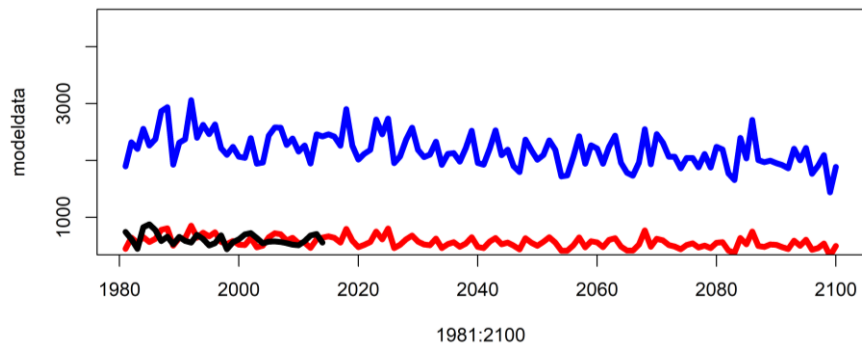
**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Cuenca.Huancané**



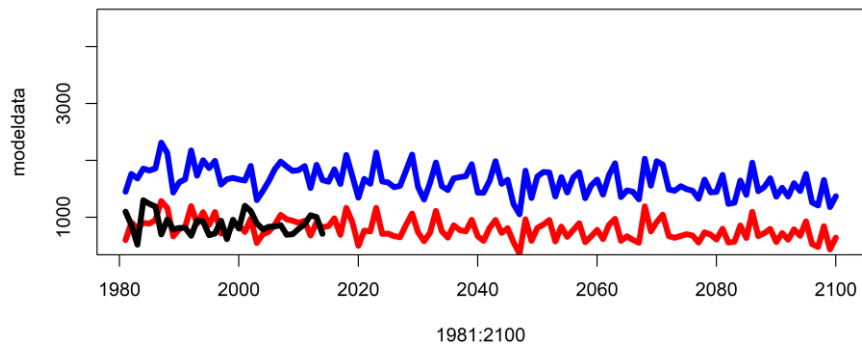
**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Cuenca.Pucará**



**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Cuenca.Suches**

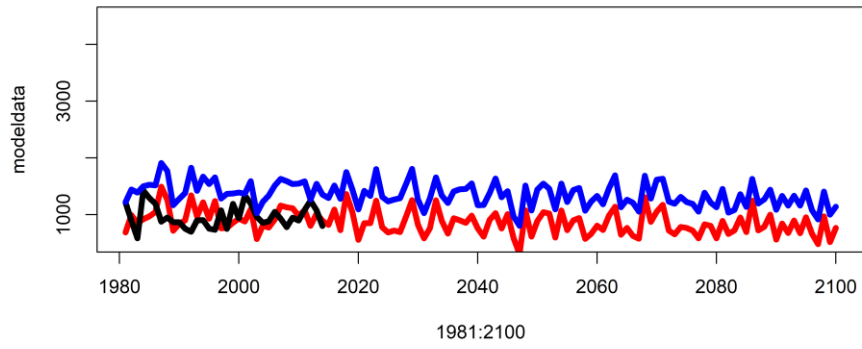


**OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Lago.Titicaca**

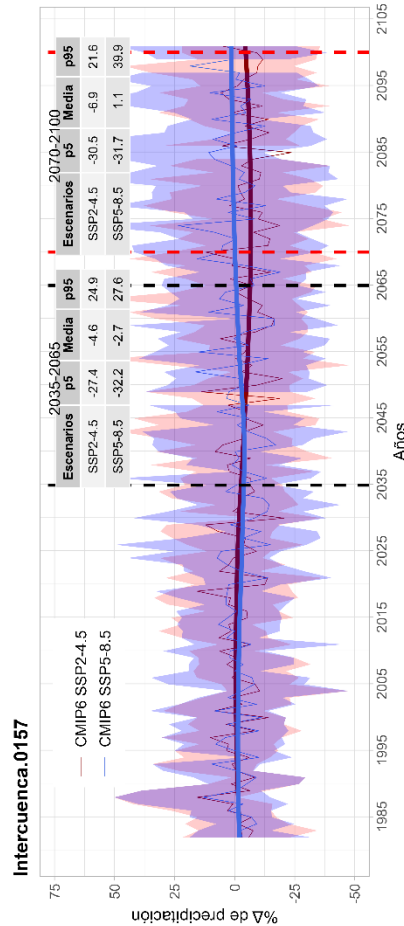
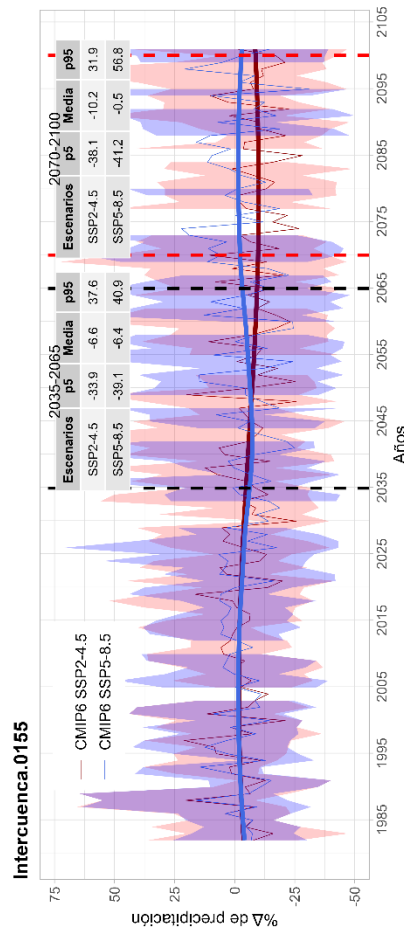
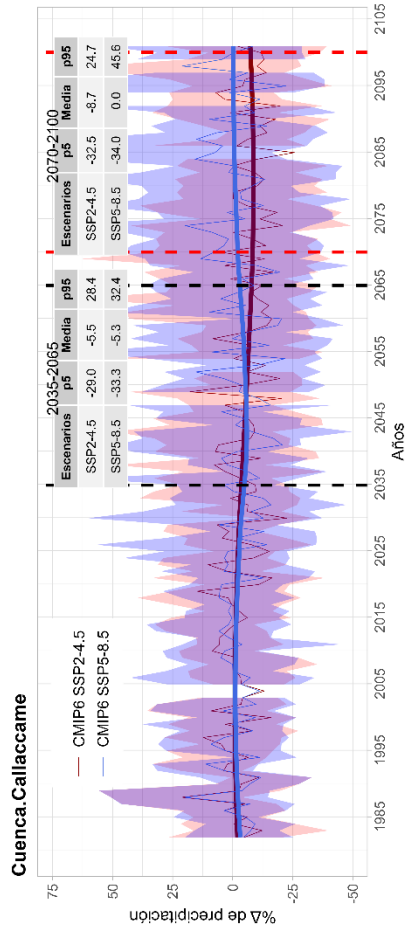
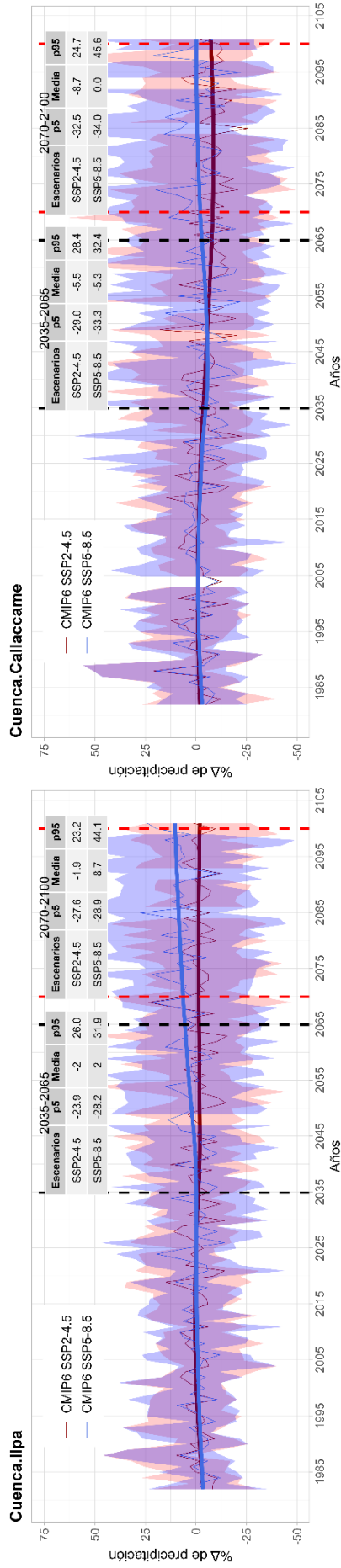


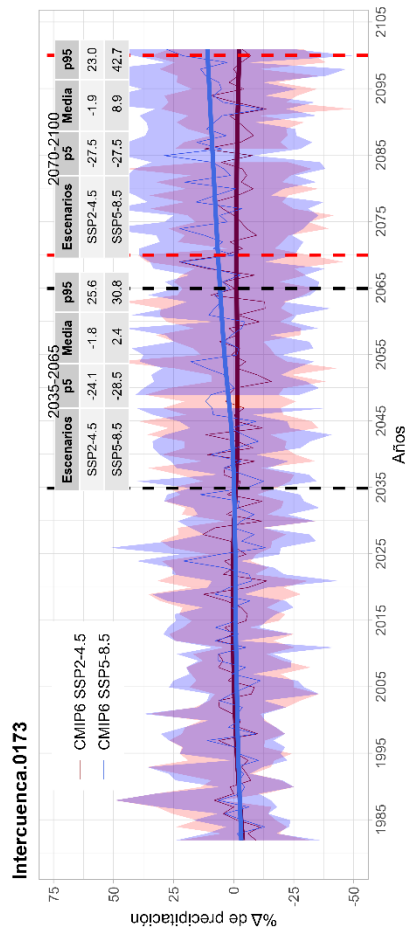
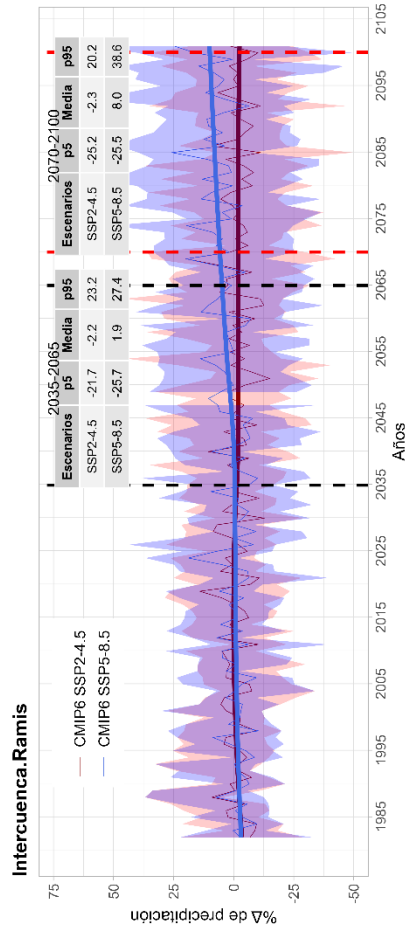
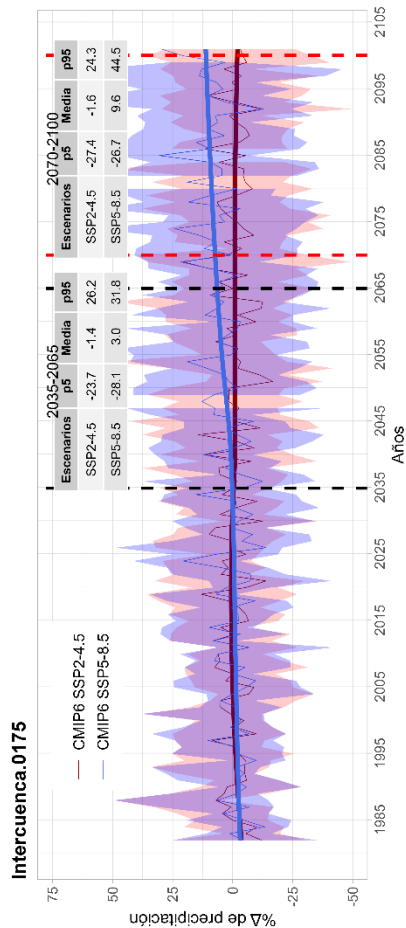
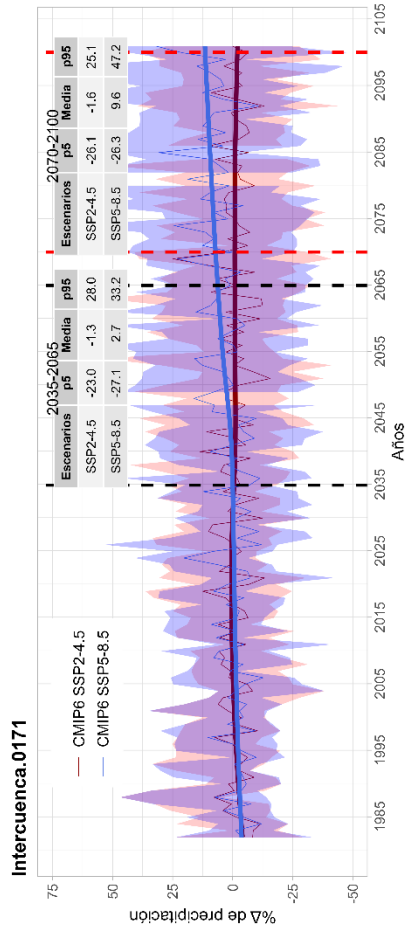


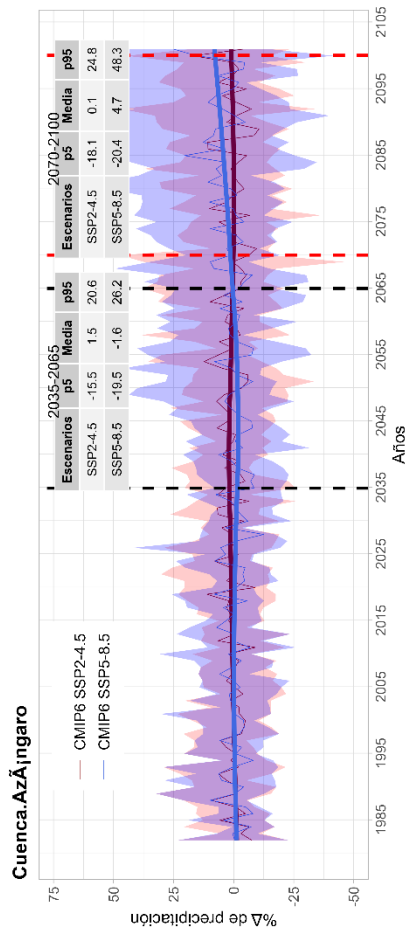
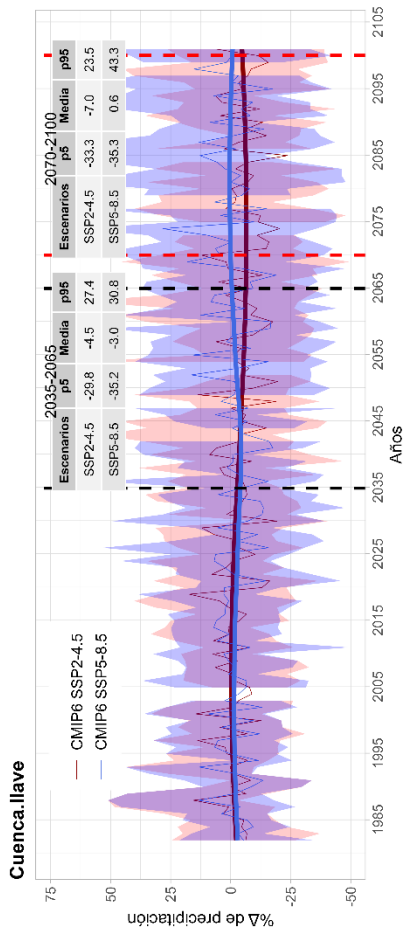
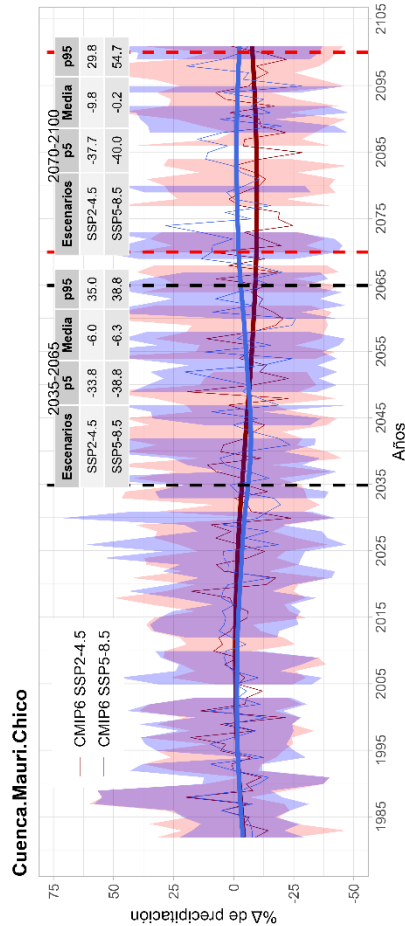
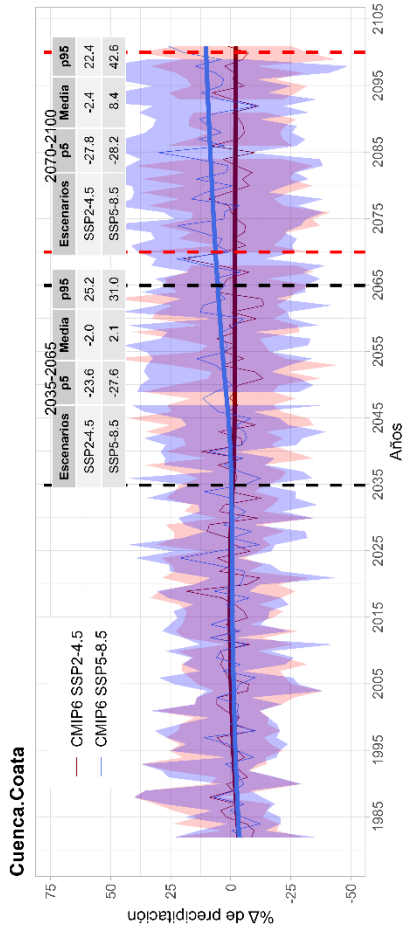
OBS vs GCM(NorESM2-LM) - Lago.Titicaca2

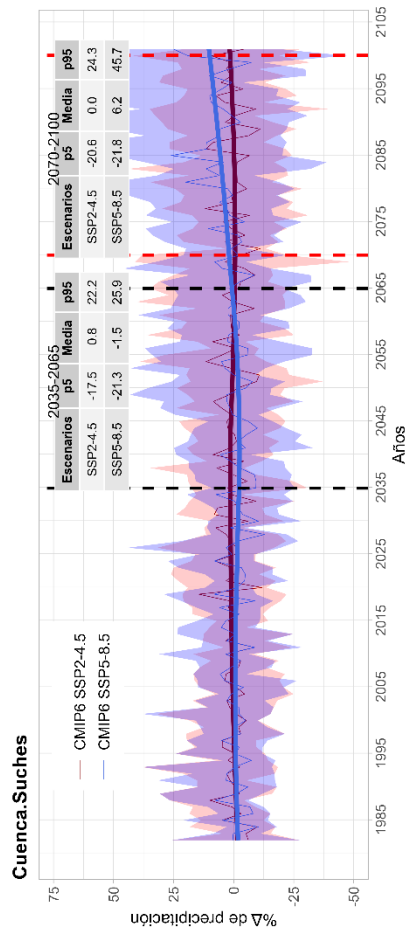
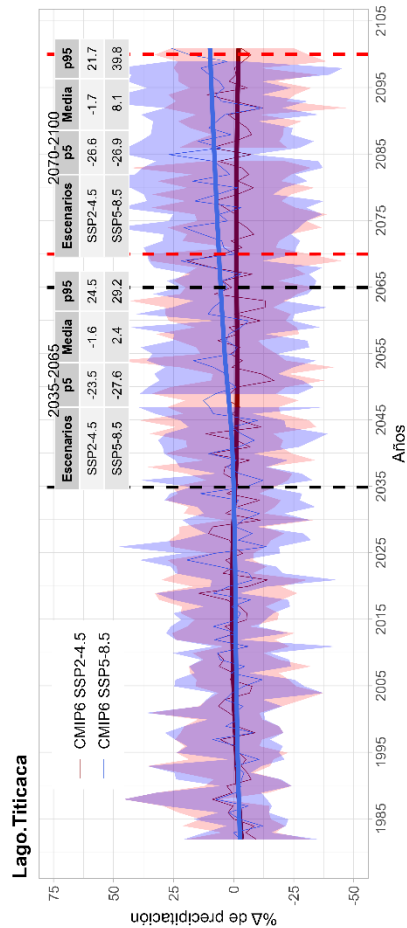
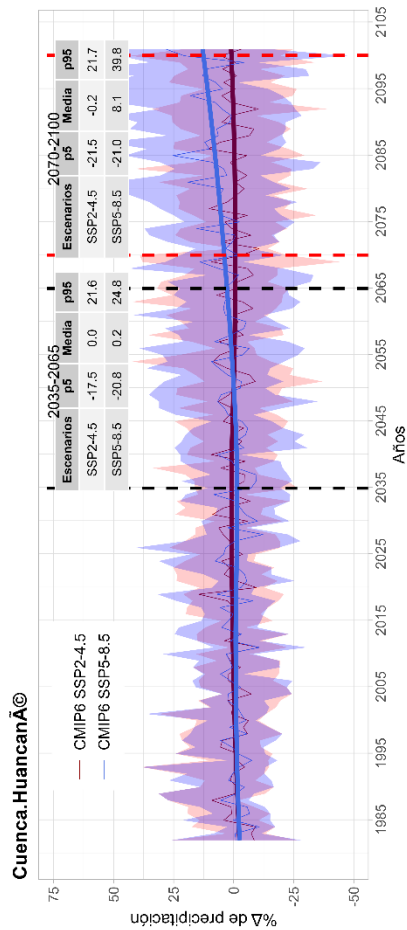
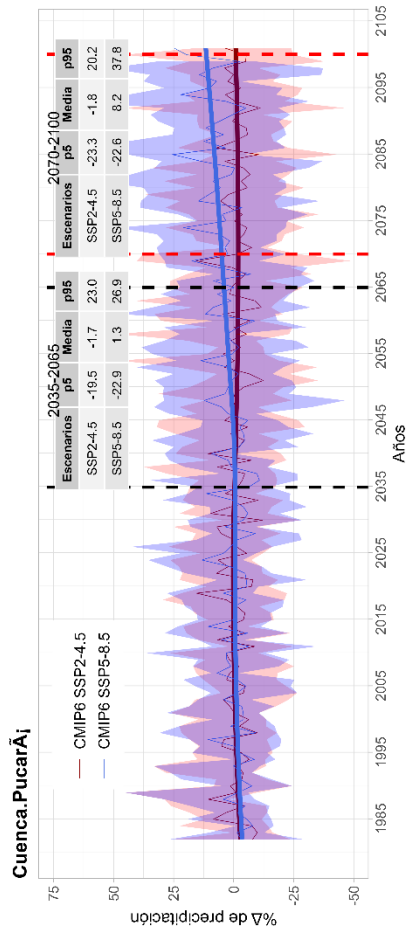


# ANEXO K: PROYECCIONES DE PRECIPITACIÓN PARA UN FUTURO CERCANO Y LEJANO PARA AMBOS ESCENARIOS EN LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA



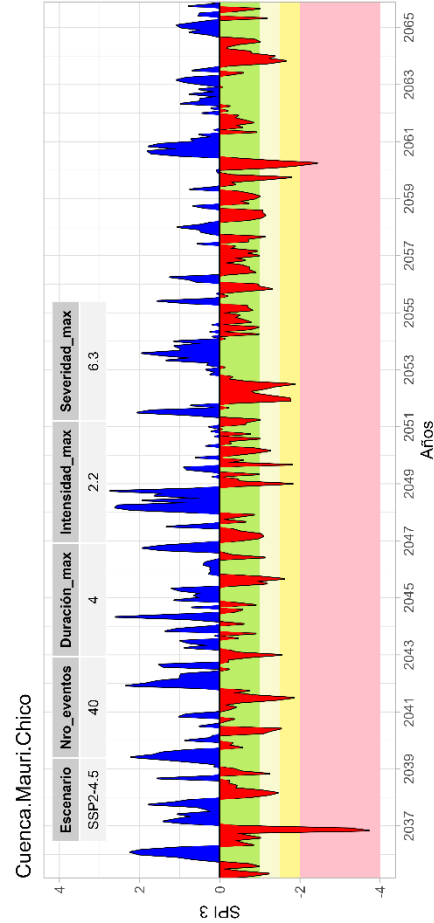
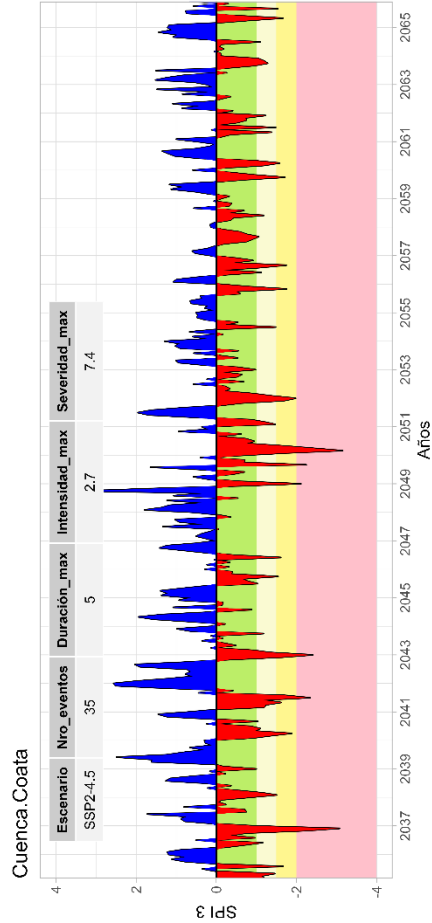
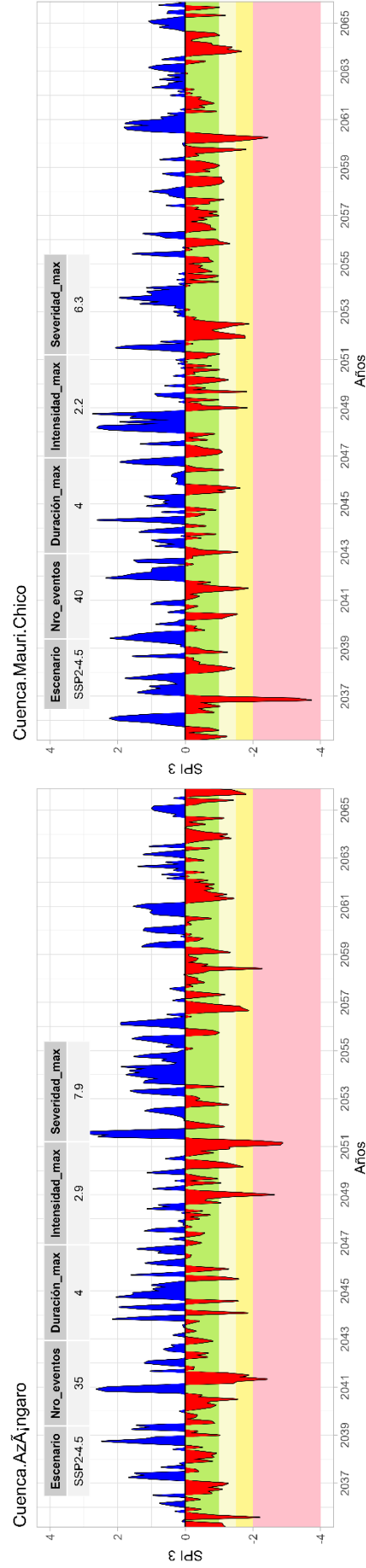
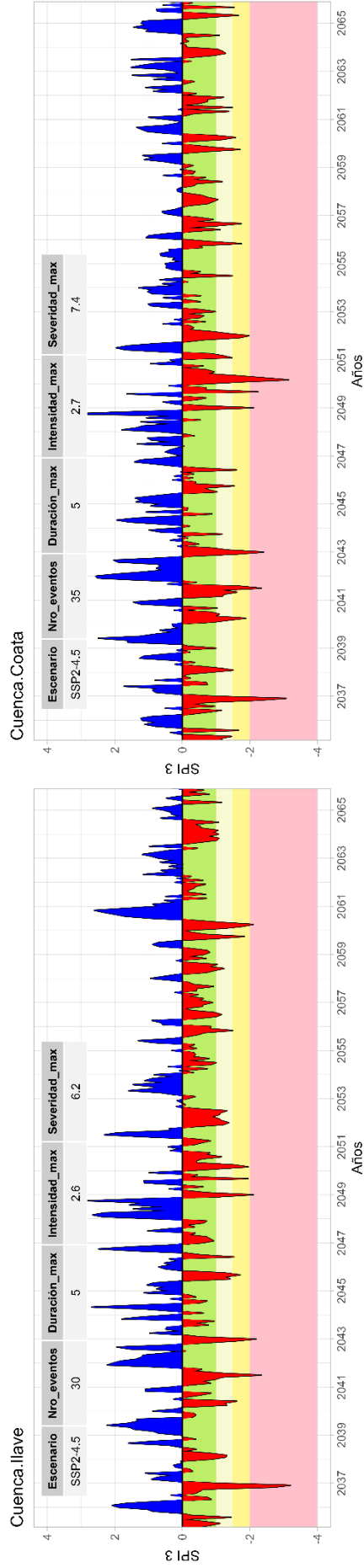




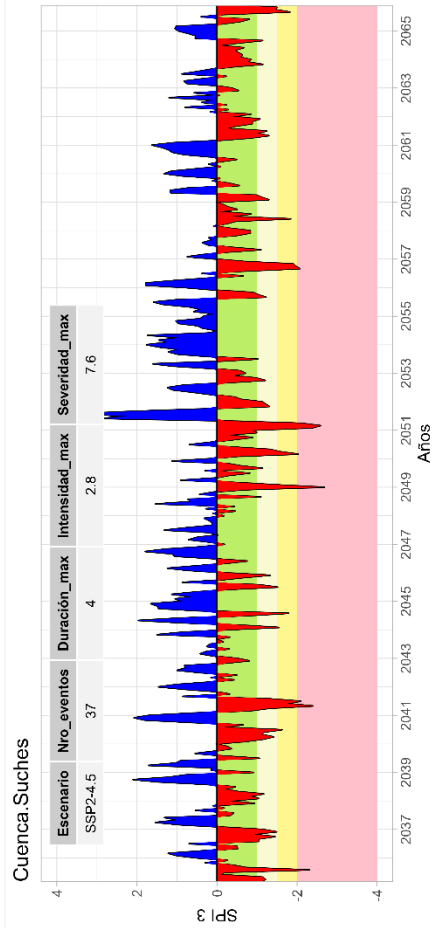
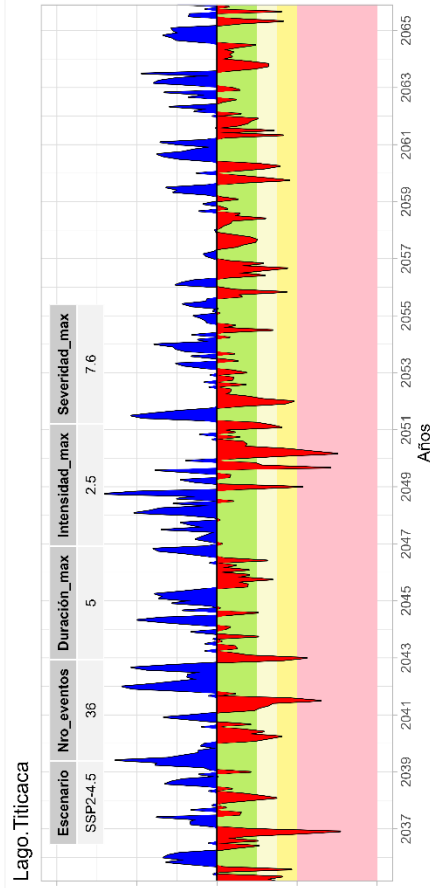
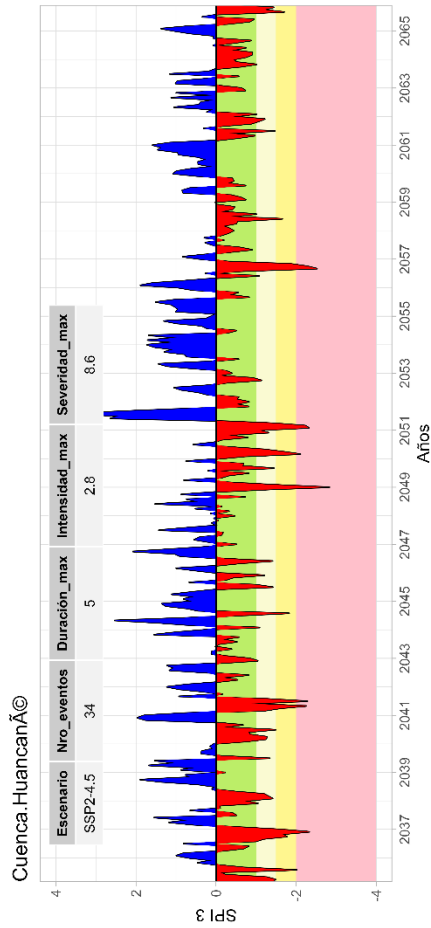
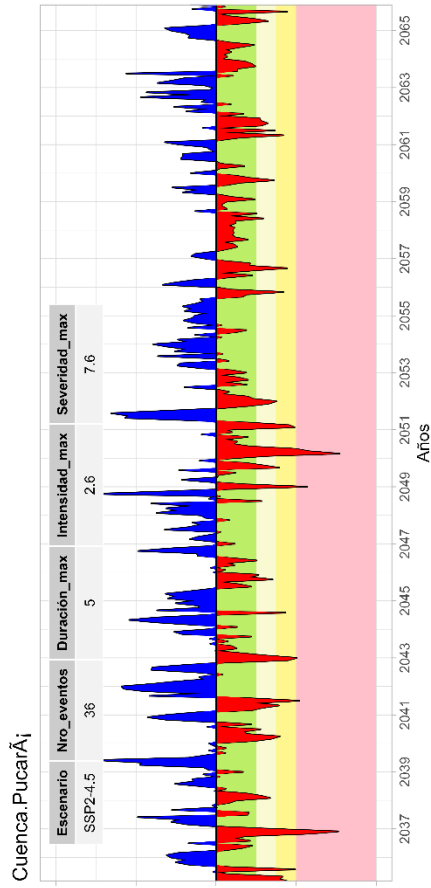


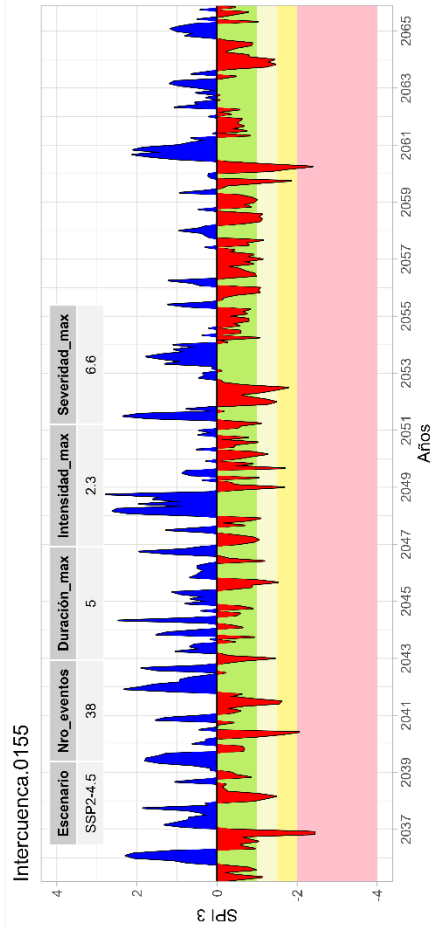
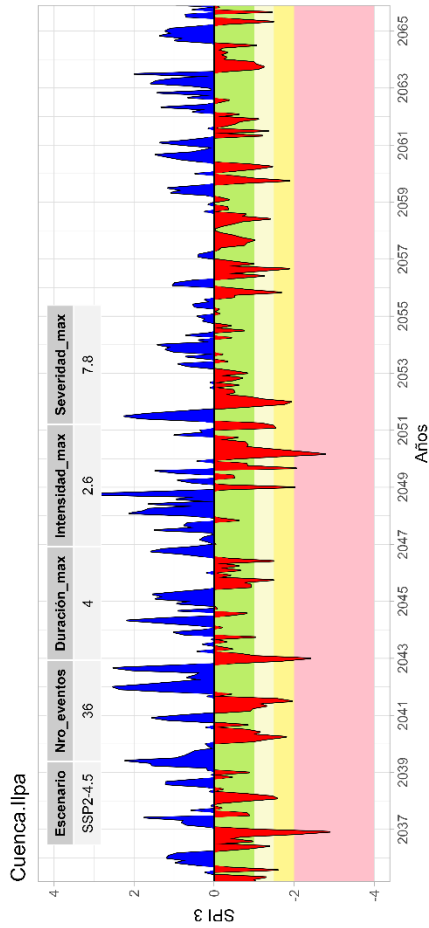
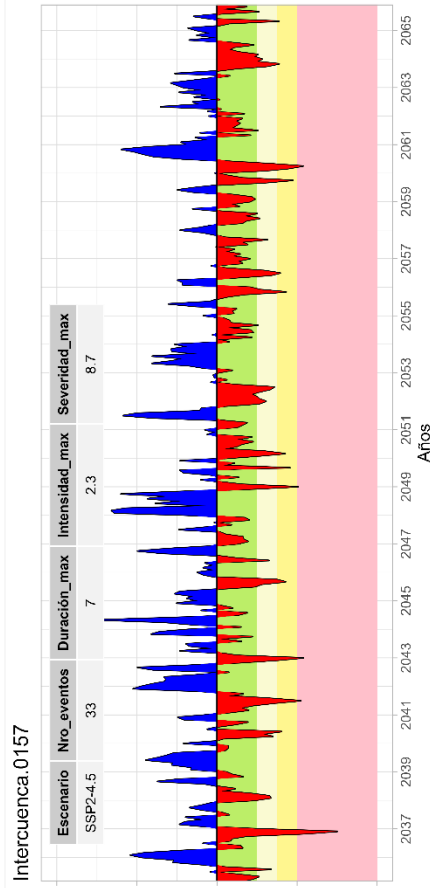
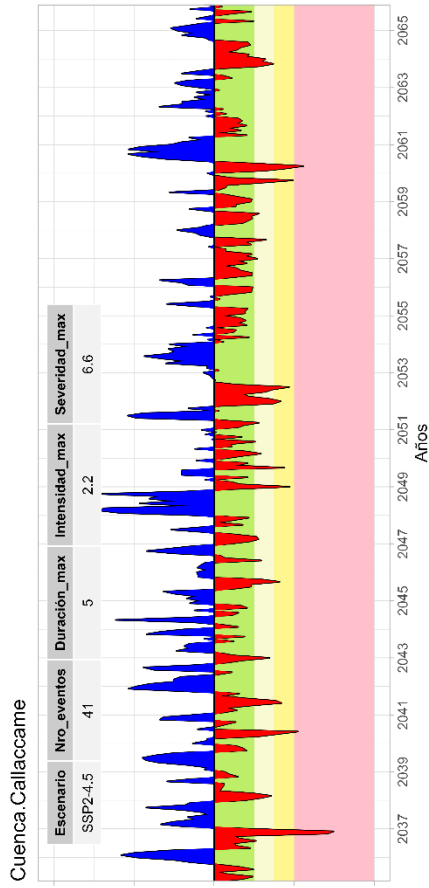


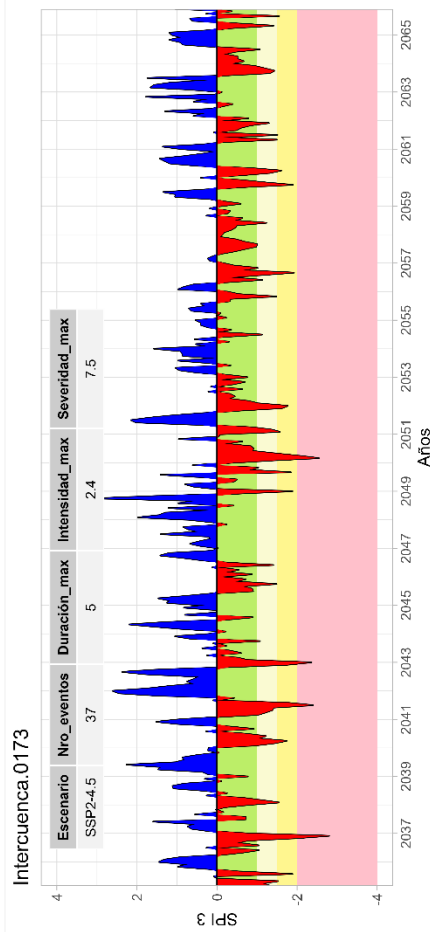
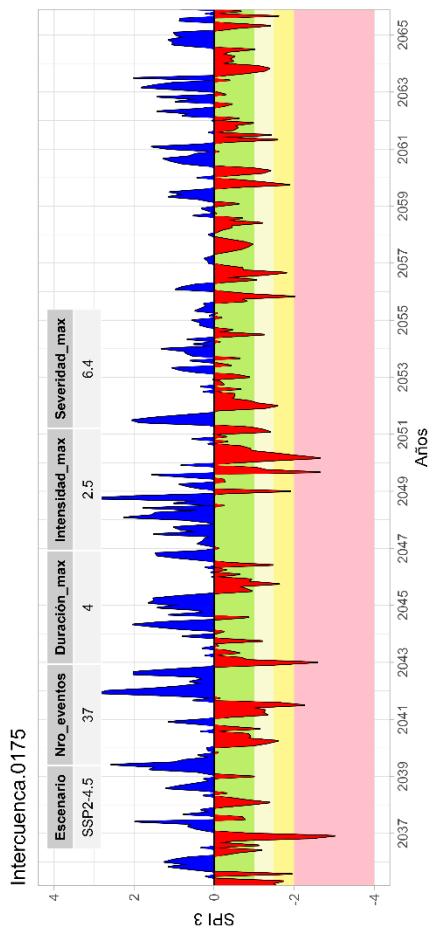
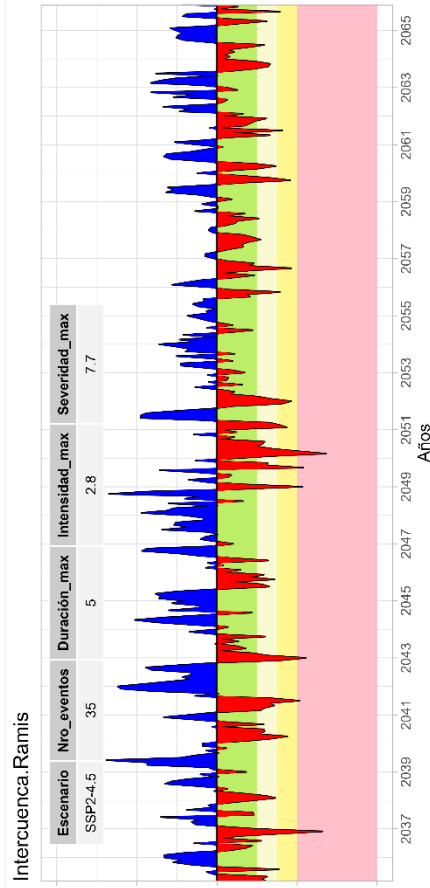
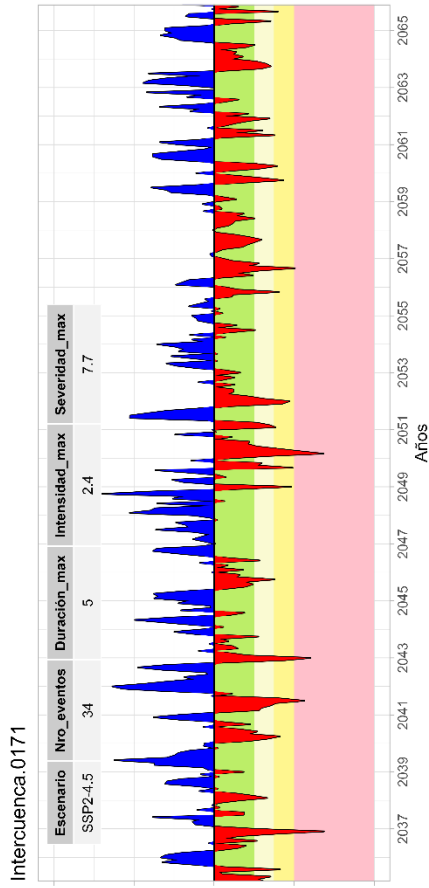
## ANEXO L: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI3 PARA EL PERIODO DE 2035 – 2065 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP2-4.5 PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA

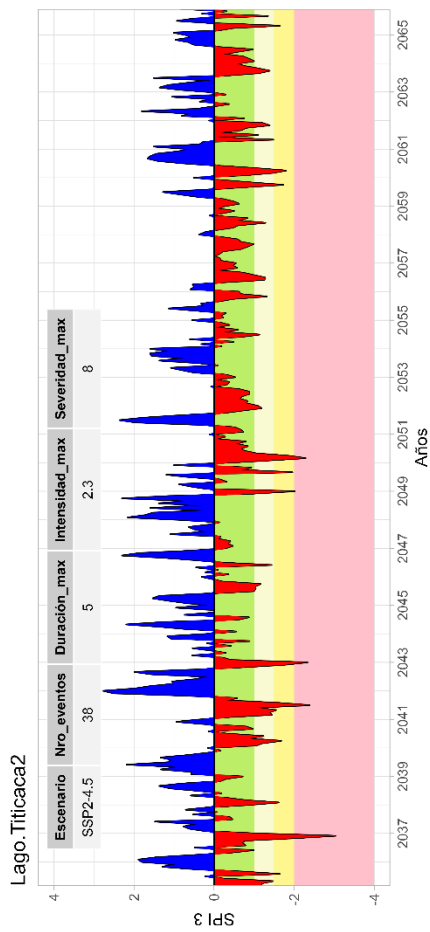




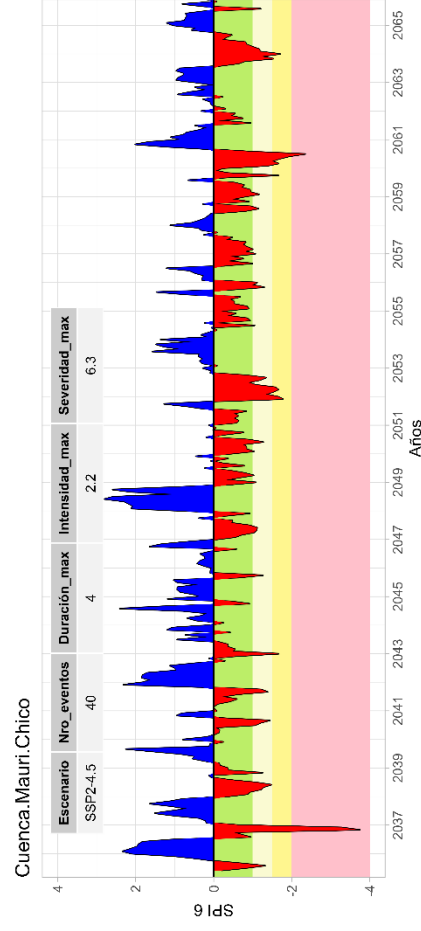
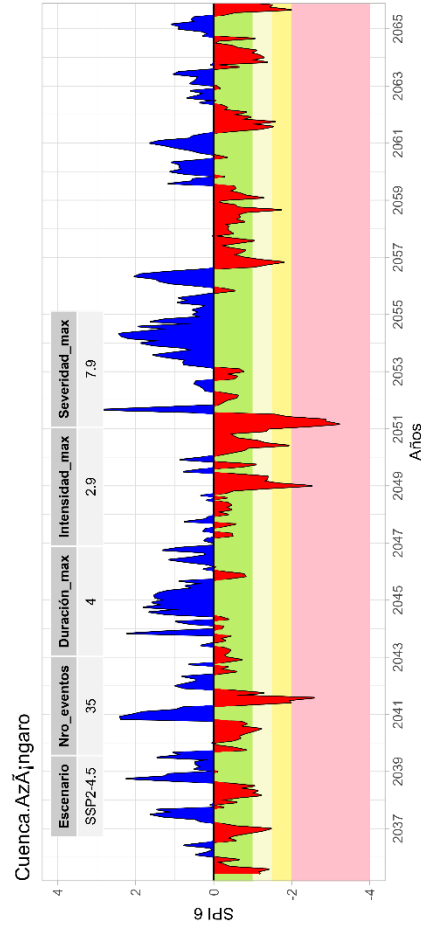
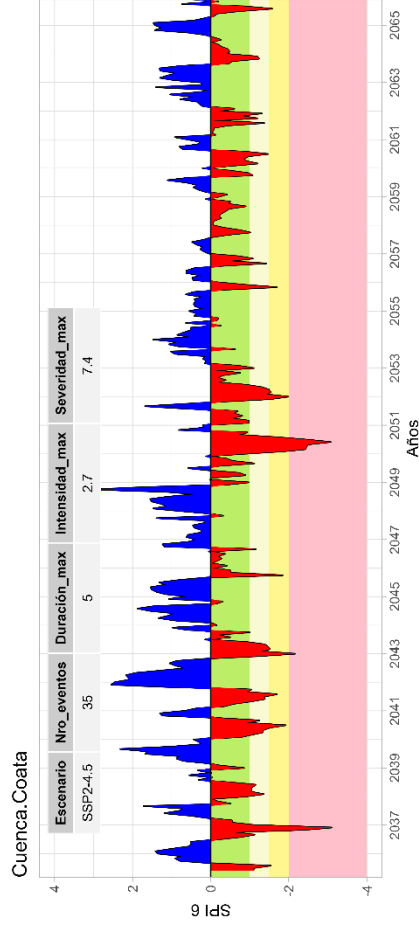
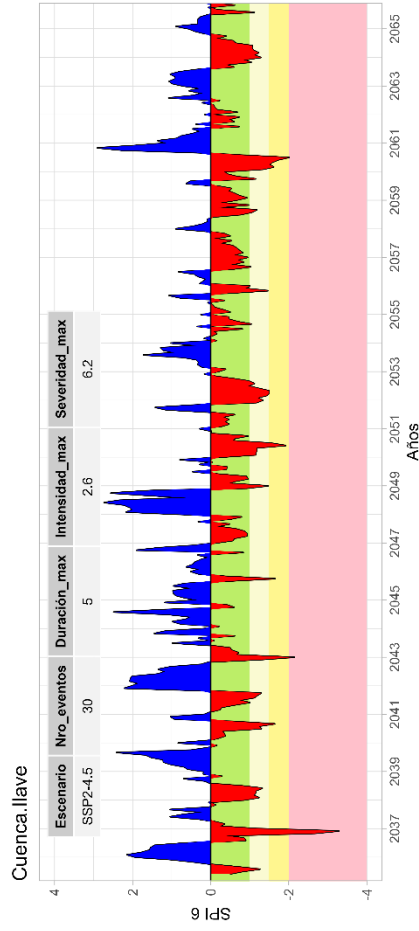


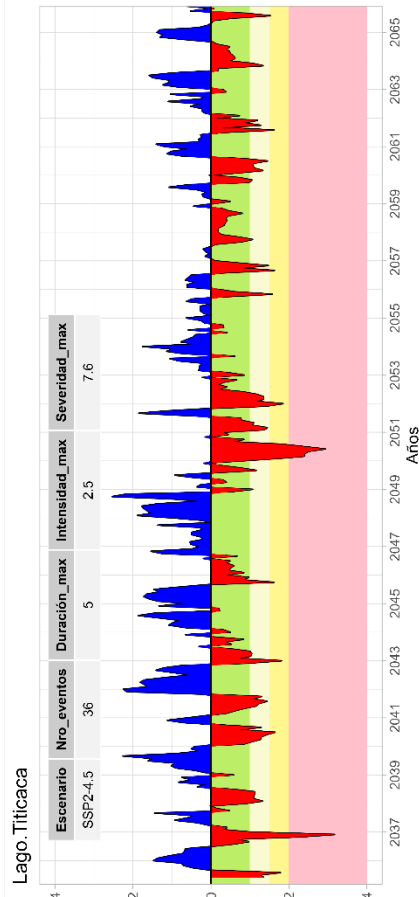
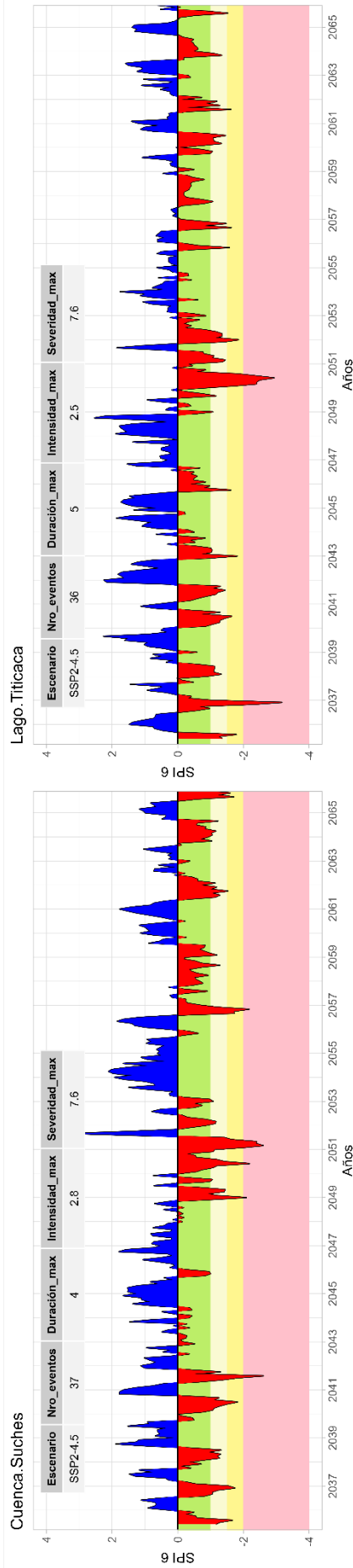
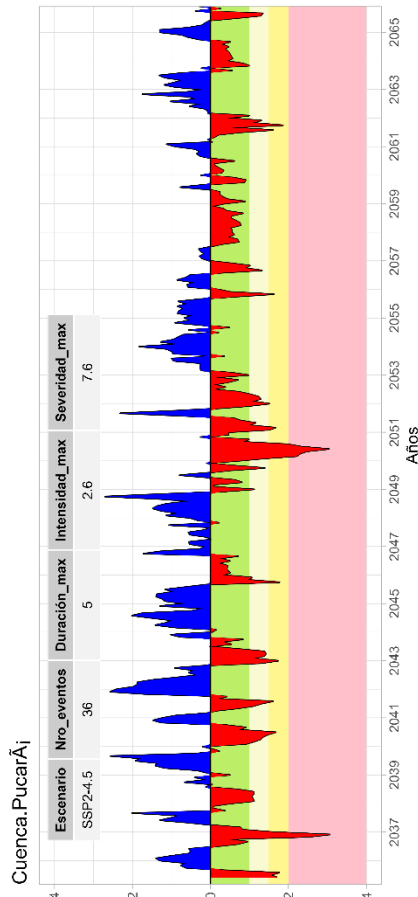
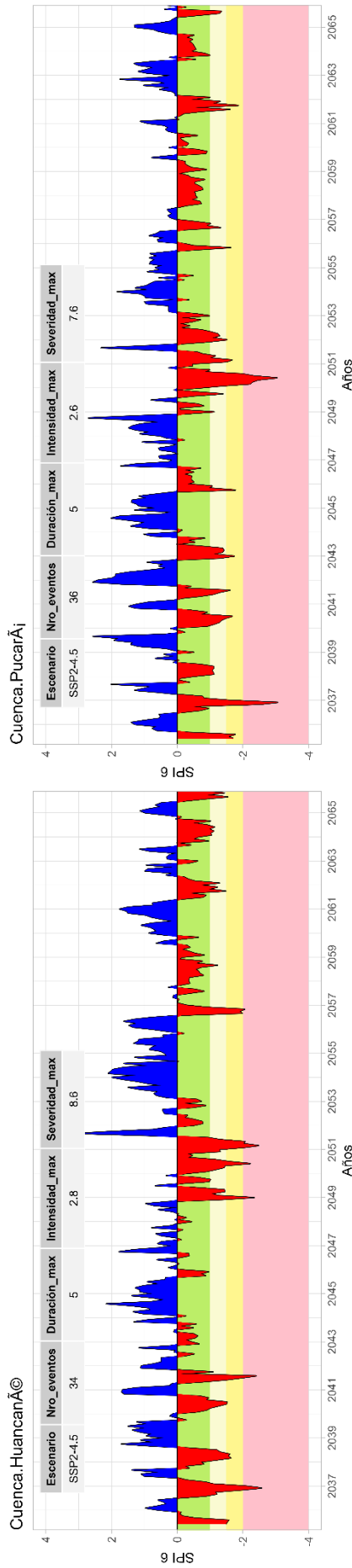


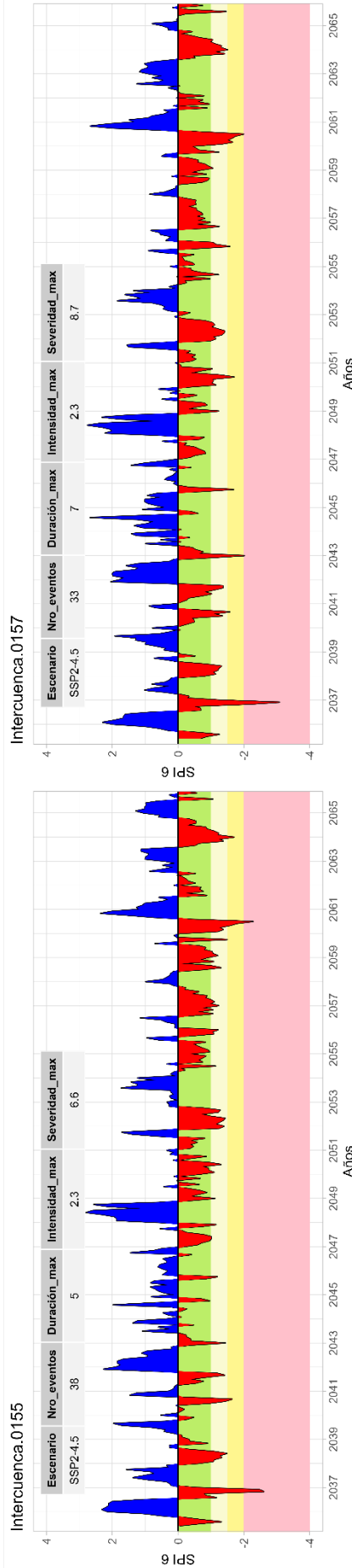
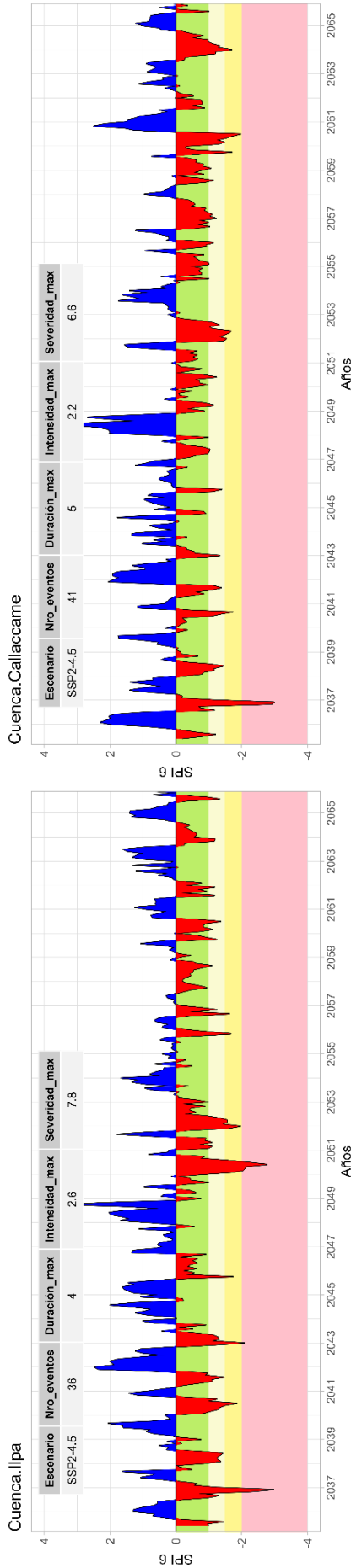


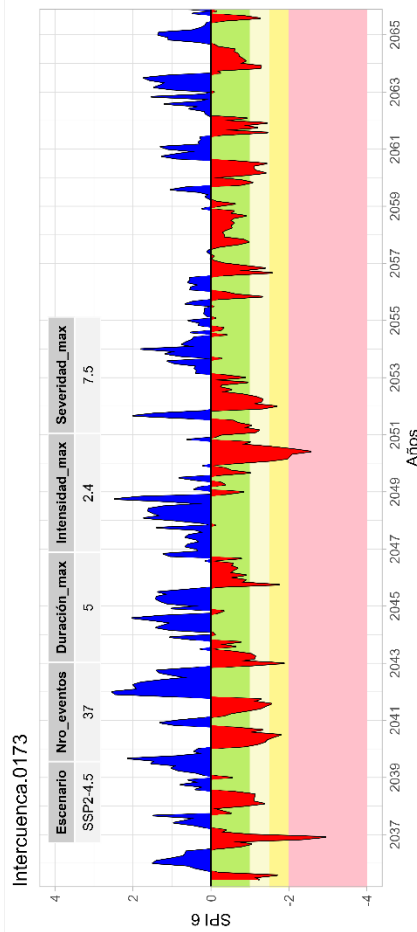
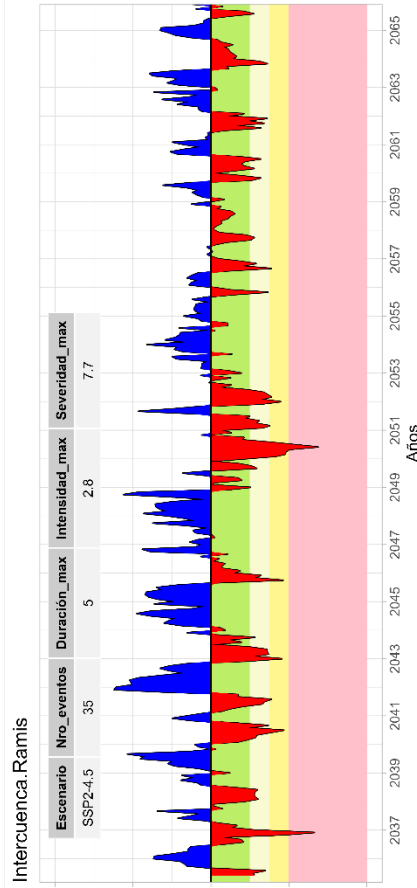
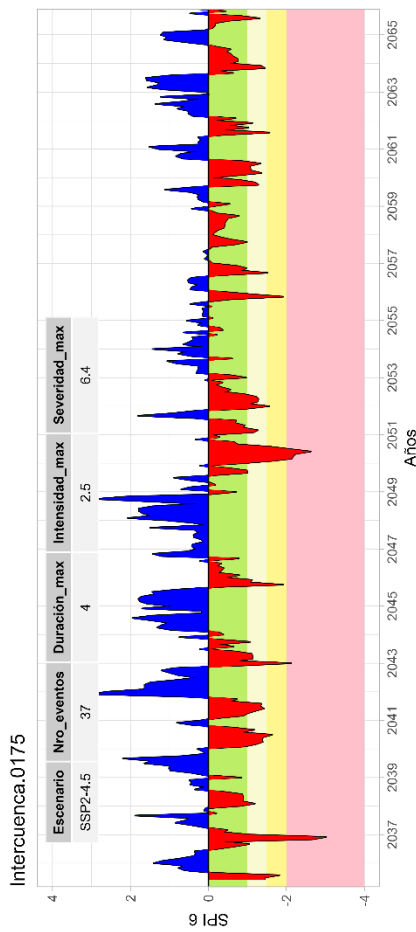
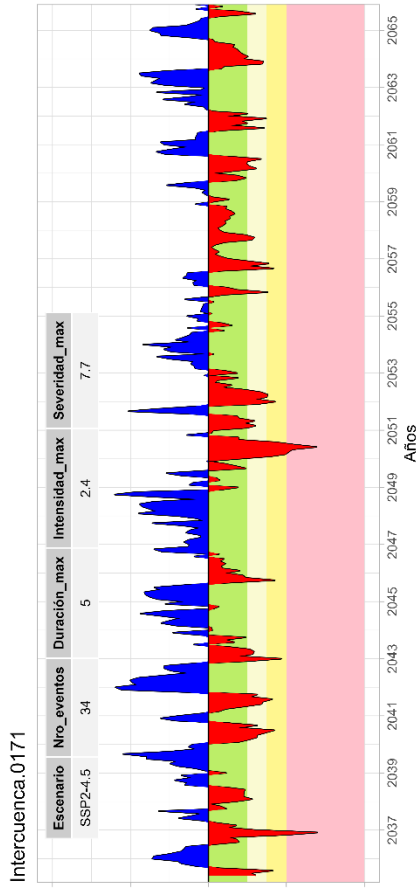


**ANEXO M: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 6 PARA EL PERIODO DE 2035 – 2065 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP2-4.5  
PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA**

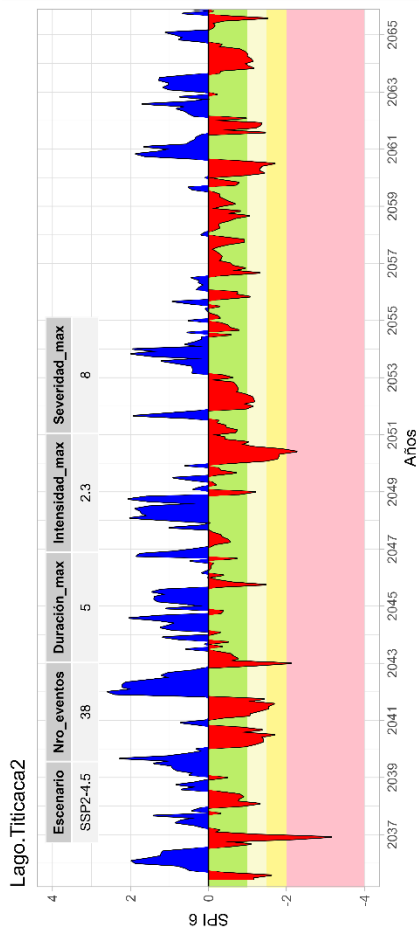




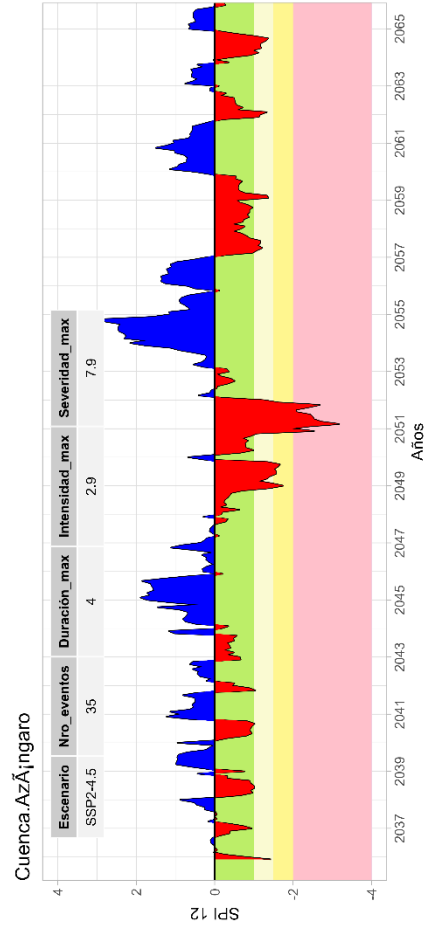
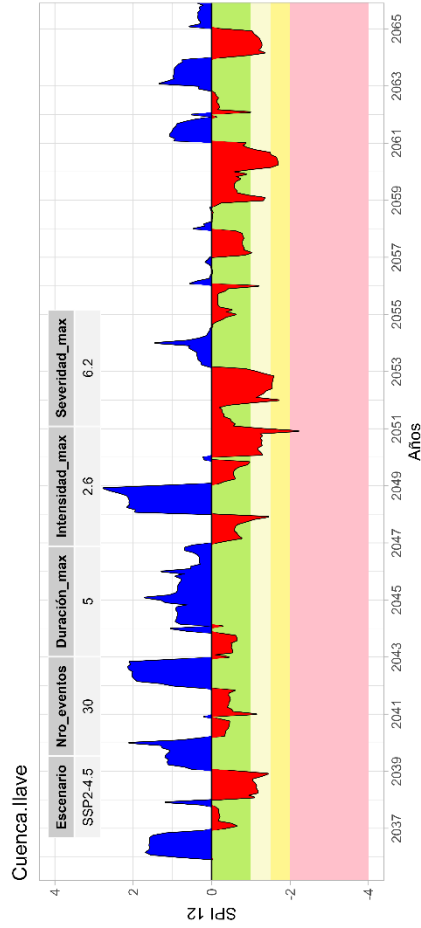
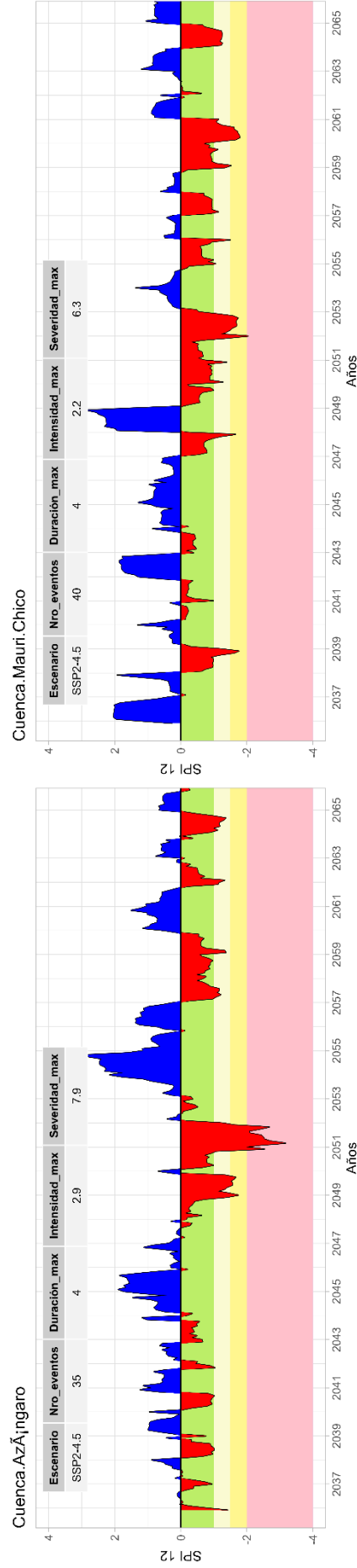
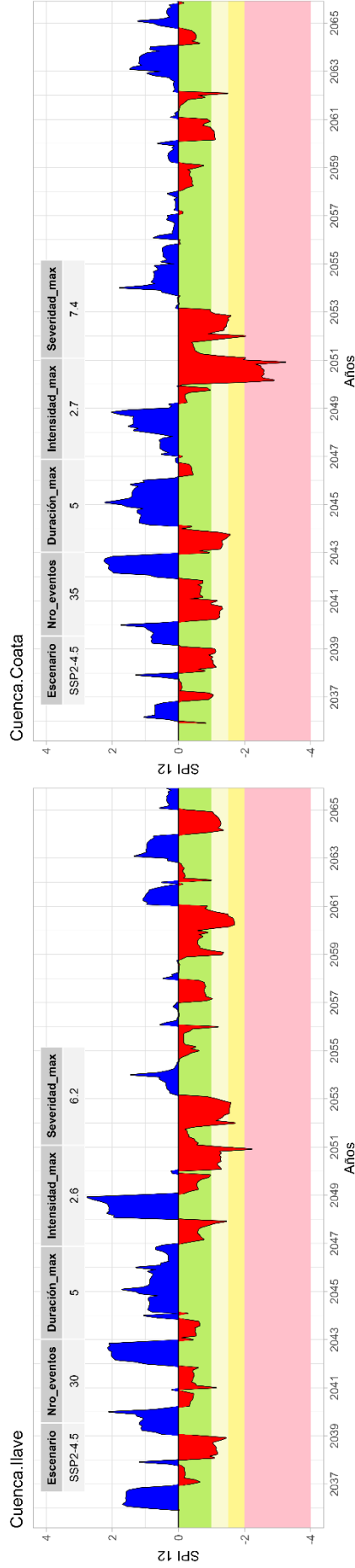


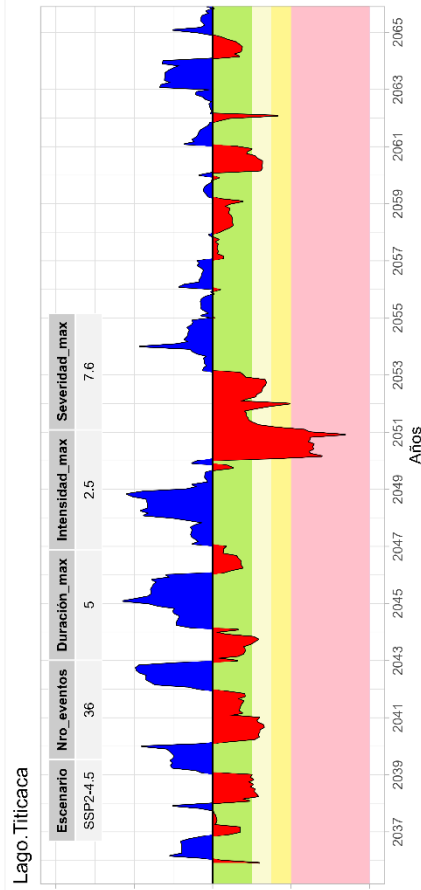
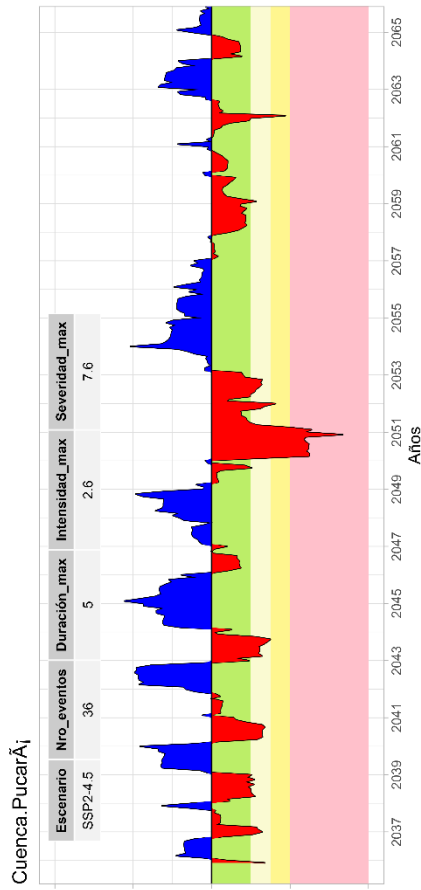
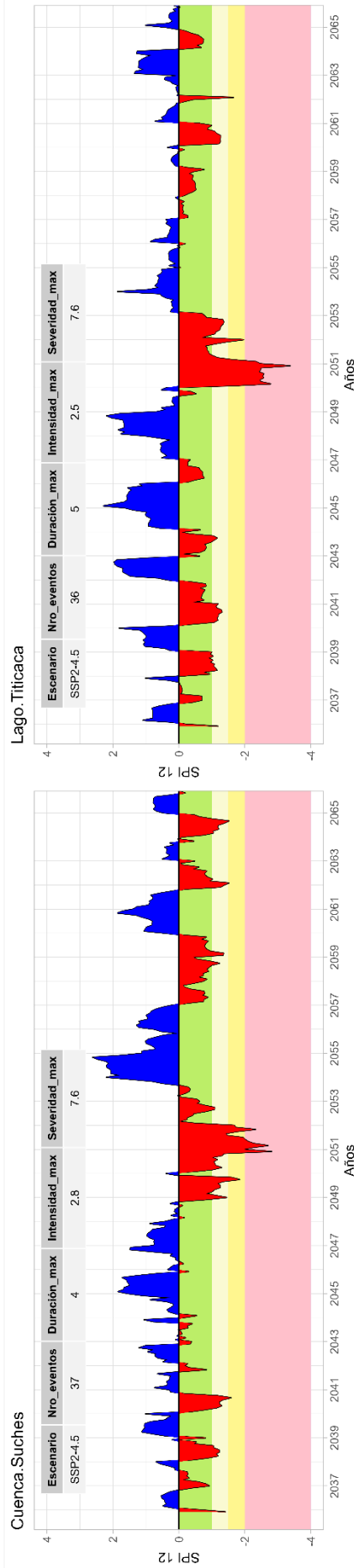
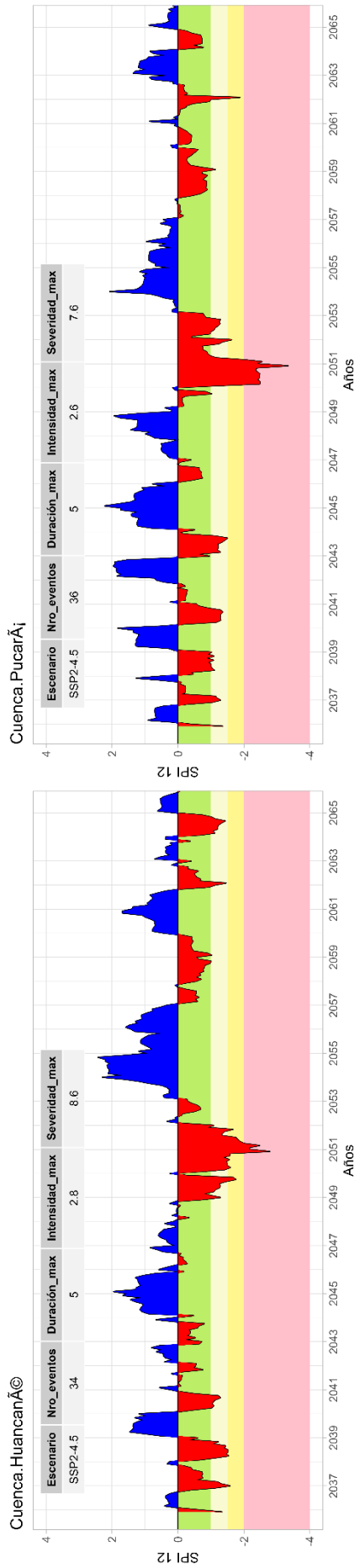


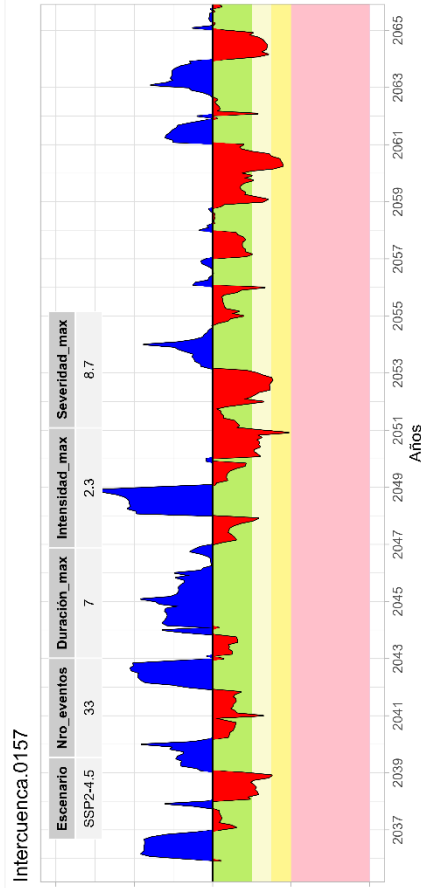
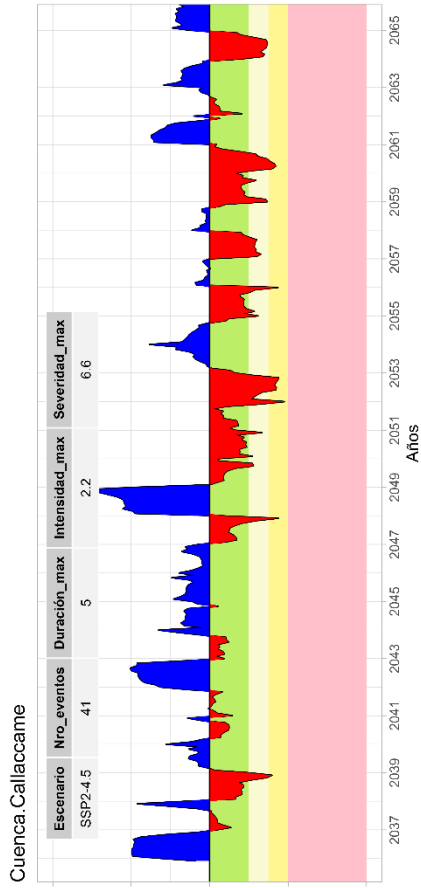
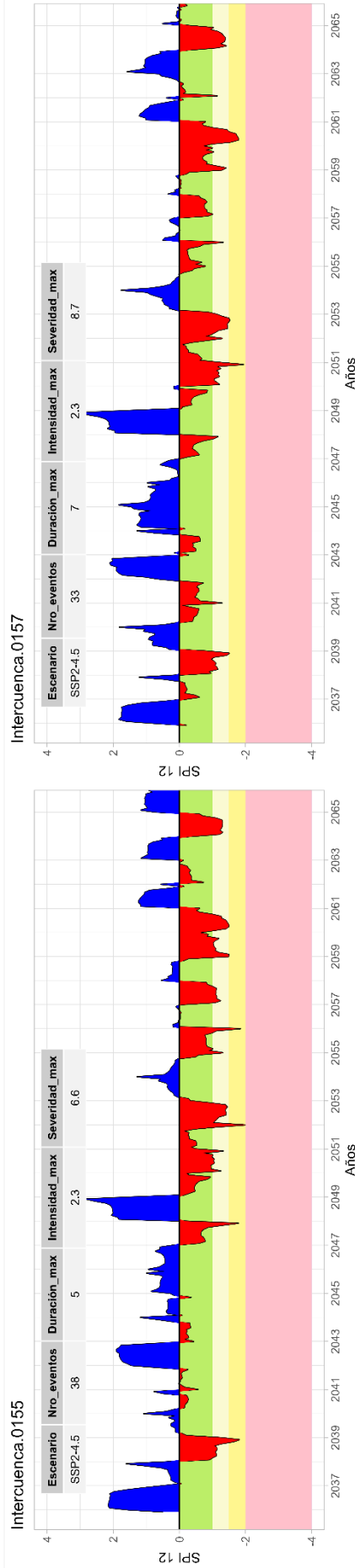
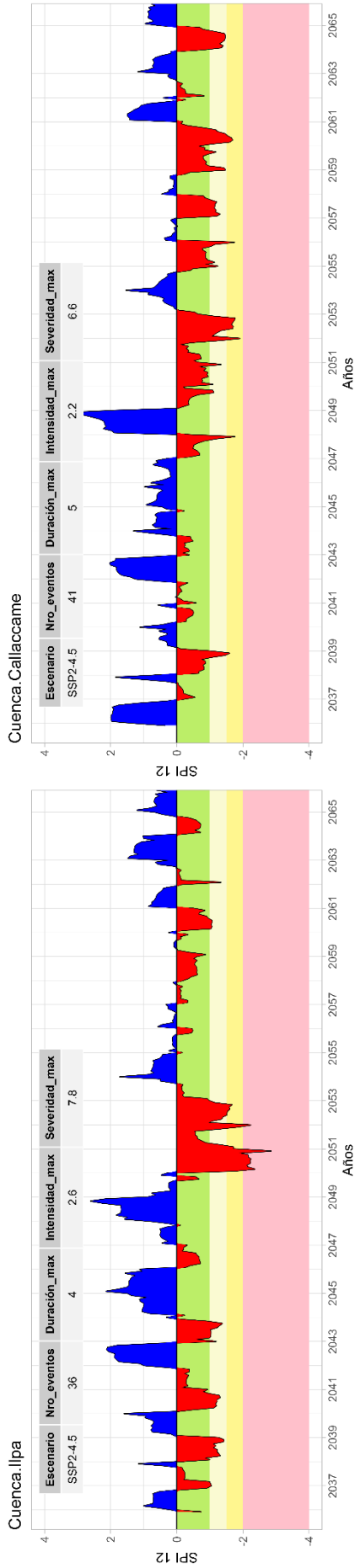


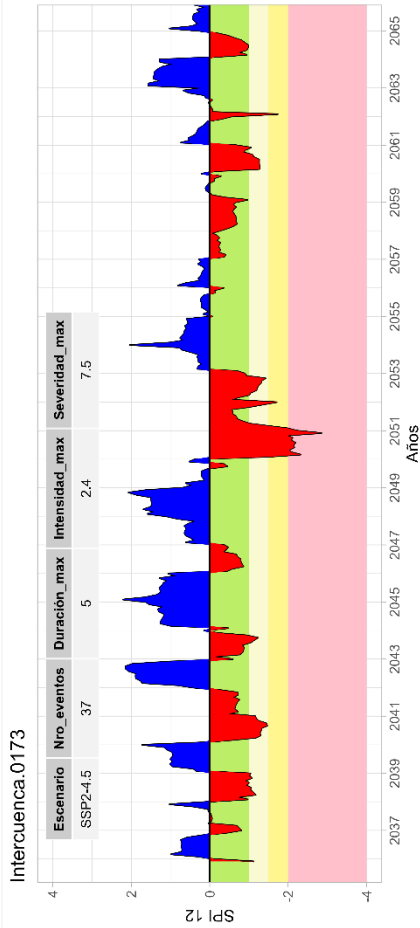
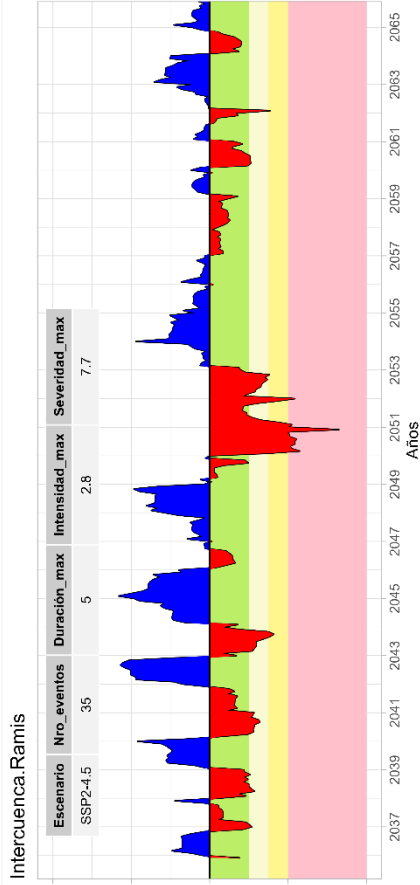
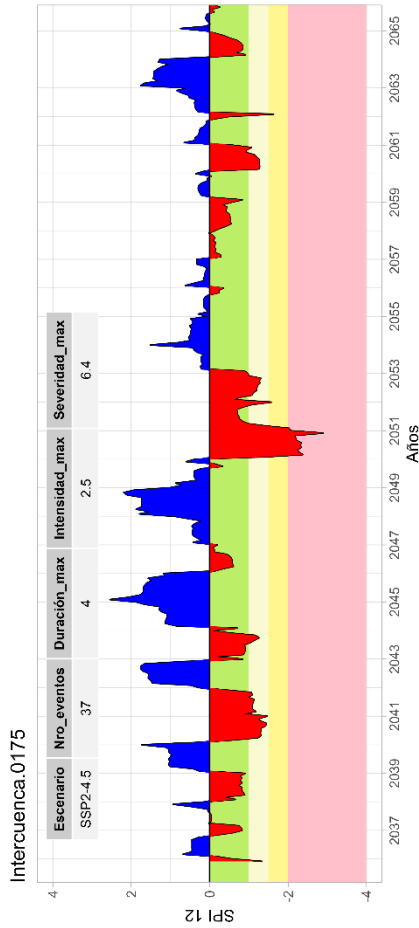
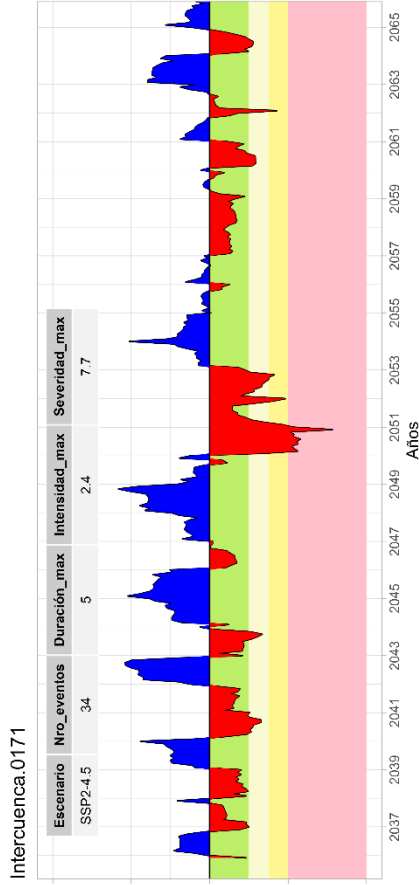


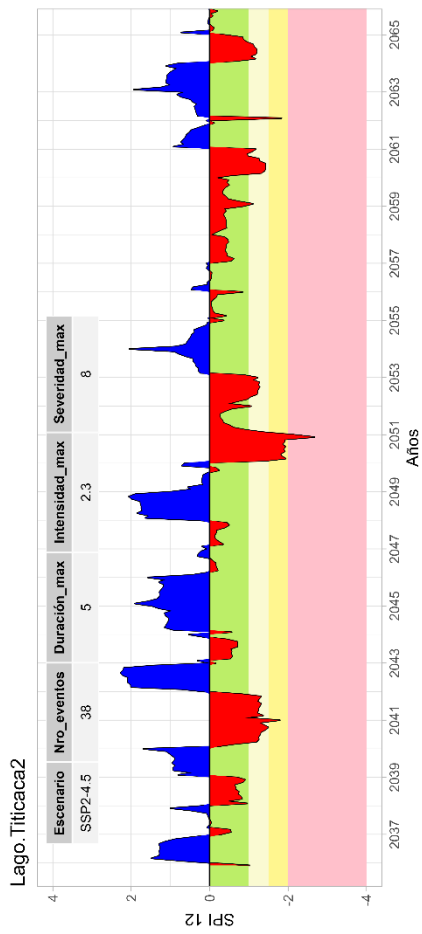
## ANEXO N: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 12 PARA EL PERIODO DE 2035 – 2065 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP2-4.5 PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA



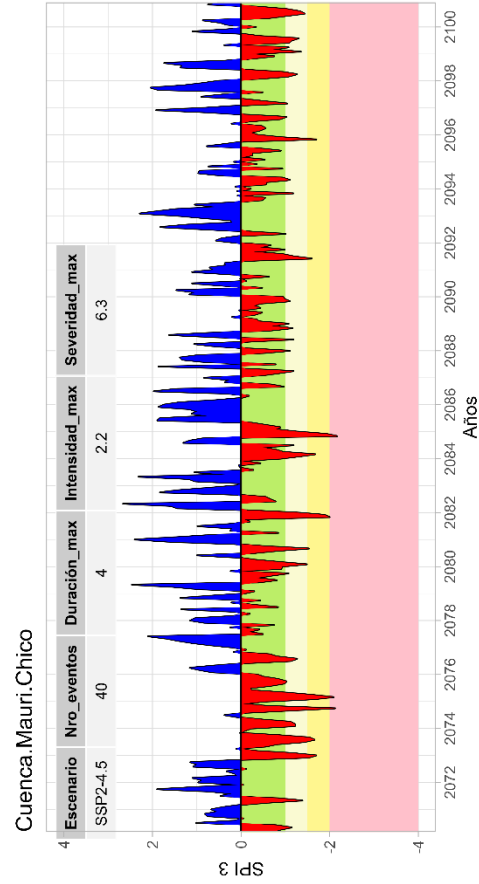
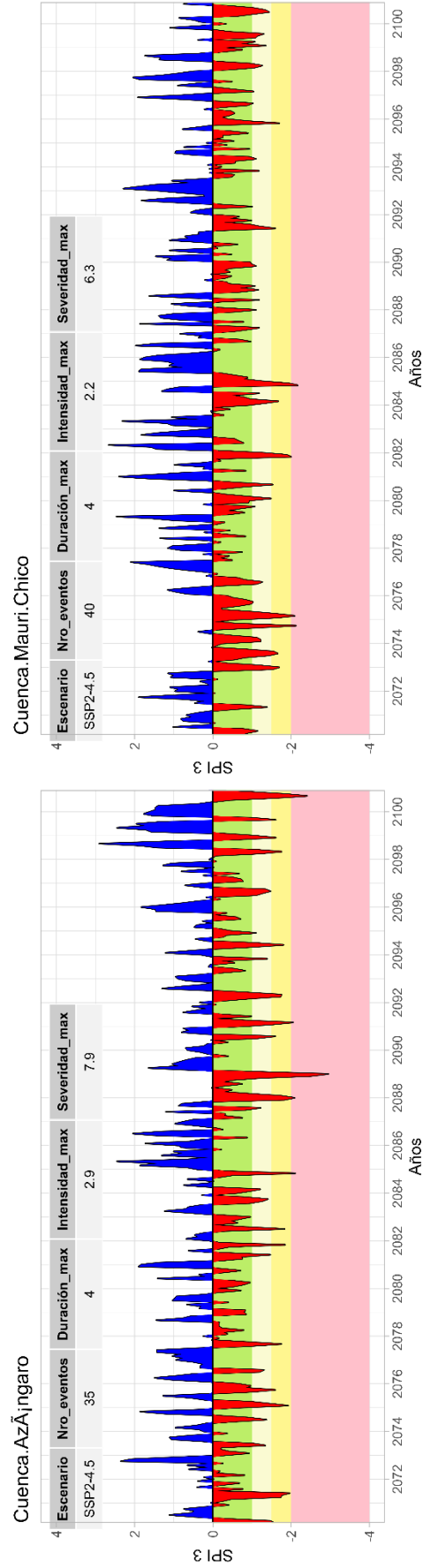
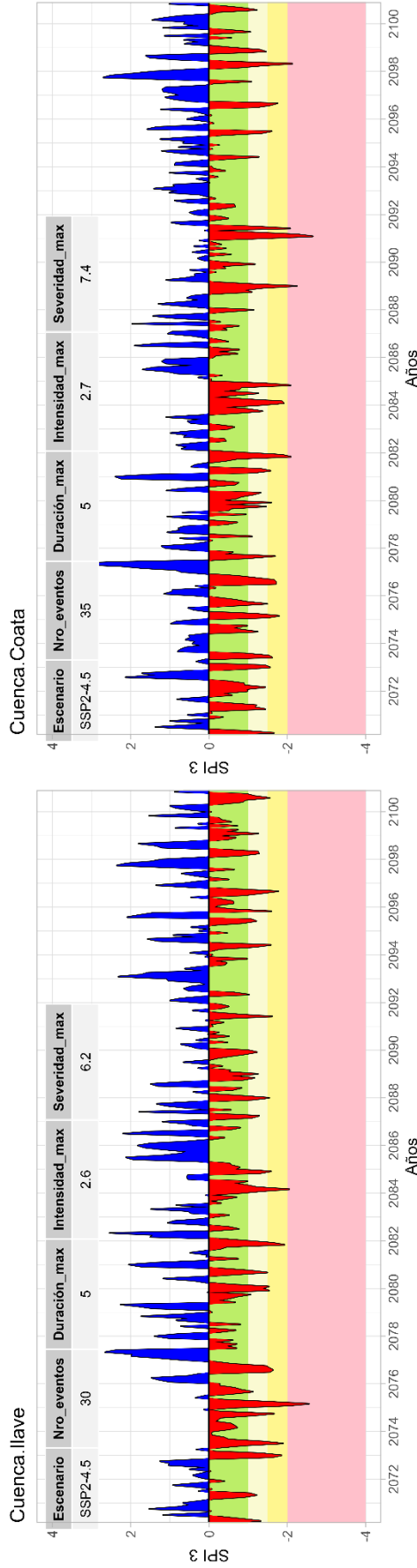


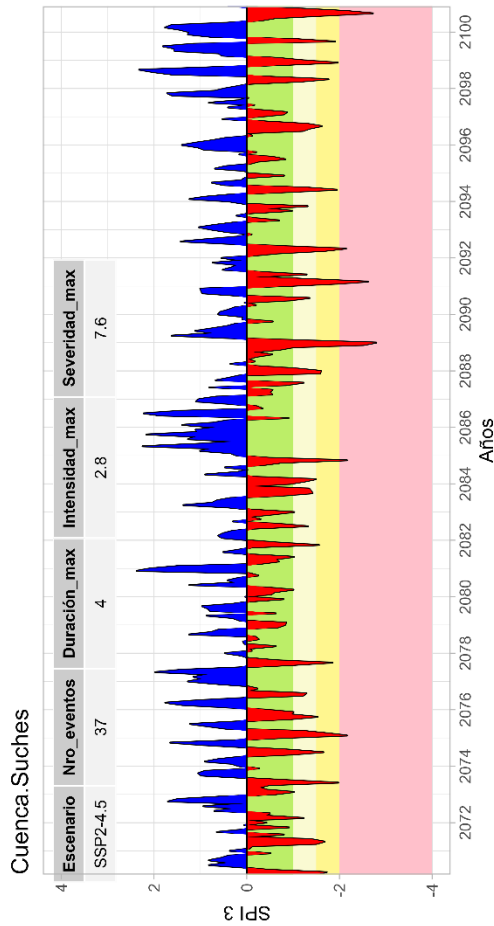
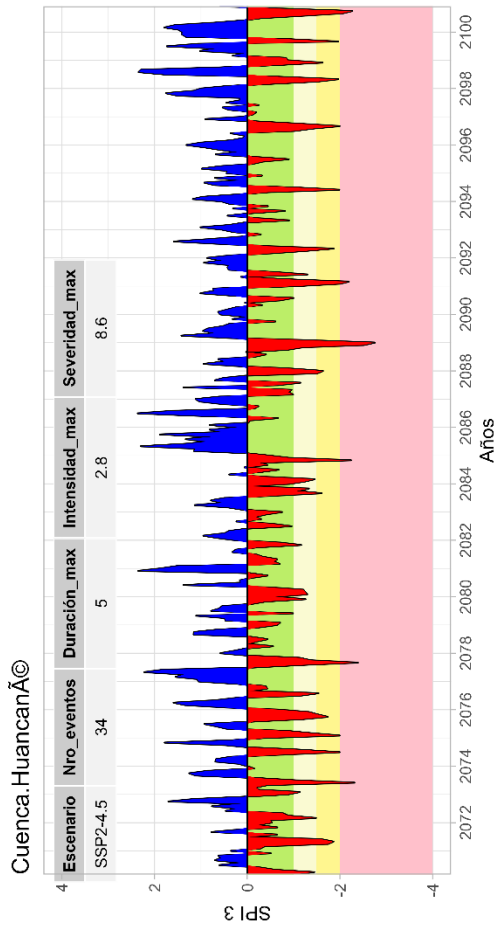
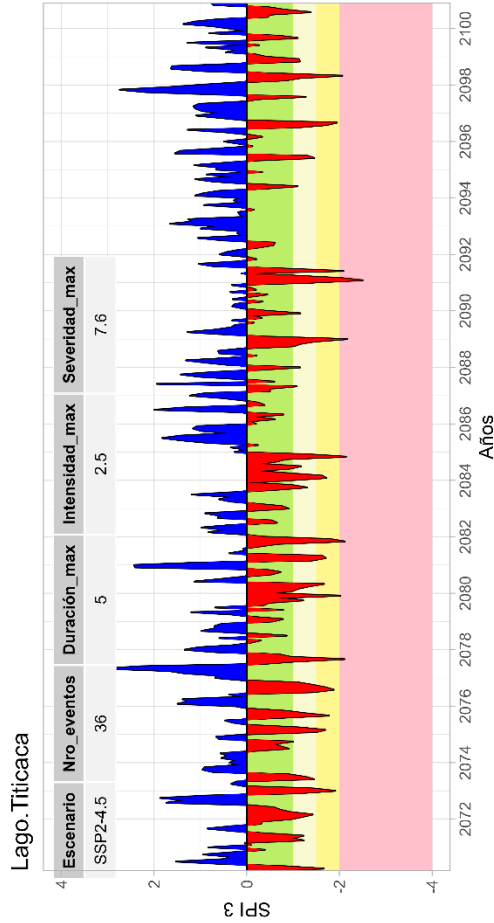
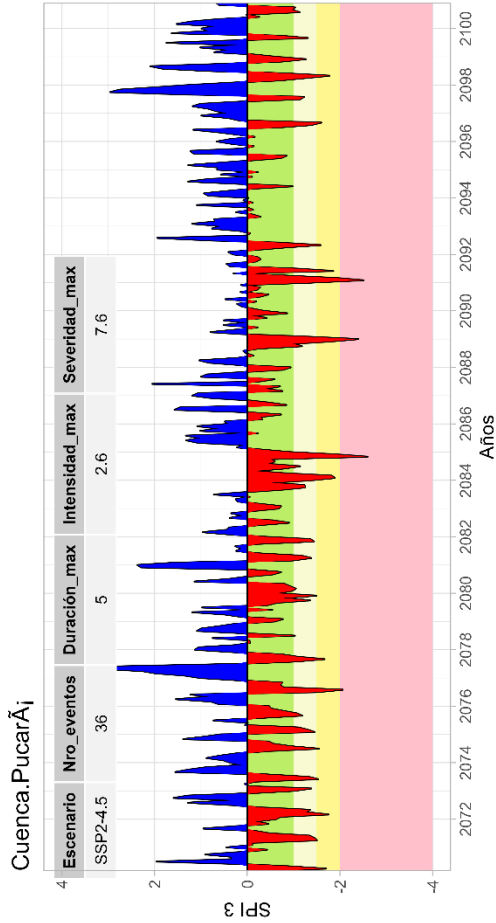




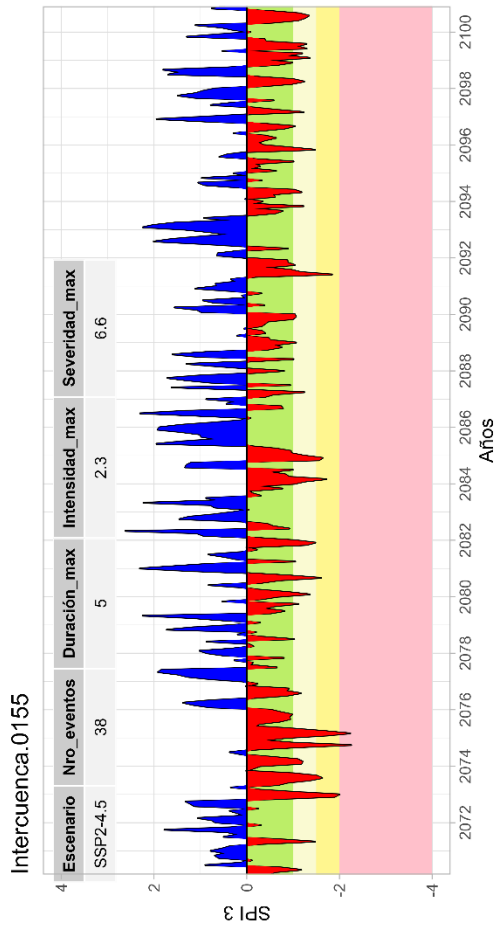
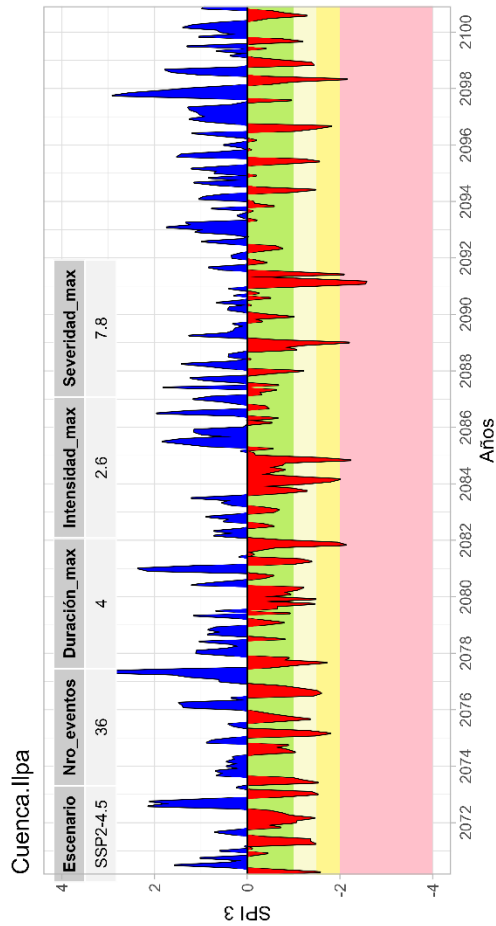
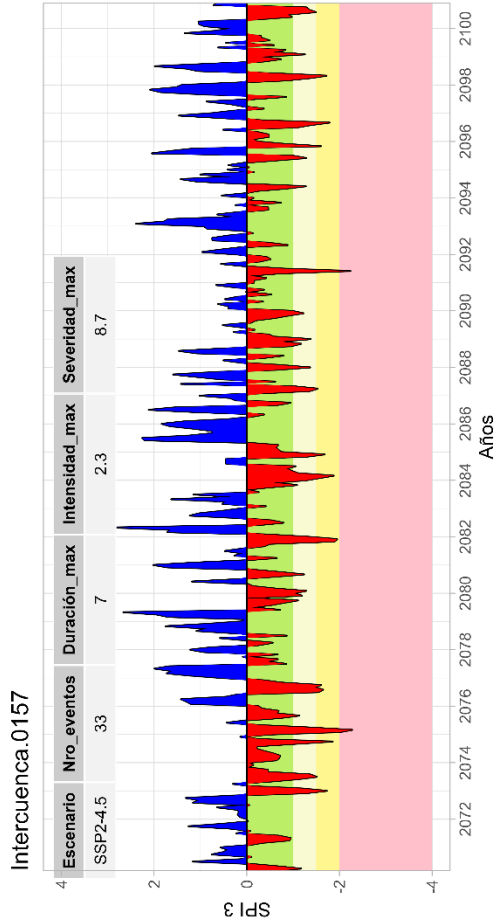
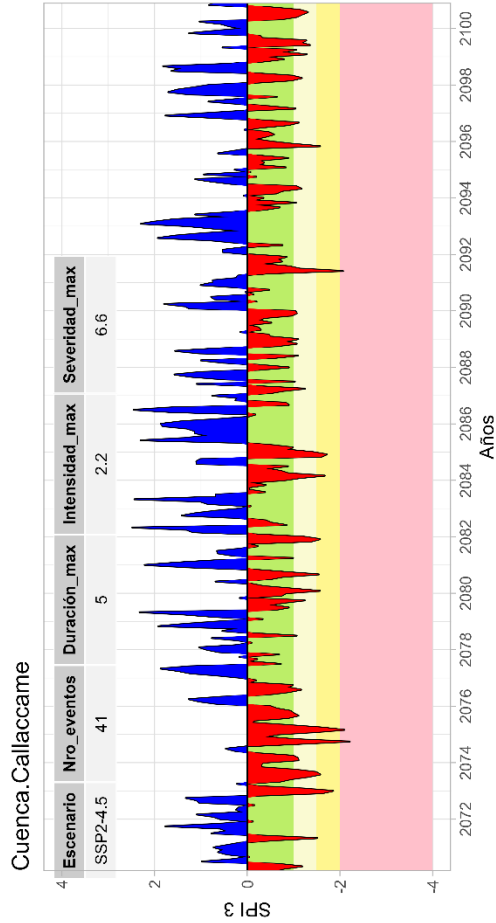


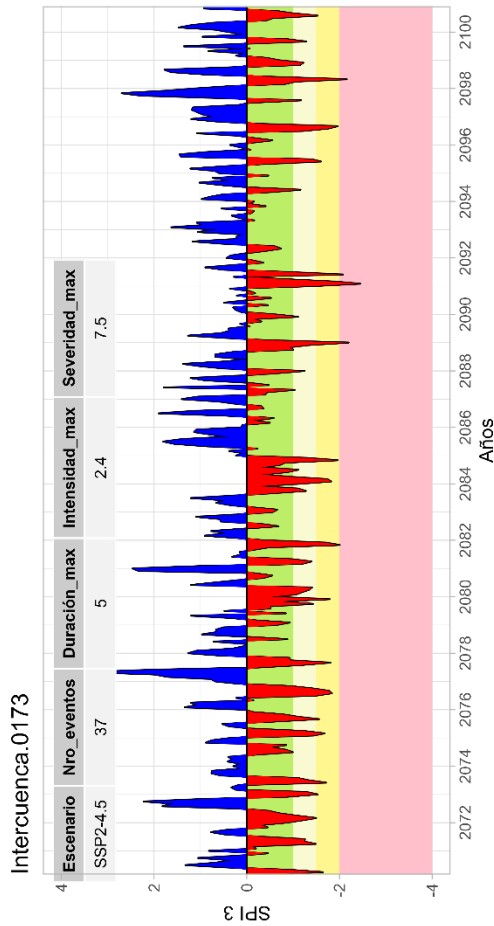
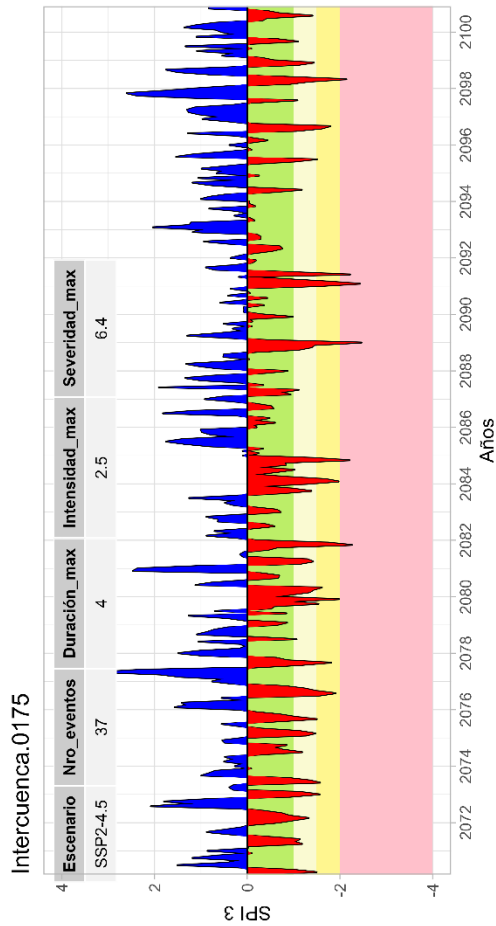
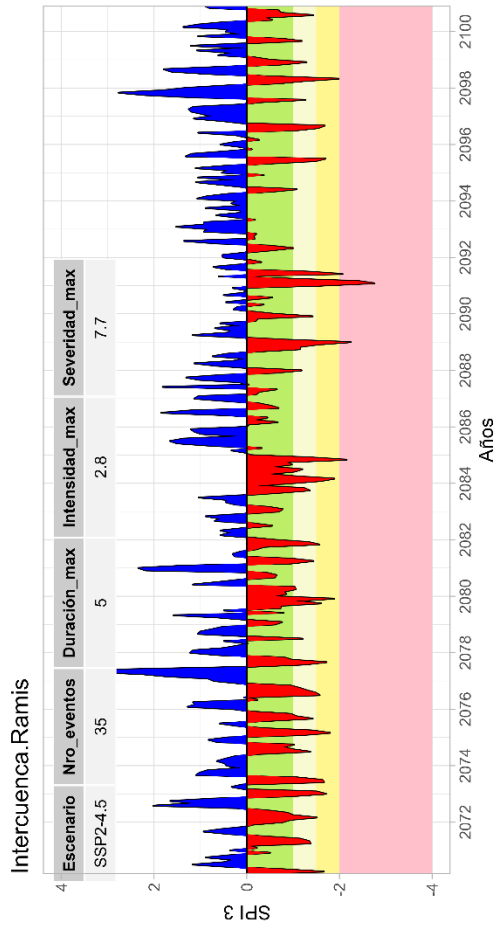
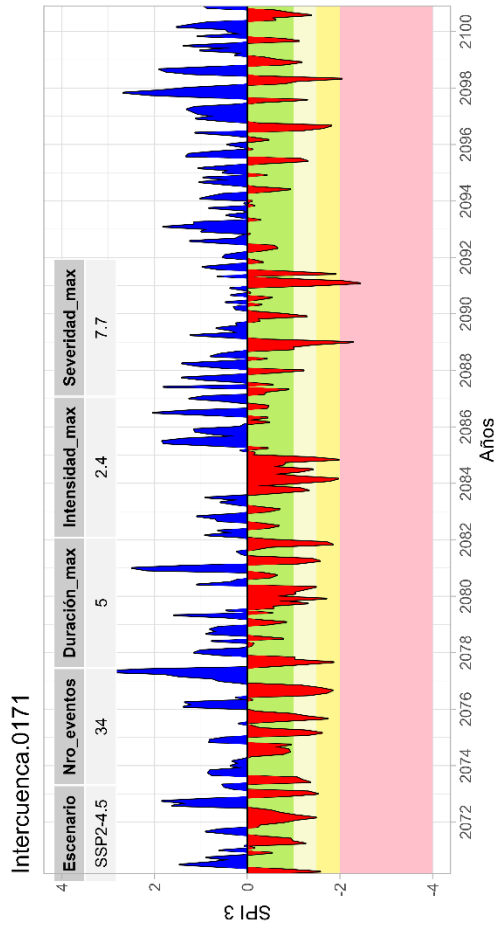
**ANEXO O: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 3 PARA EL PERIODO DE 2070 – 2100 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP2-4.5  
PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA**

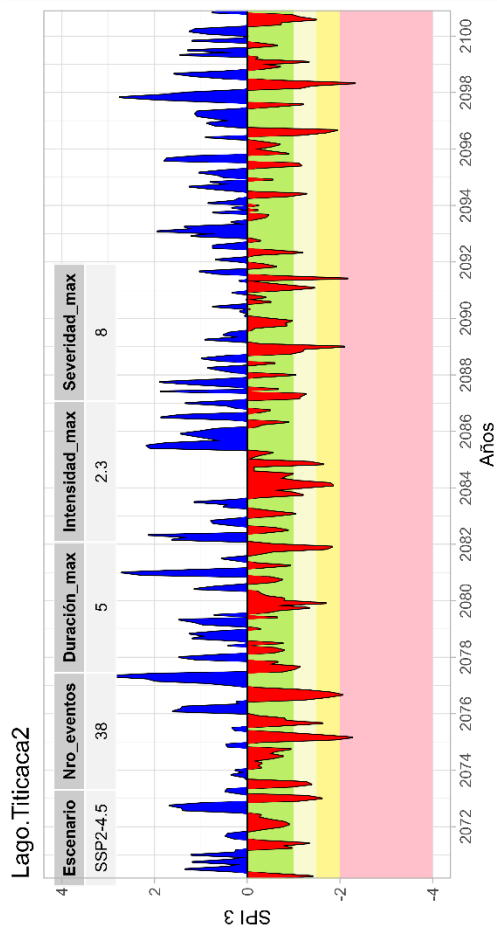




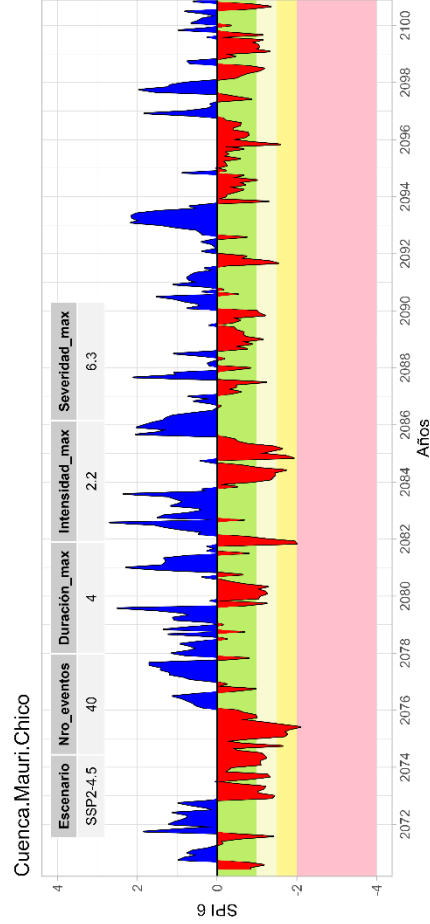
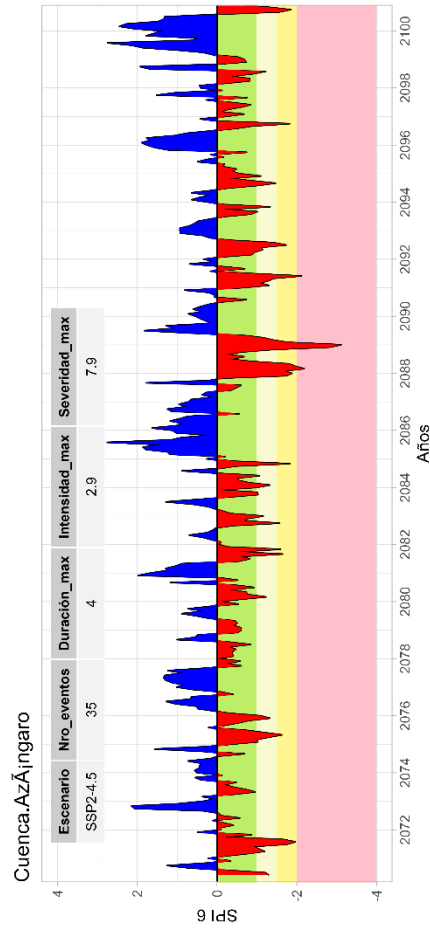
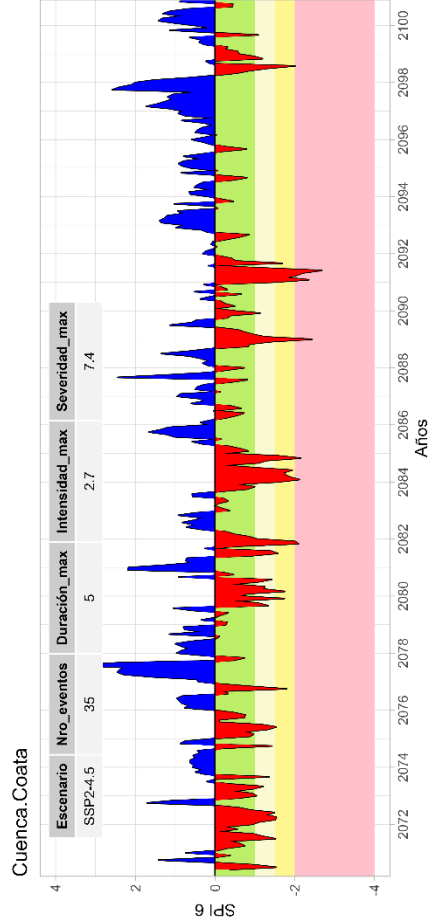
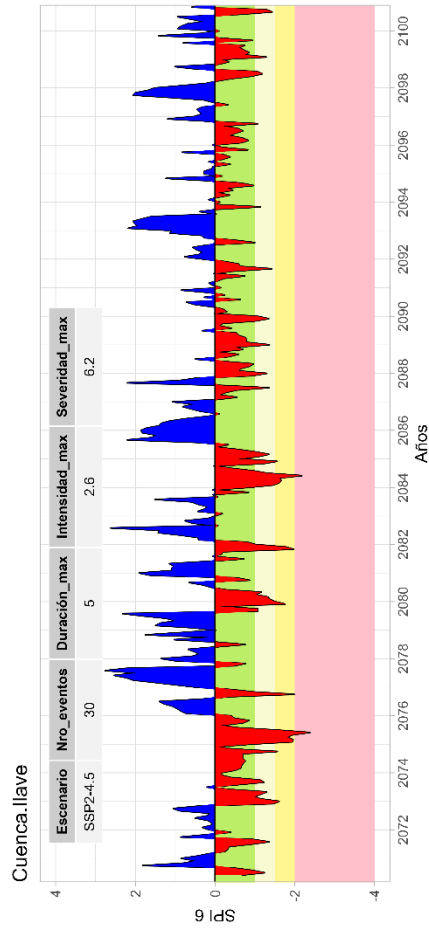


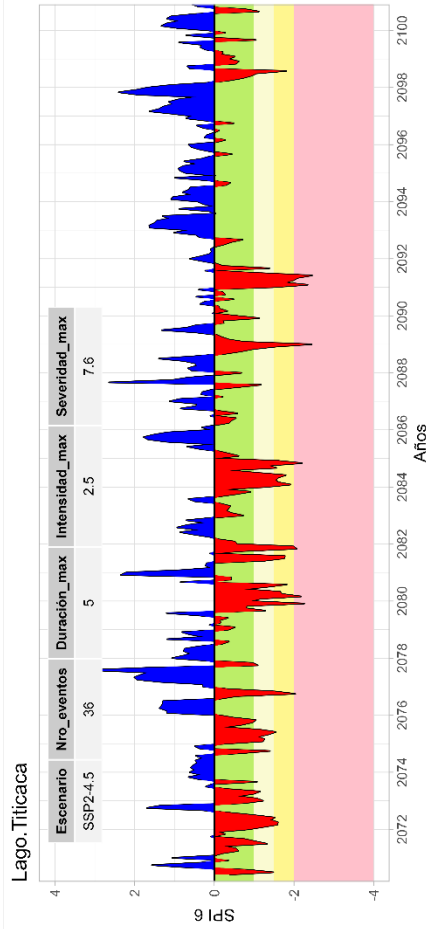
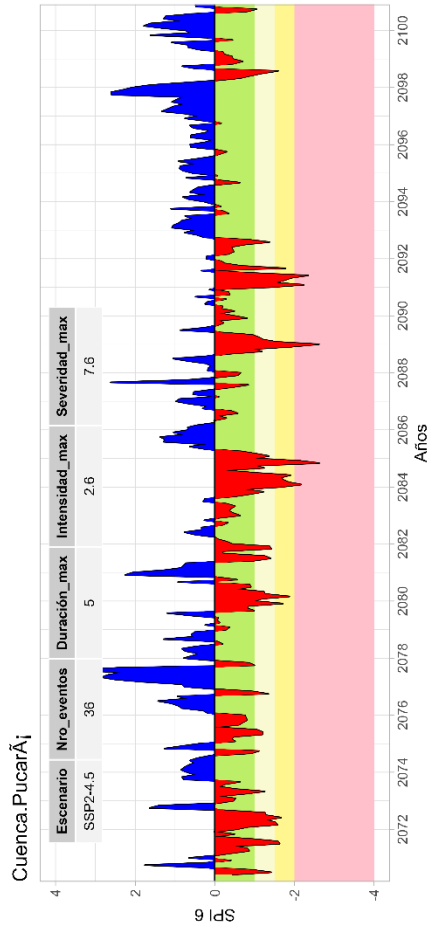
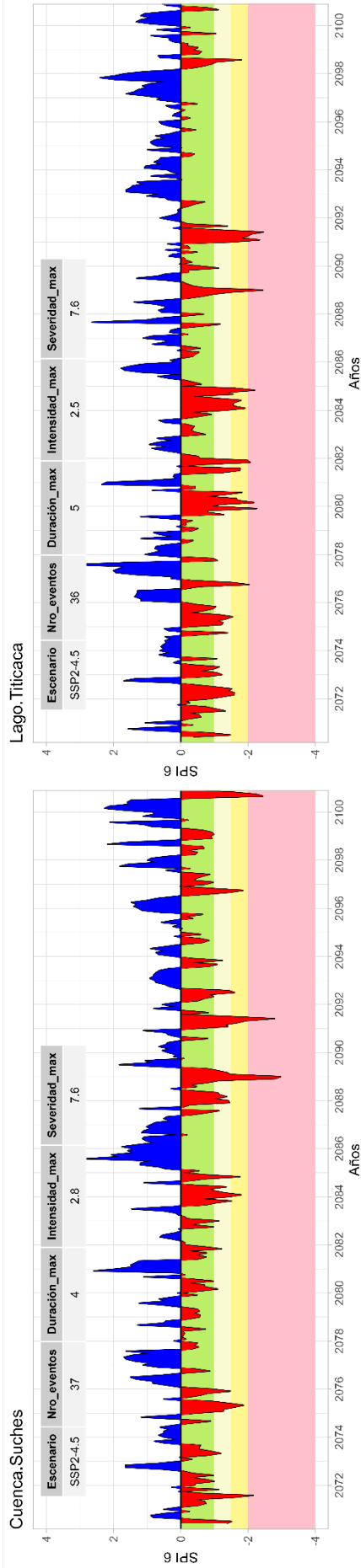
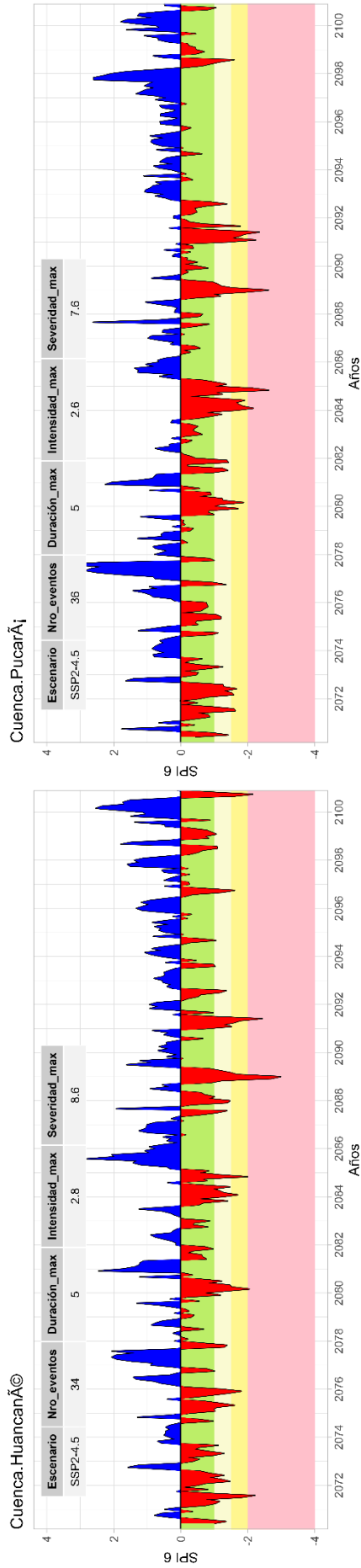


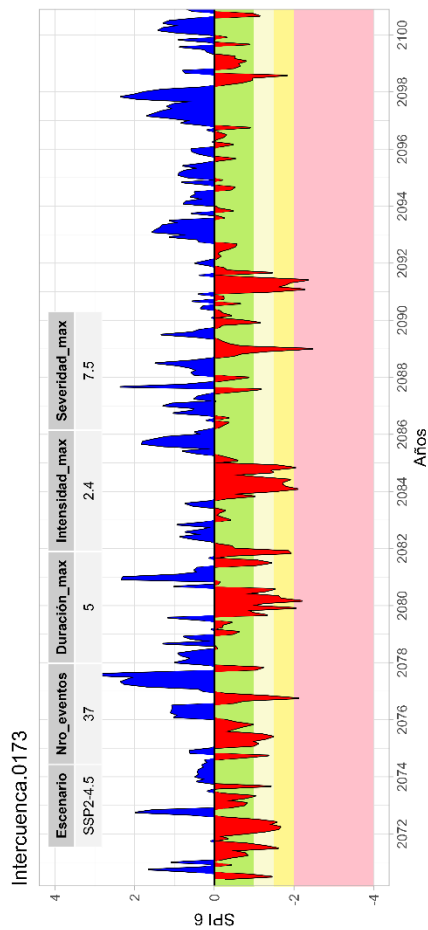
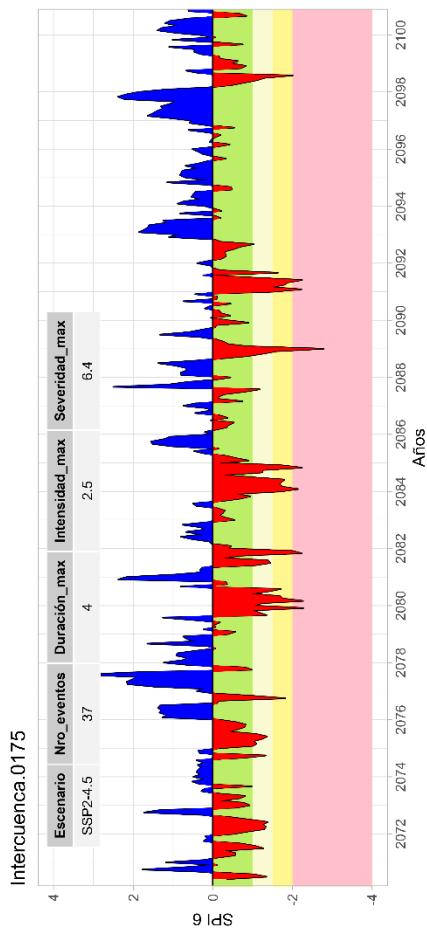
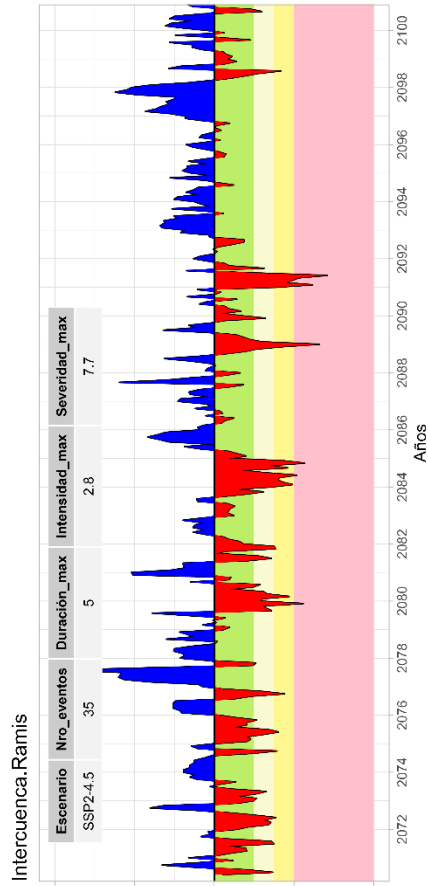
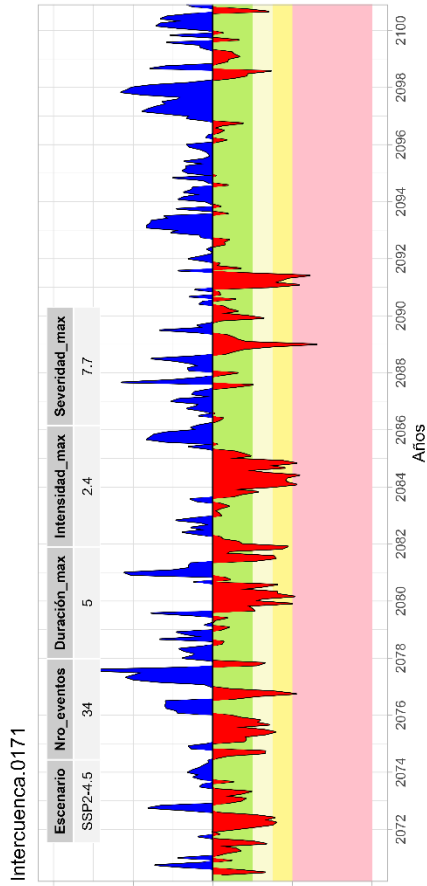


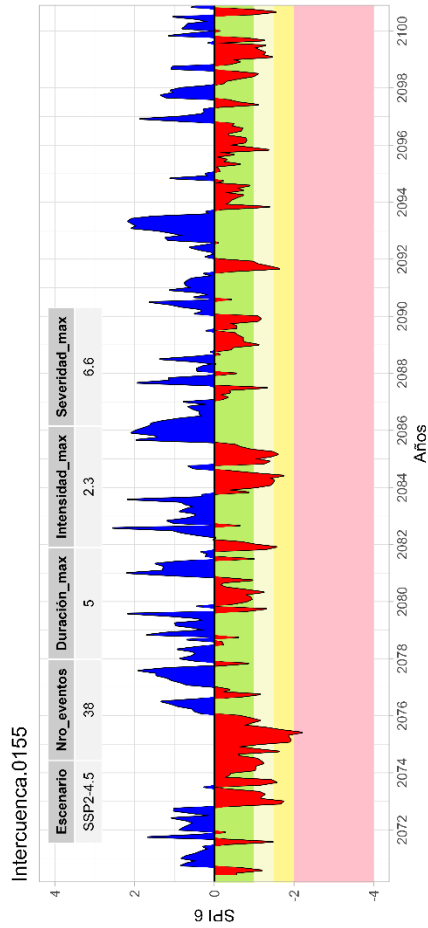
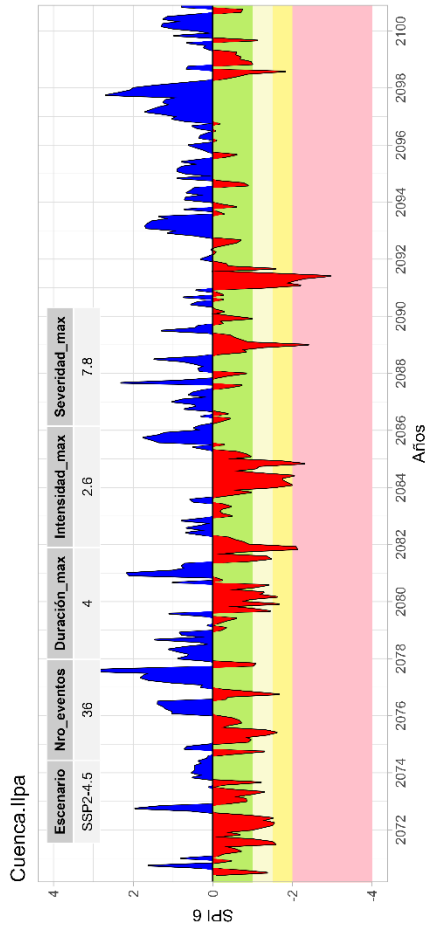
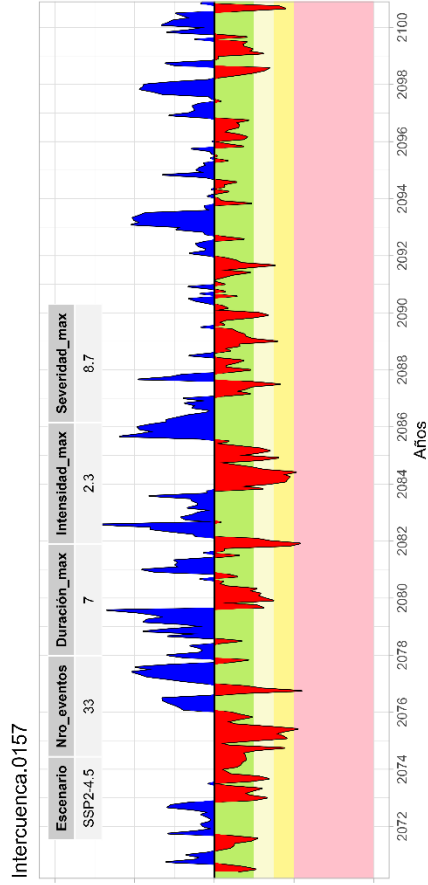
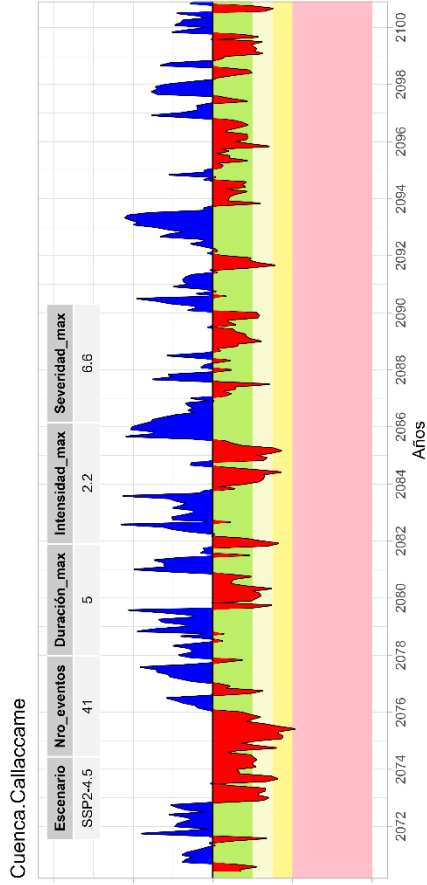


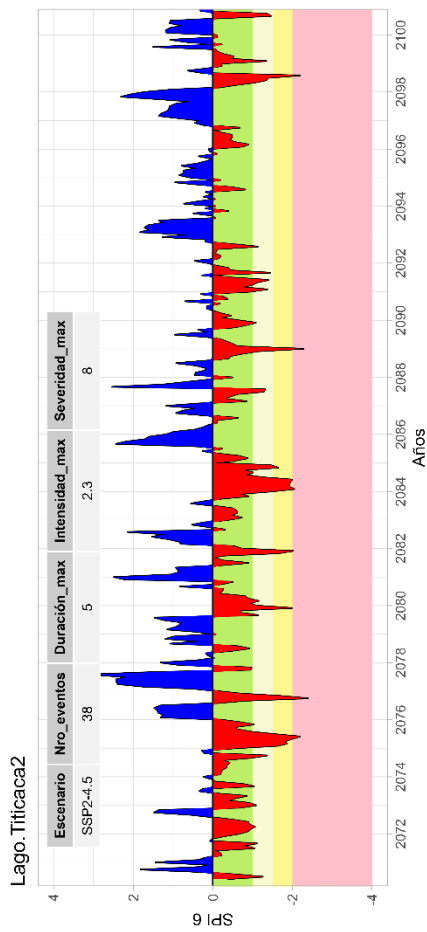
**ANEXO P: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 6 PARA EL PERIODO DE 2070 – 2100 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP2-4.5  
PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA**





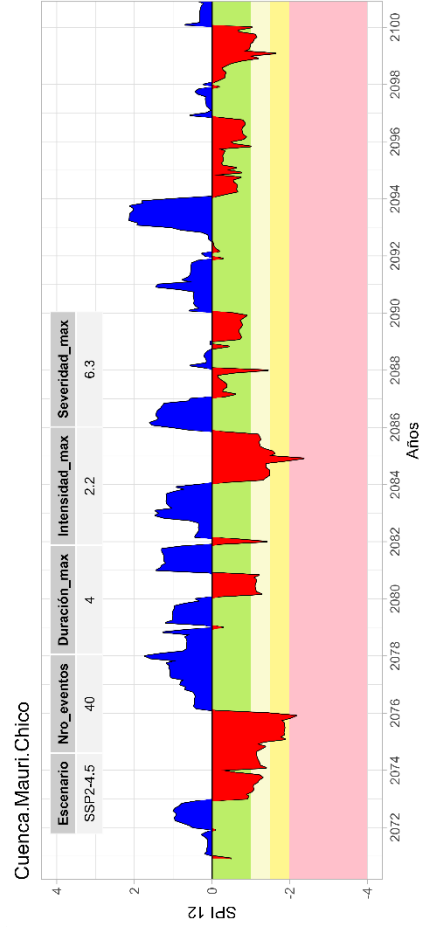
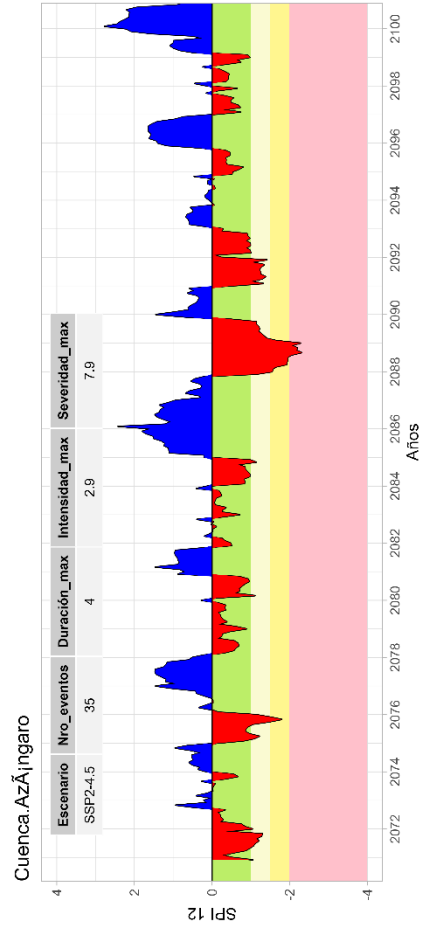
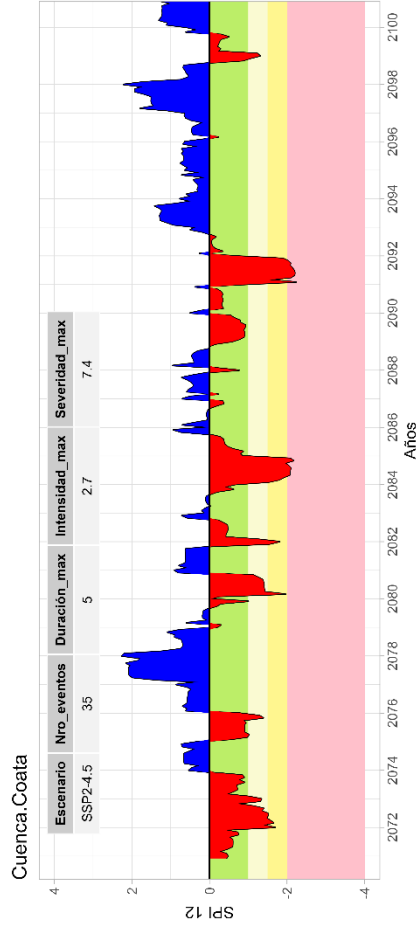
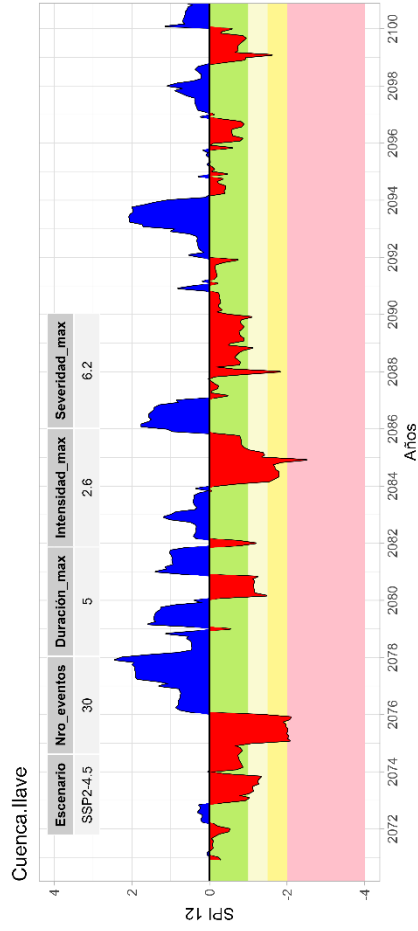


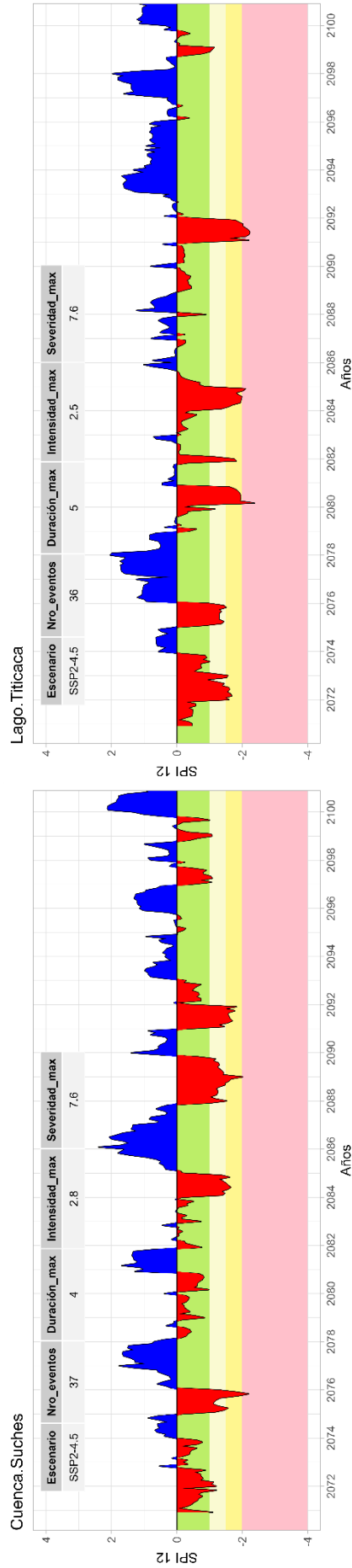
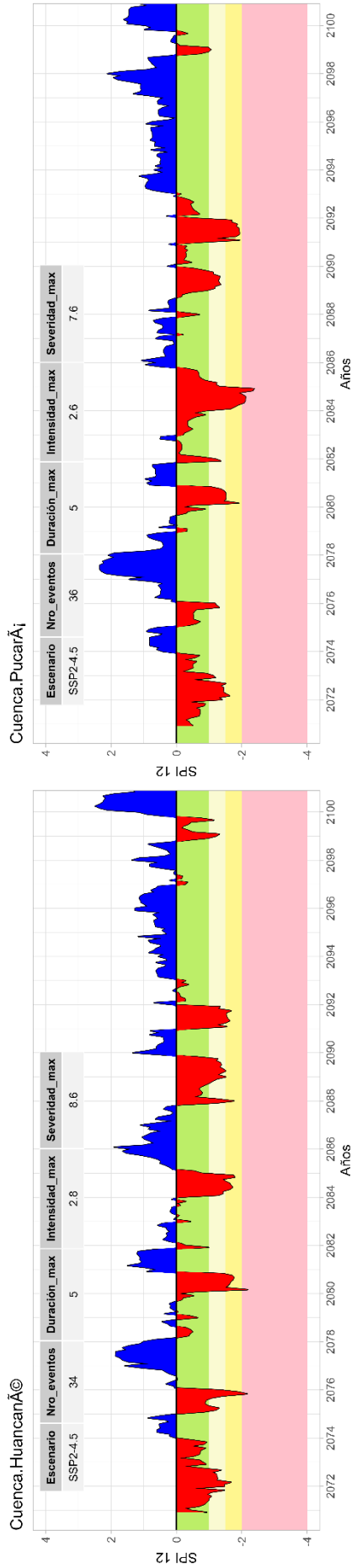




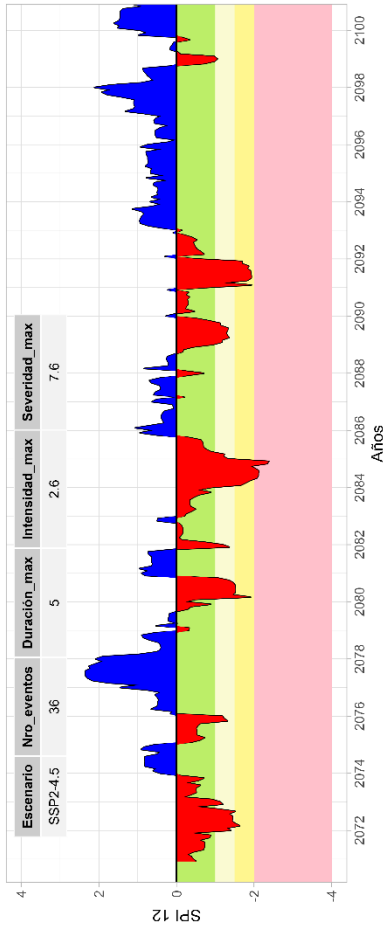


**ANEXO Q: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 12 PARA EL PERIODO DE 2070 – 2100 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP2-4.5  
PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA**

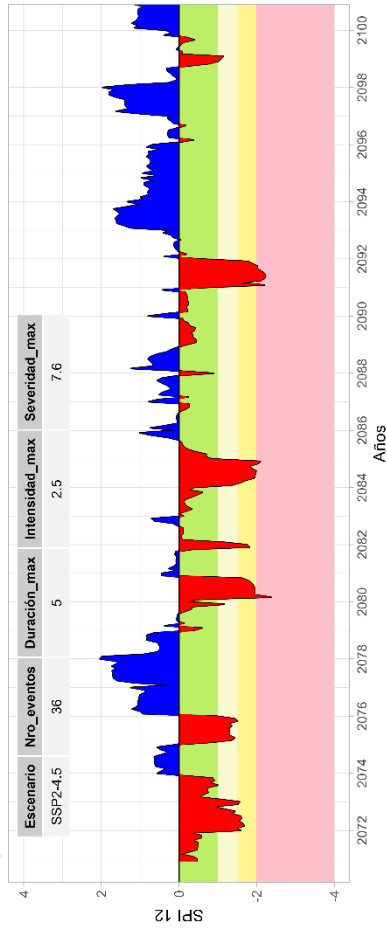


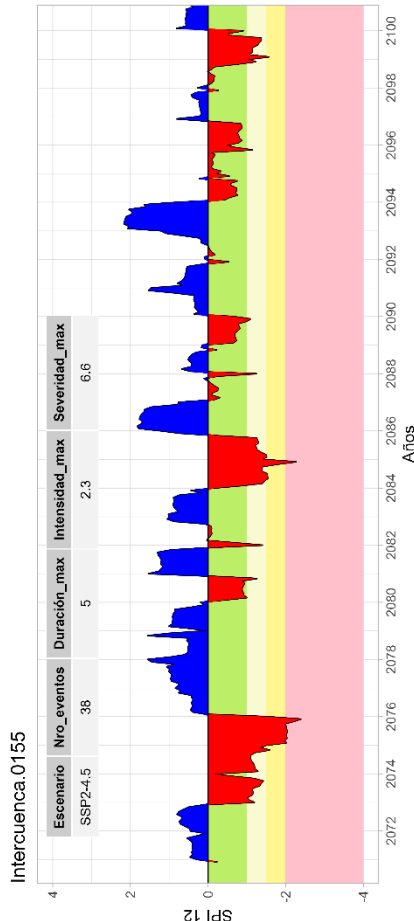
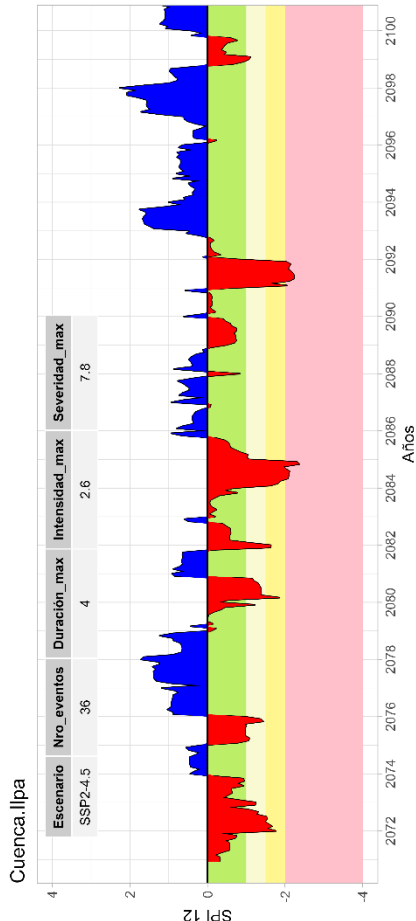
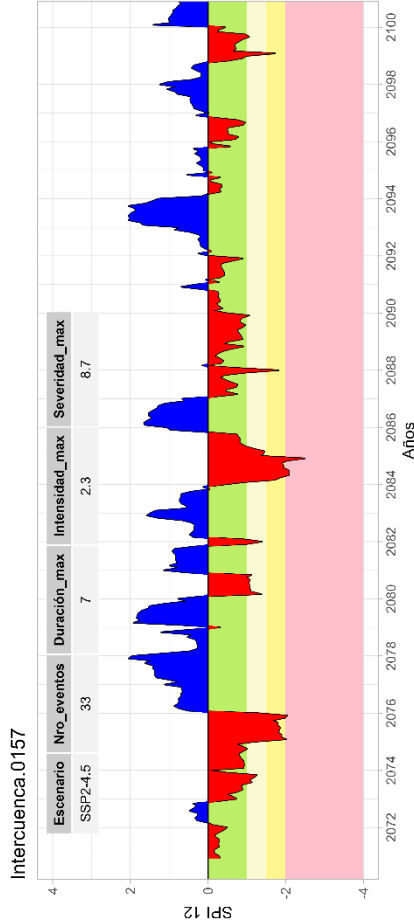
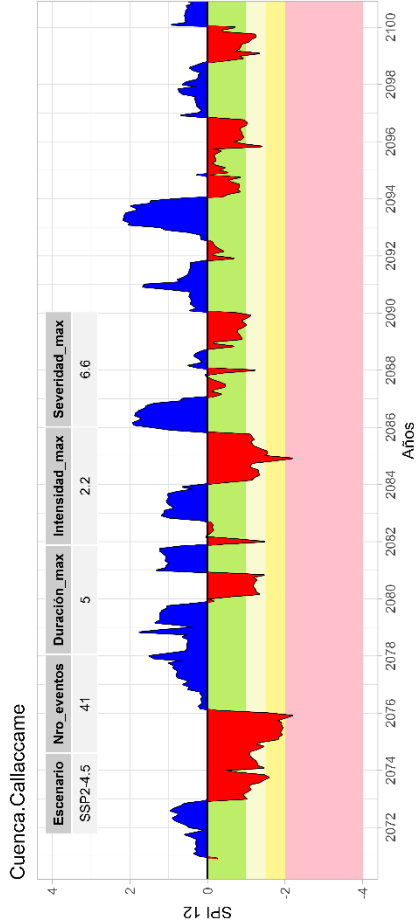


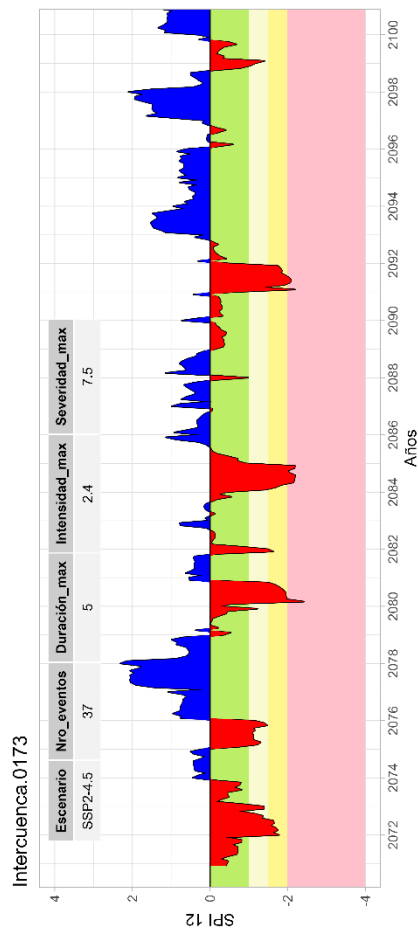
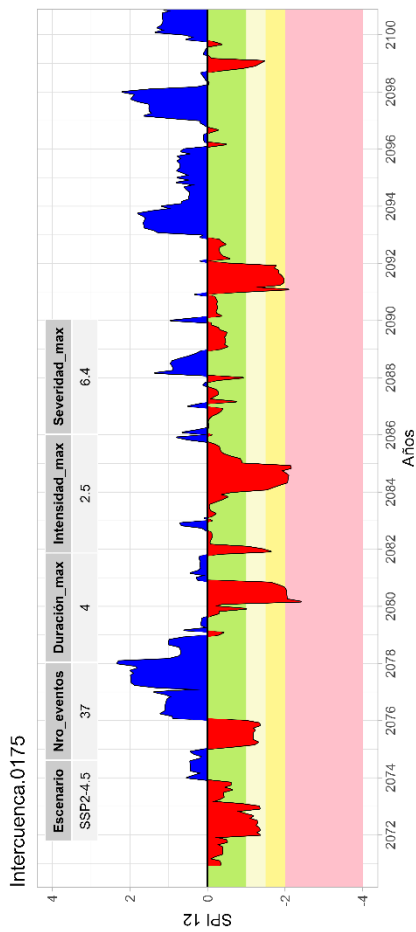
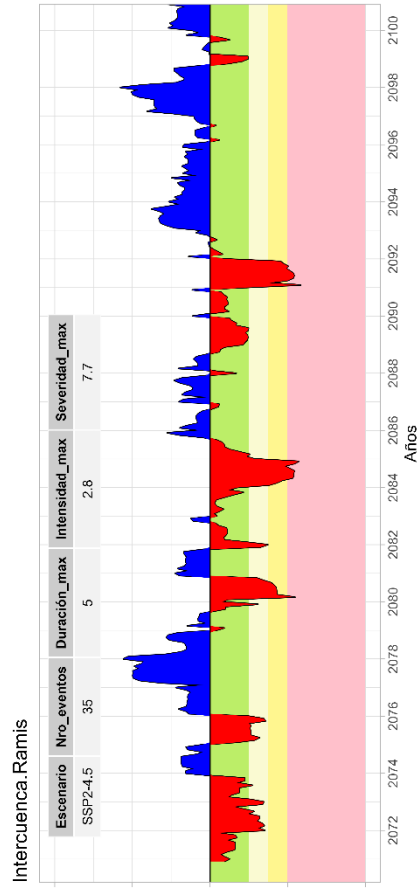
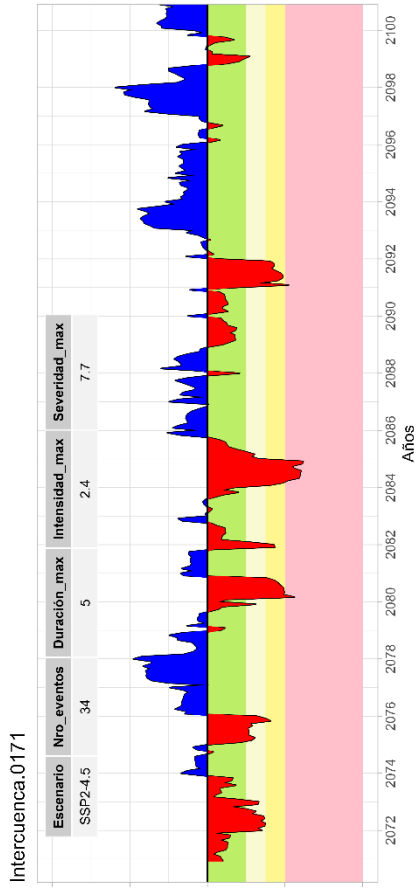
Cuenca.Pucarã

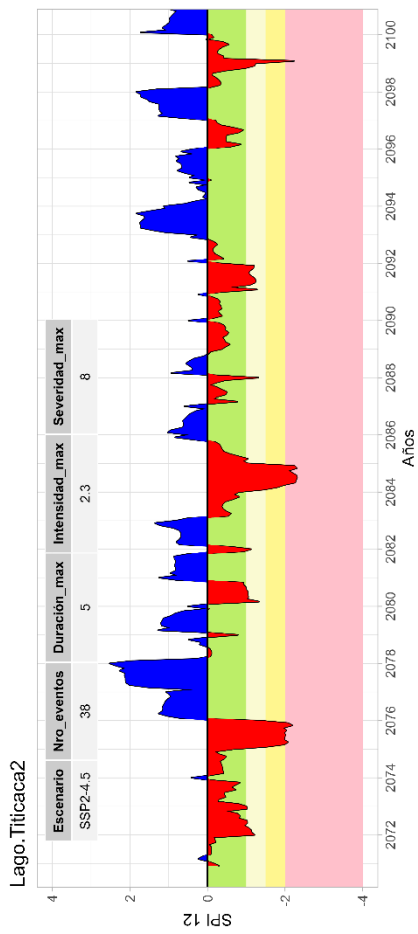


Lago.Titicaca

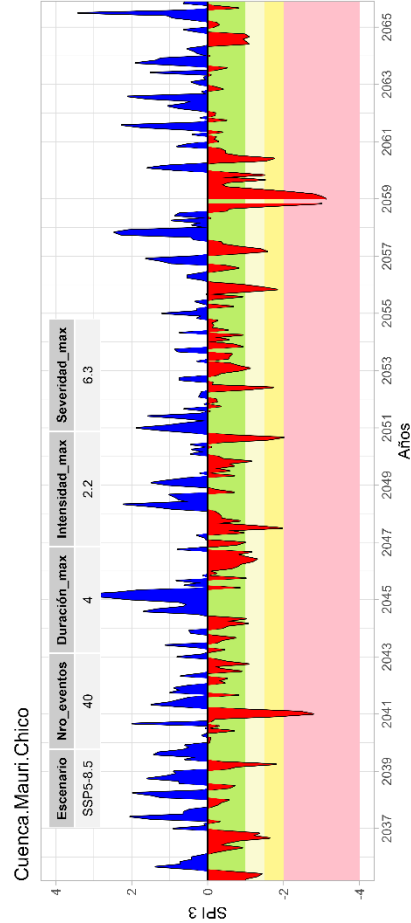
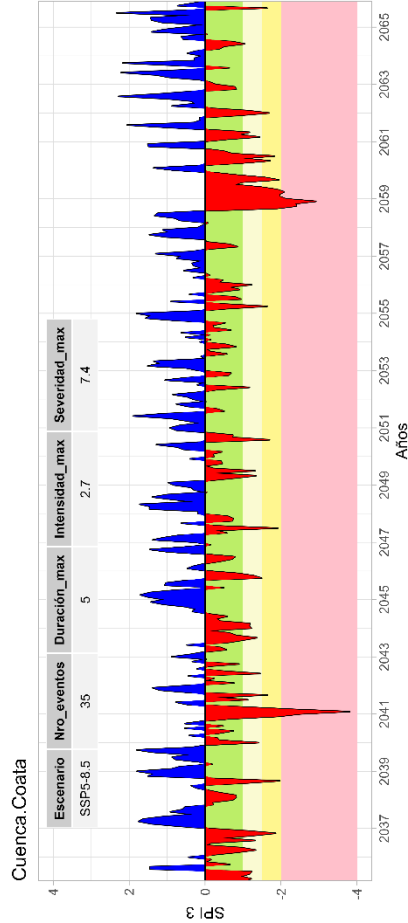
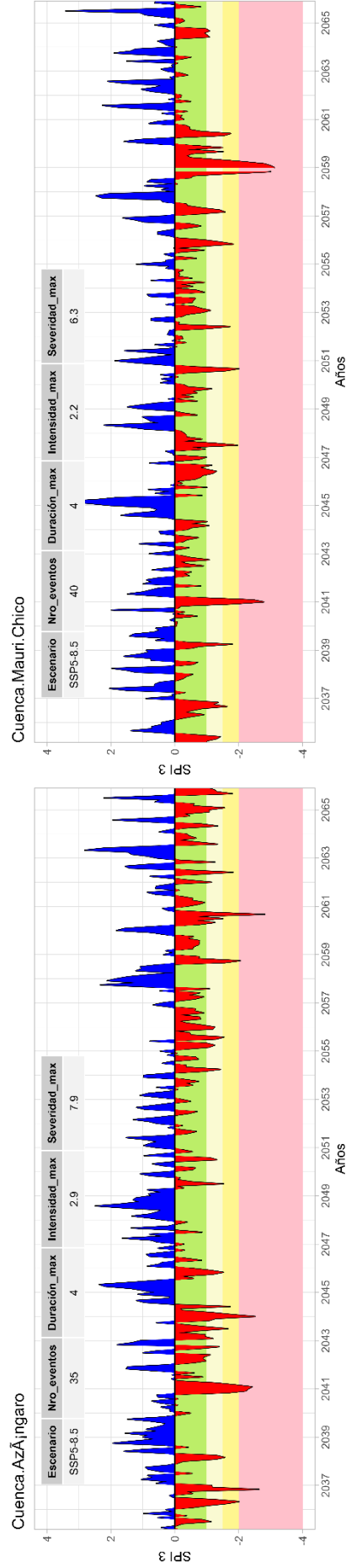
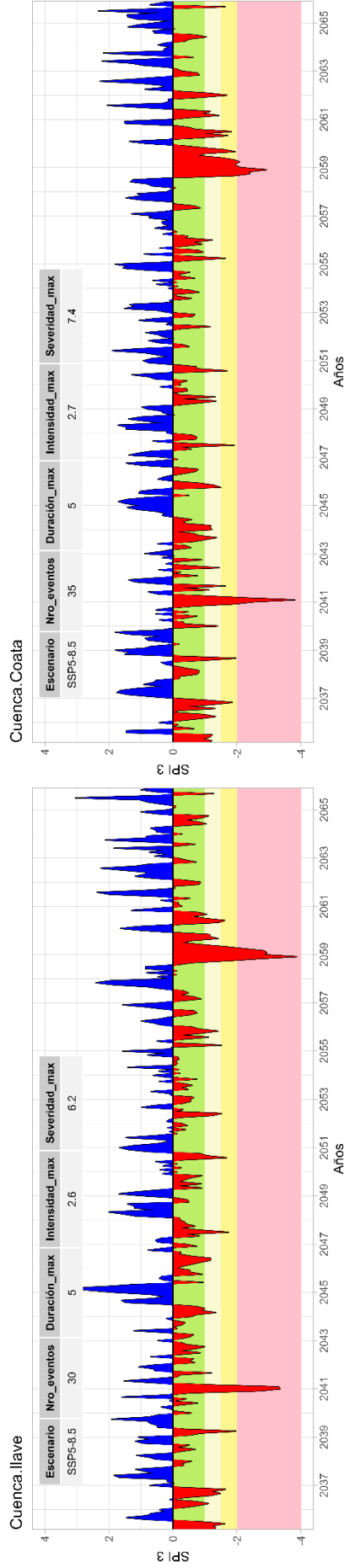


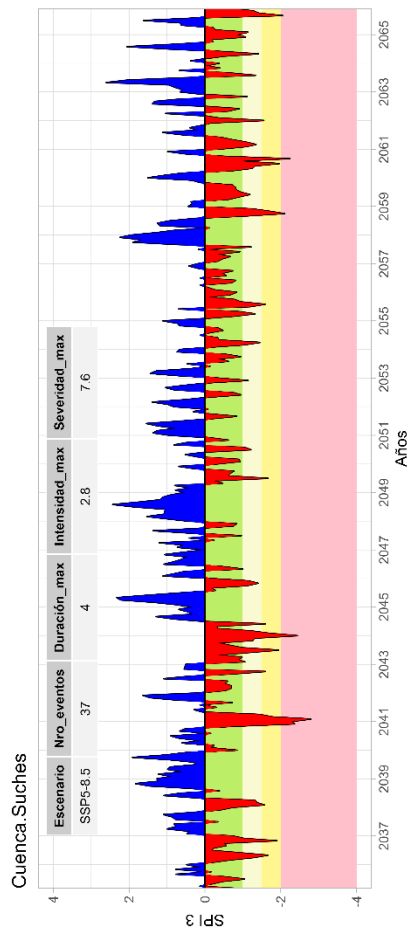
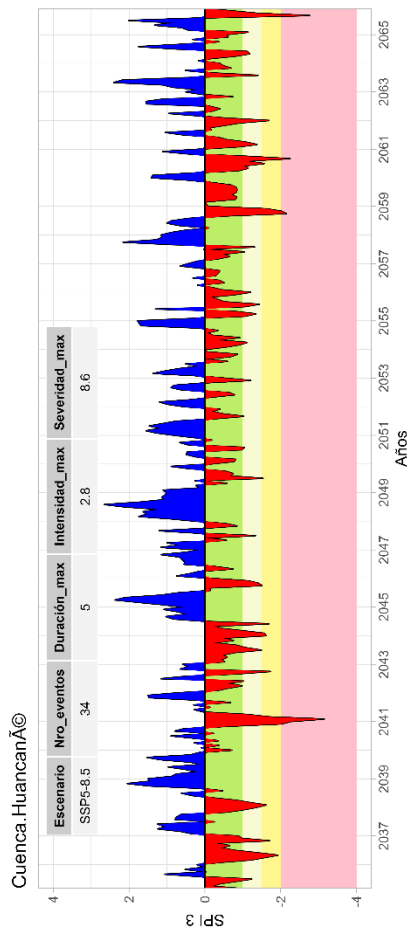
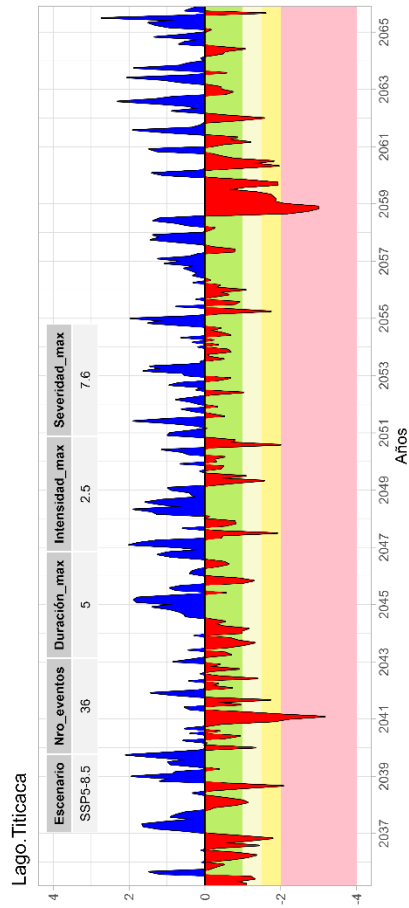
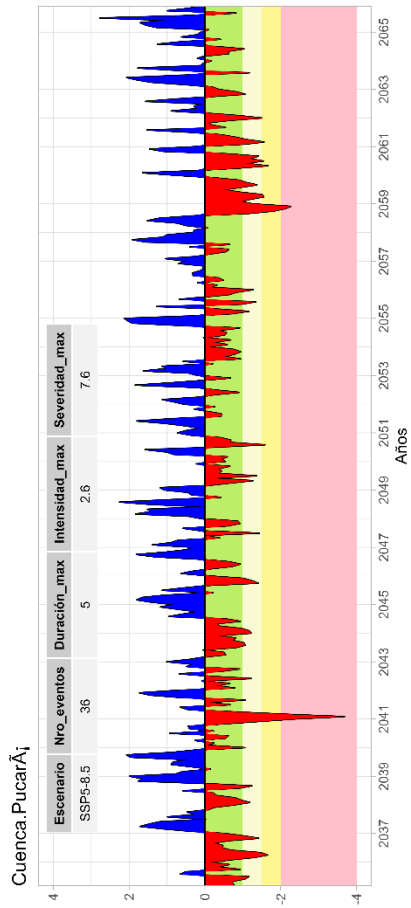


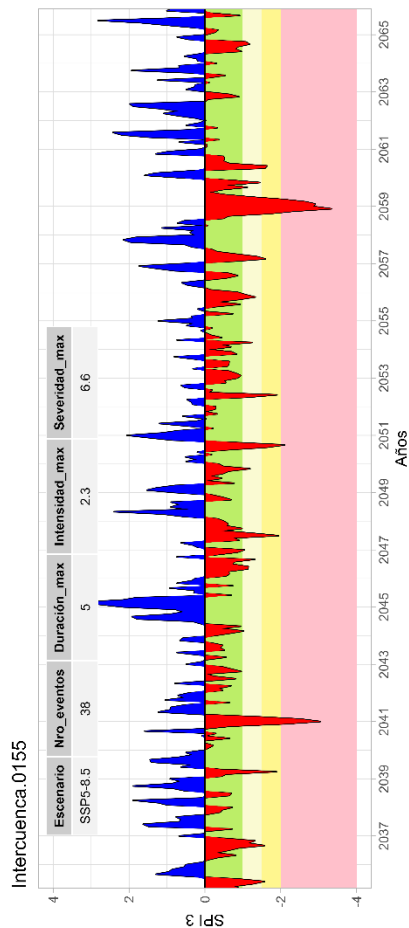
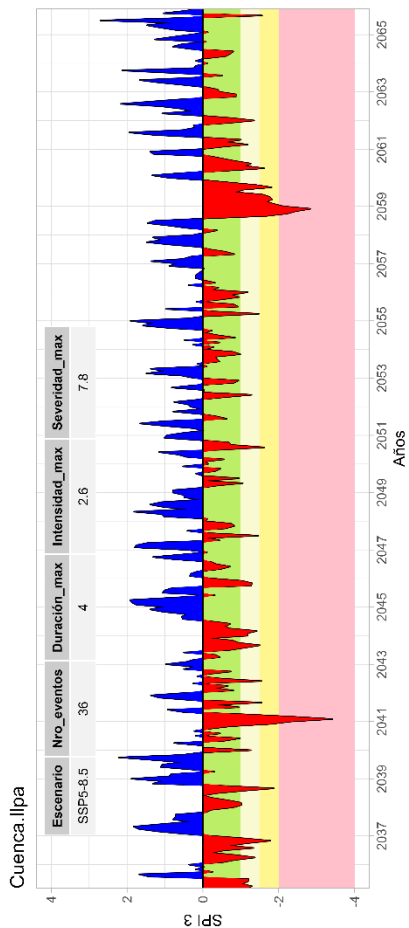
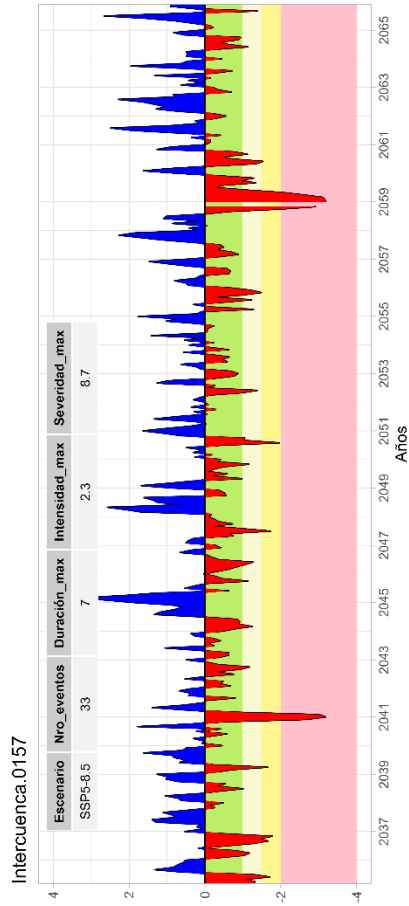
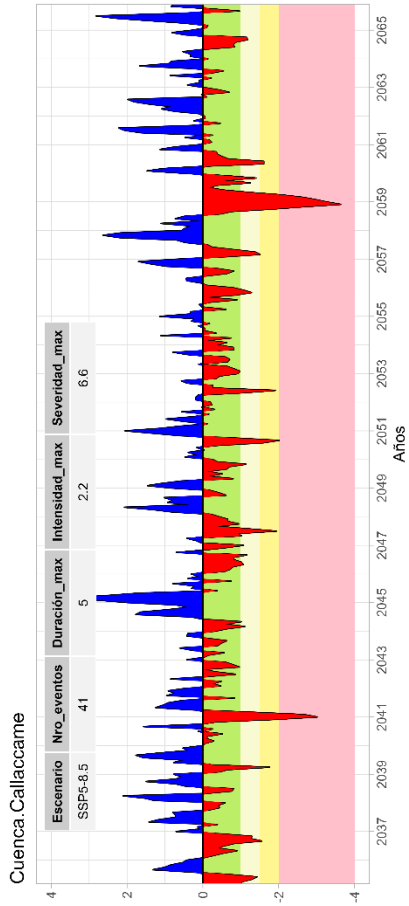




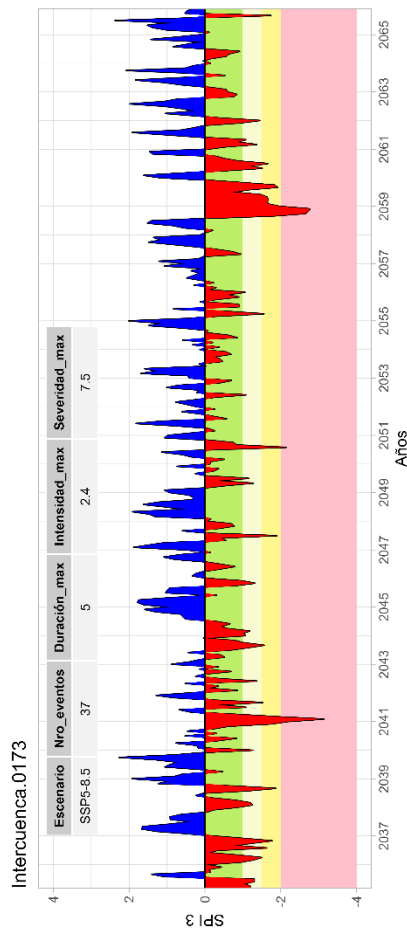
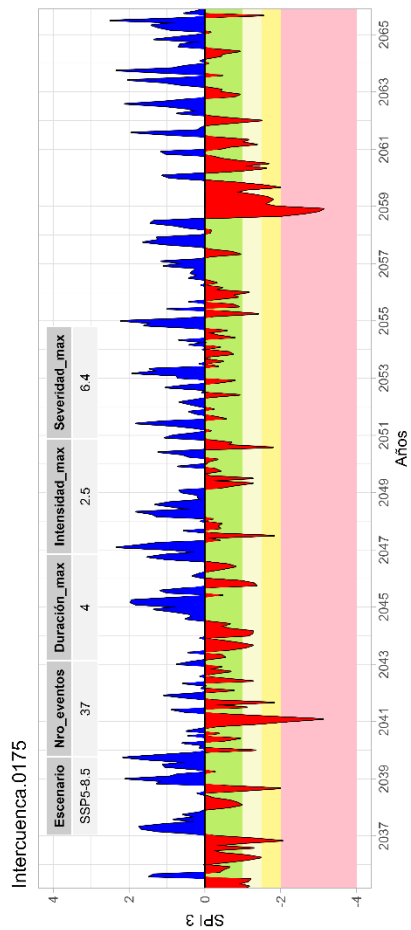
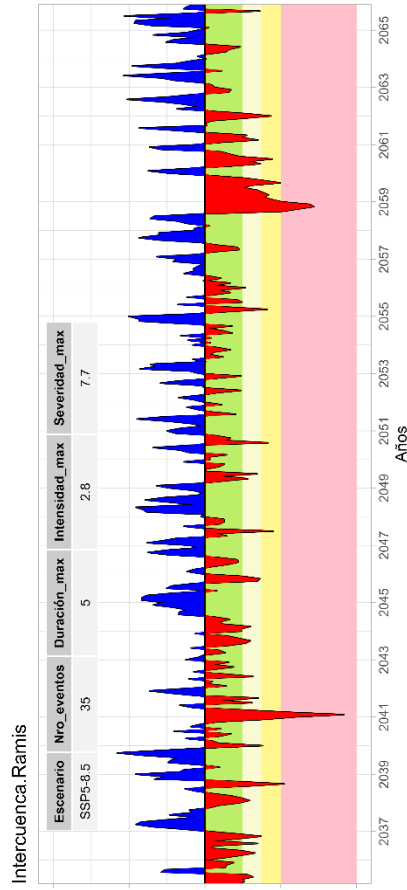
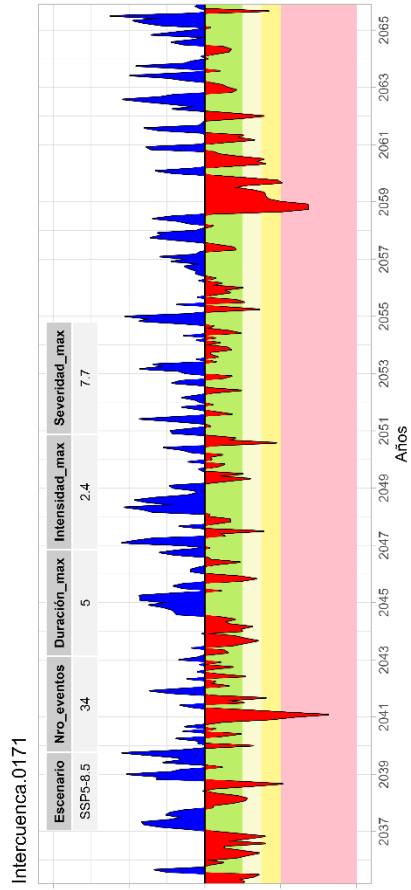
## ANEXO R: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 3 PARA EL PERIODO DE 2035 – 2065 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP5-8.5 PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA

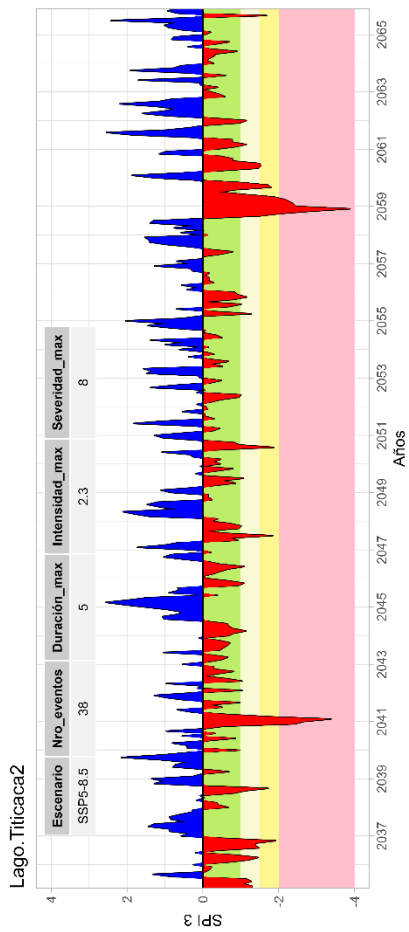




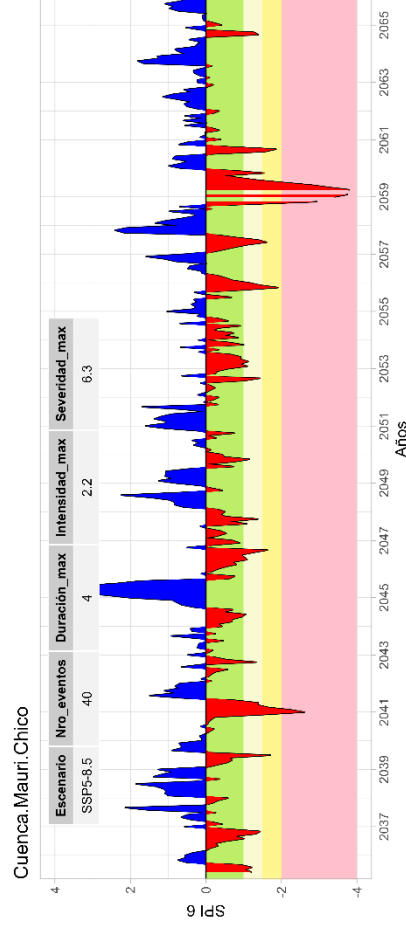
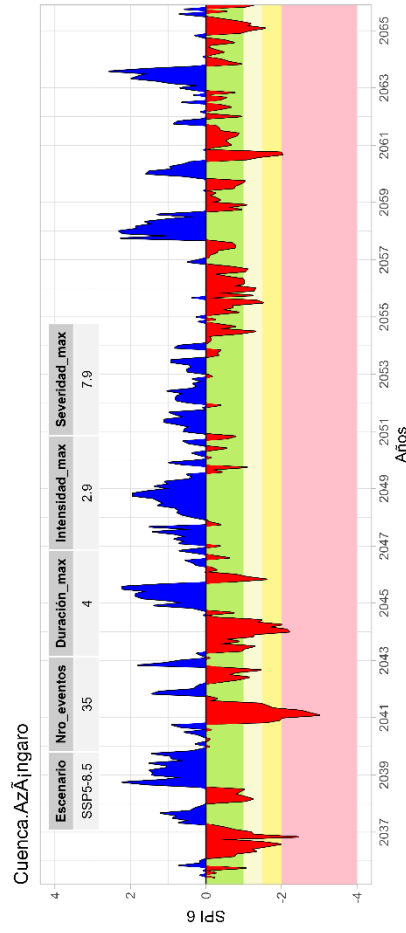
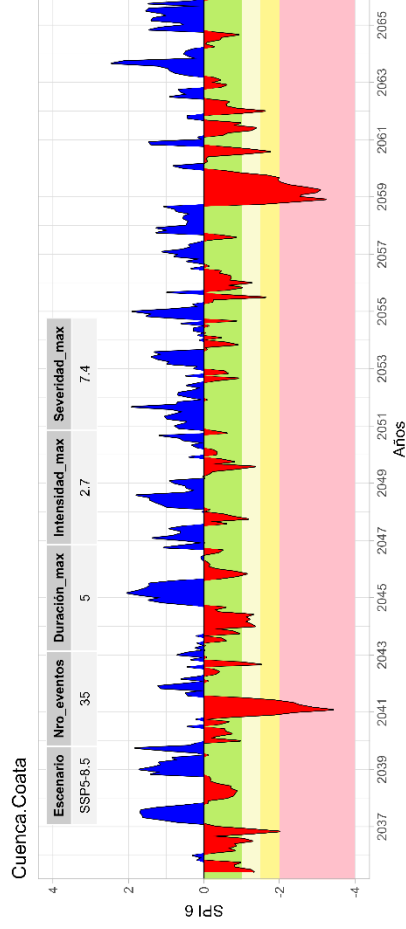
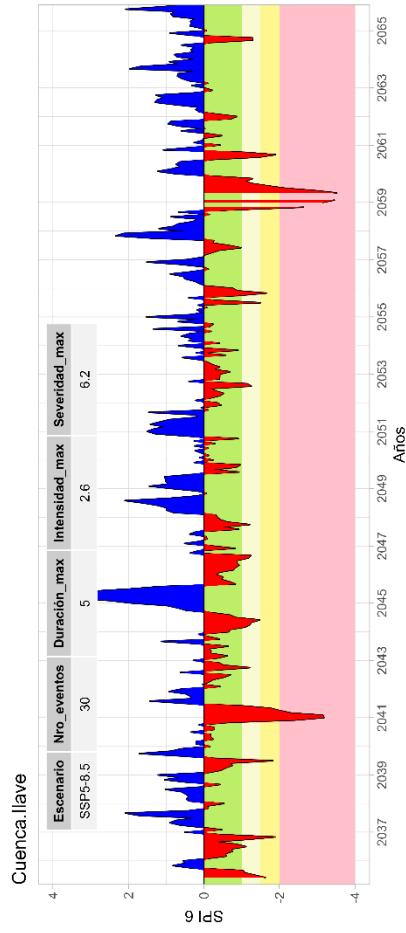


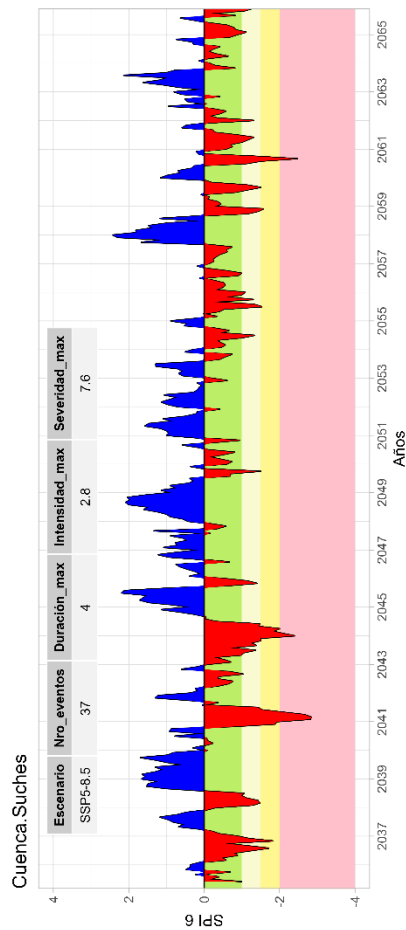
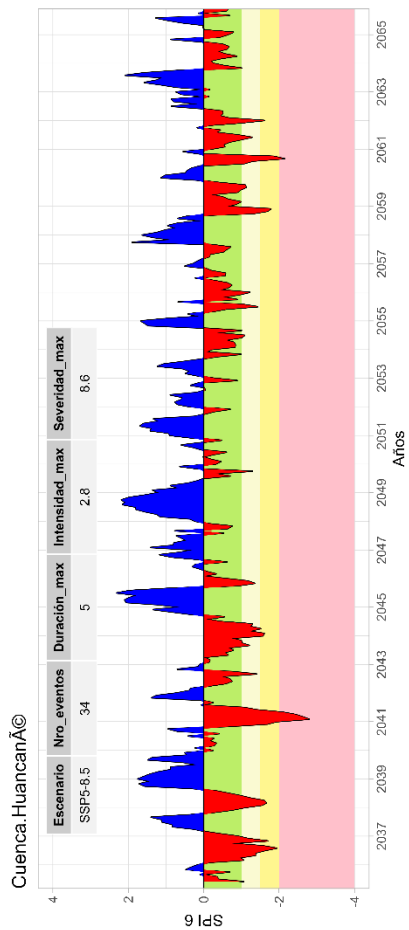
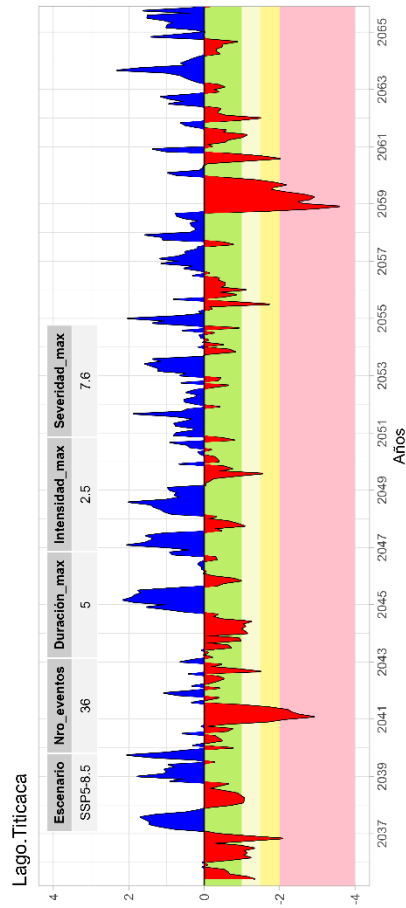
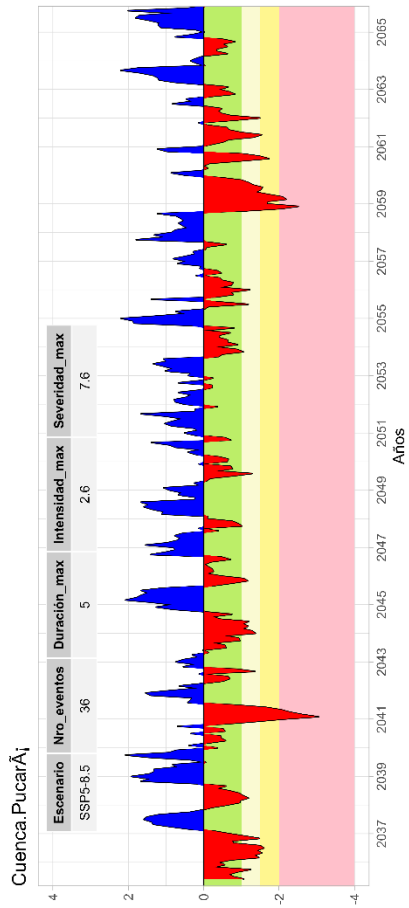


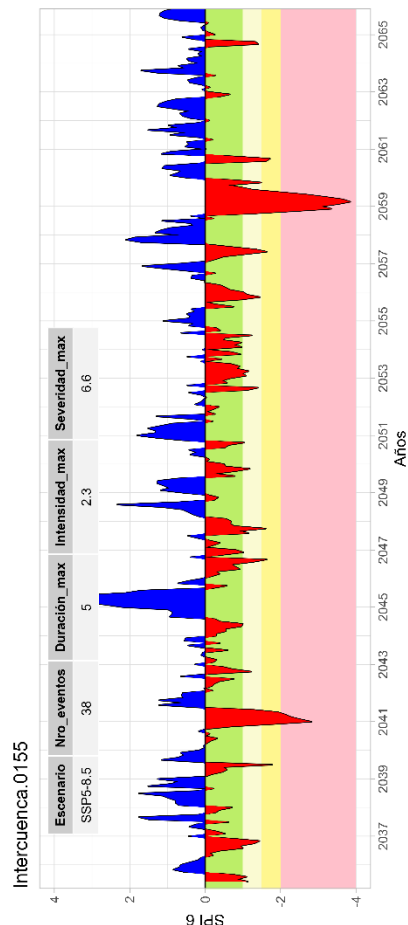
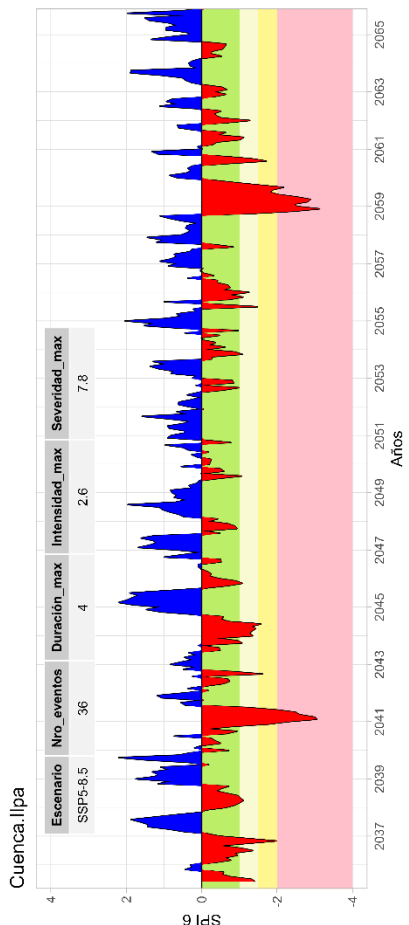
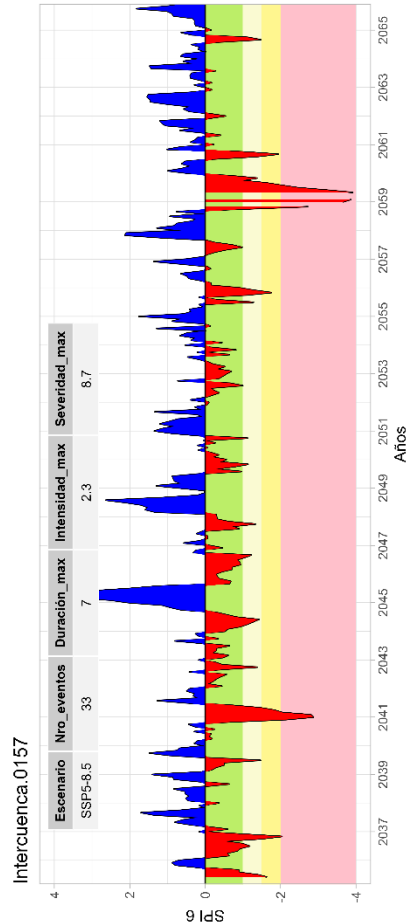
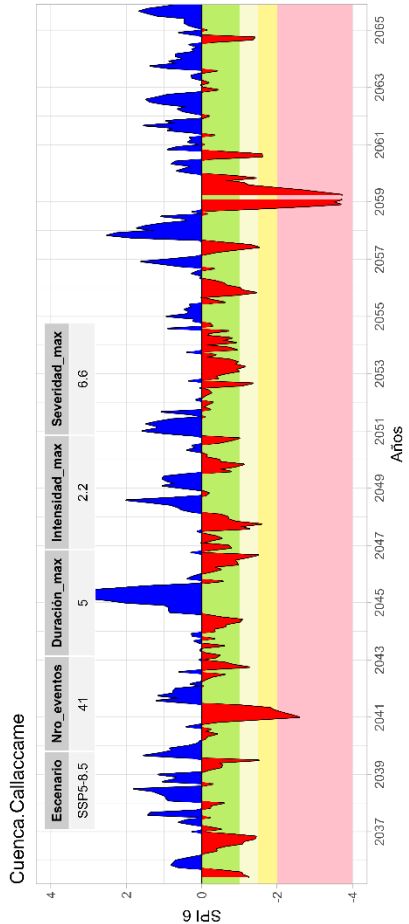


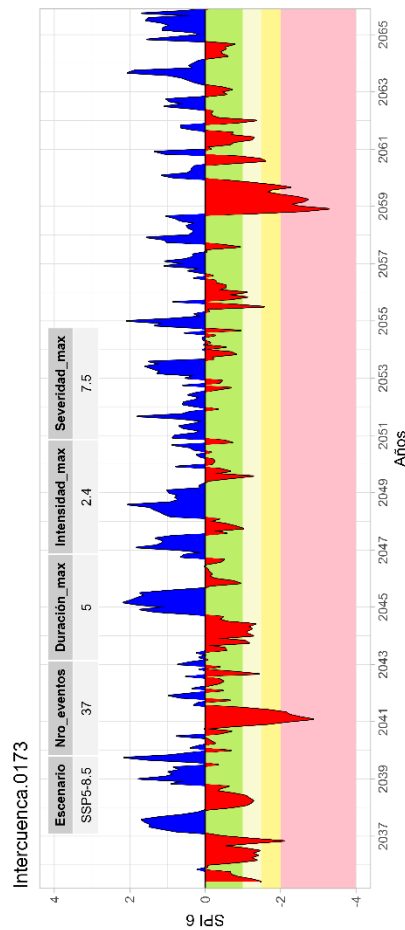
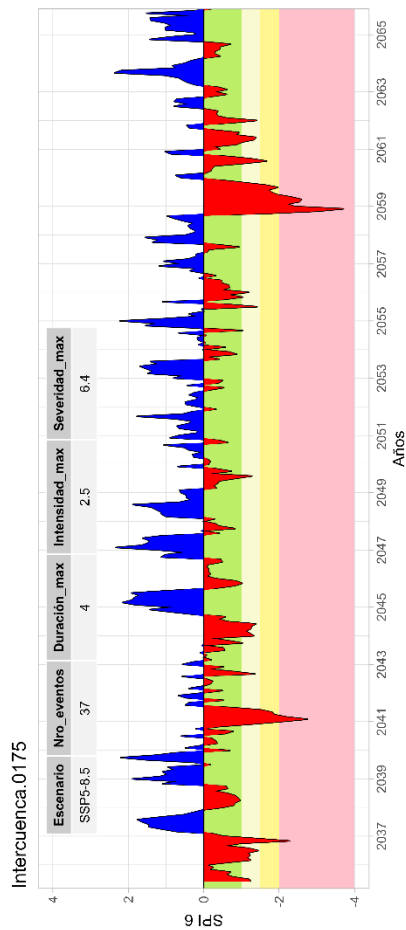
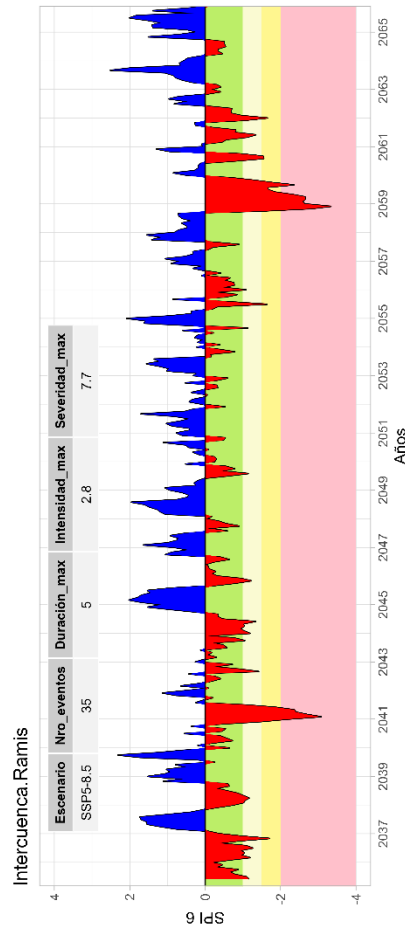
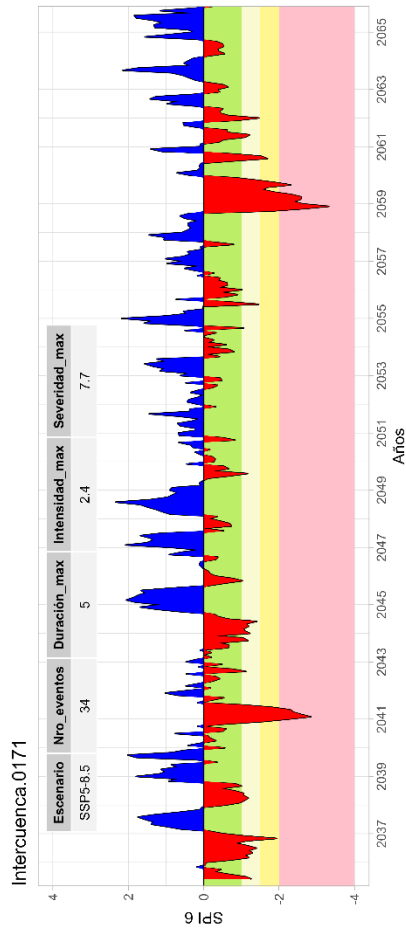


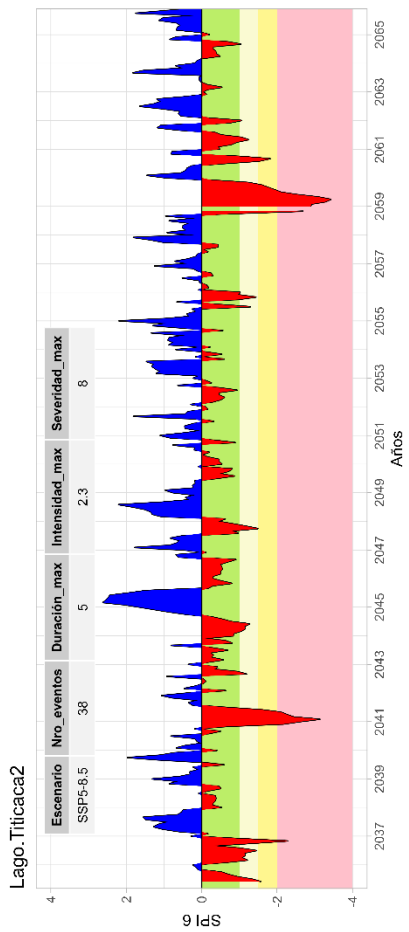
**ANEXO S: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 6 PARA EL PERIODO DE 2035 – 2065 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP5-8.5  
PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA**



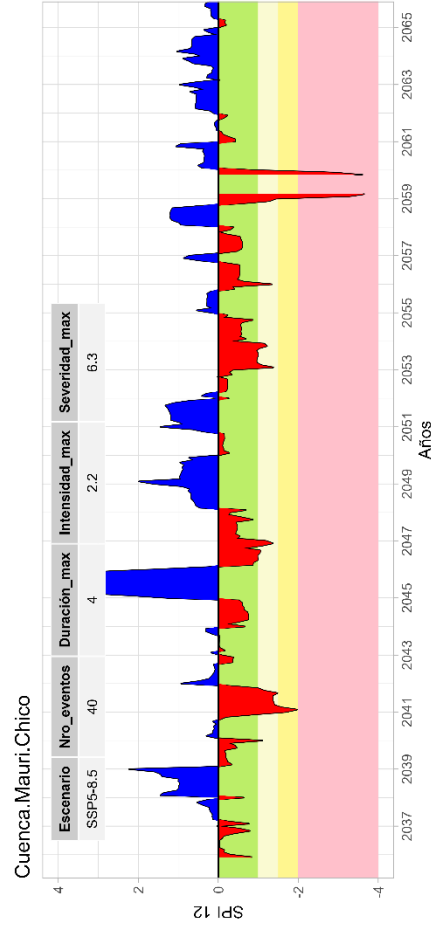
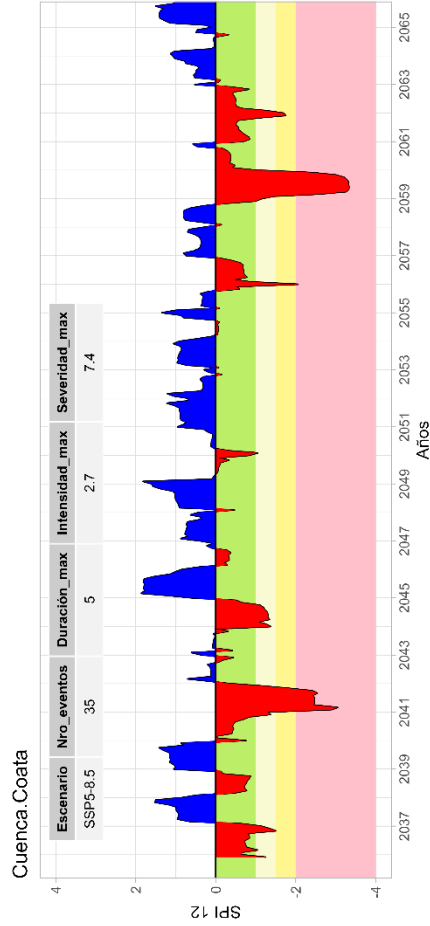
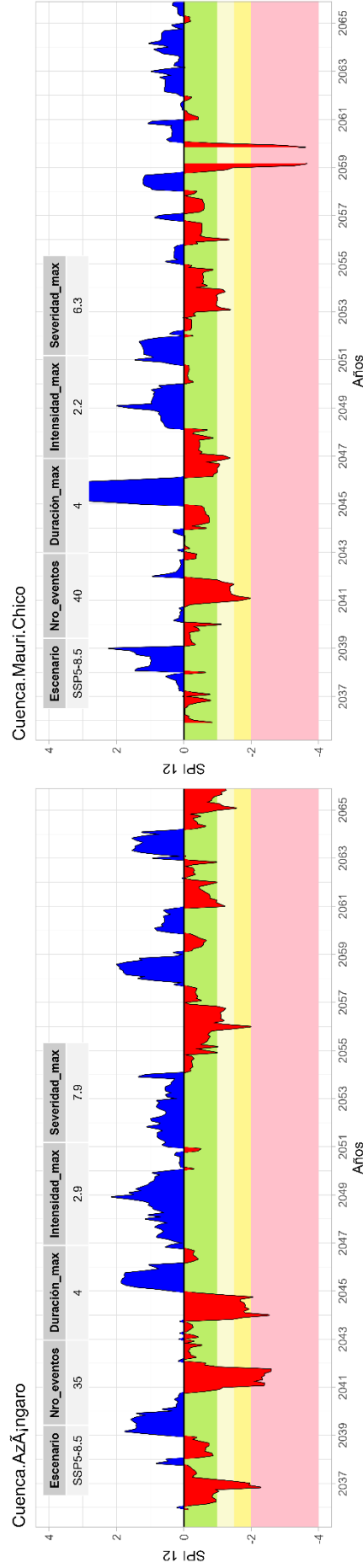
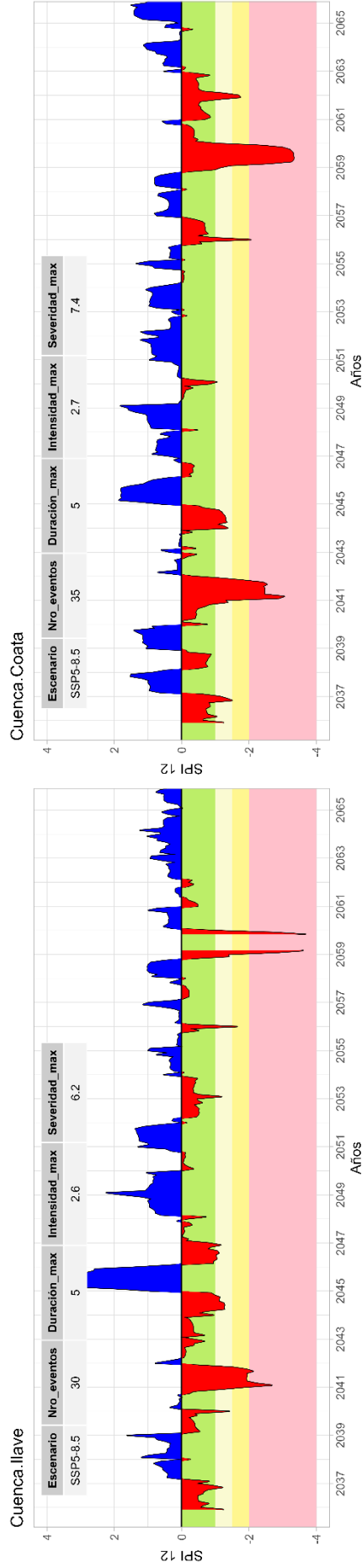




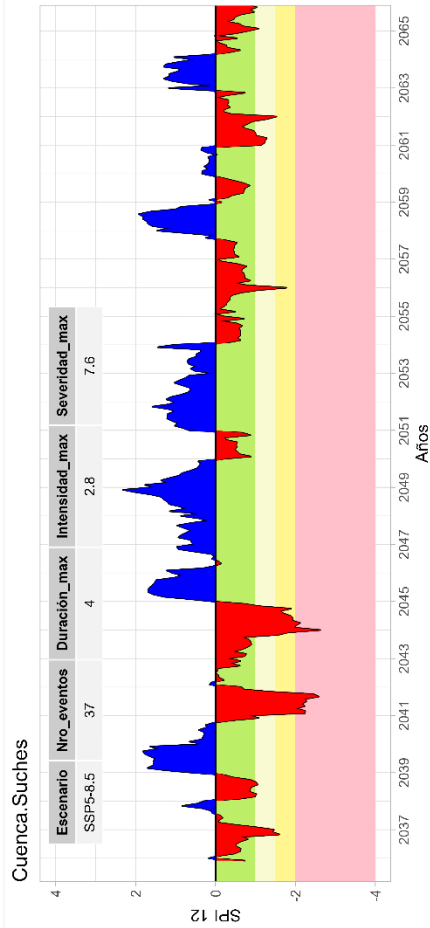
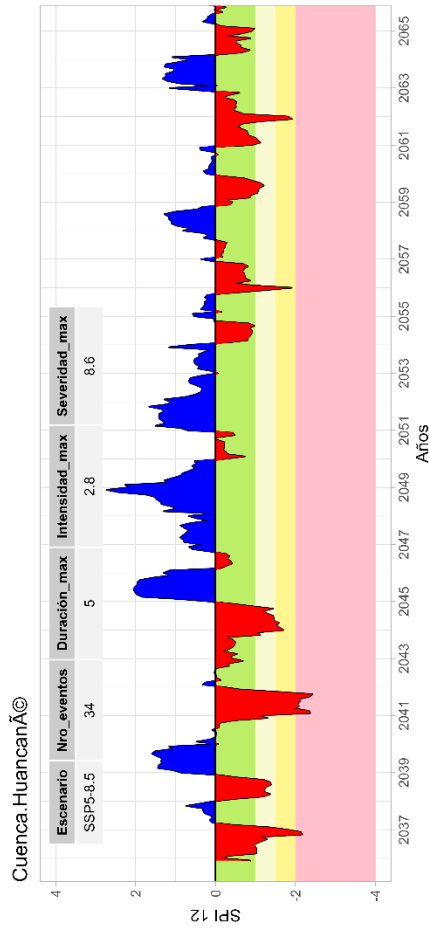
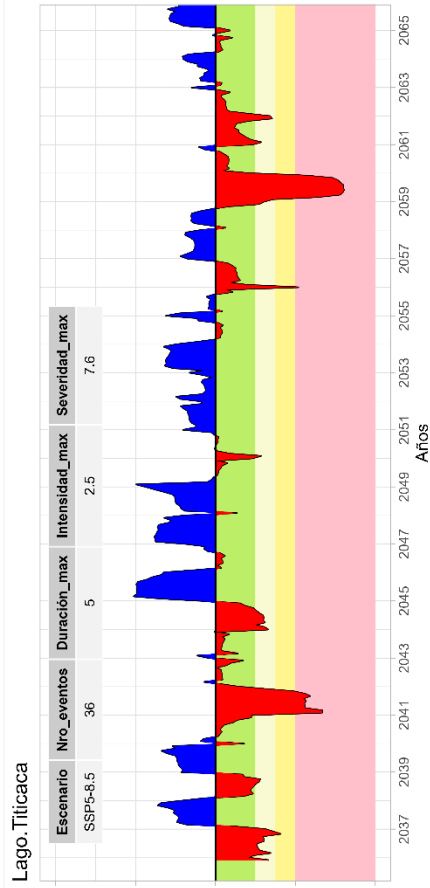
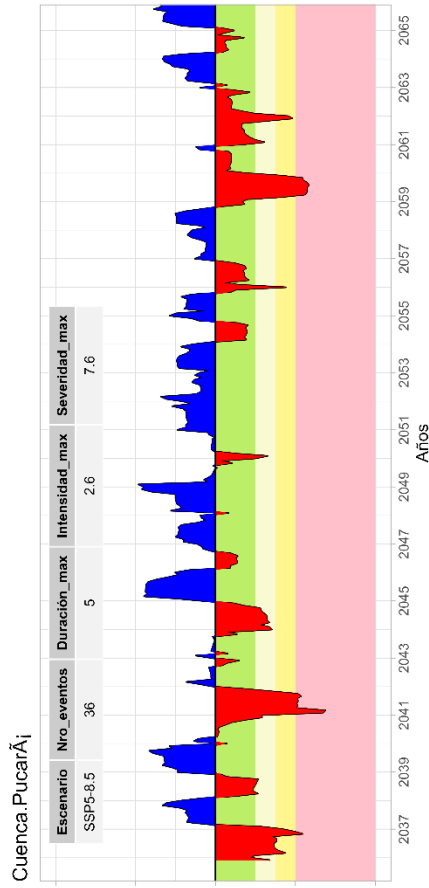


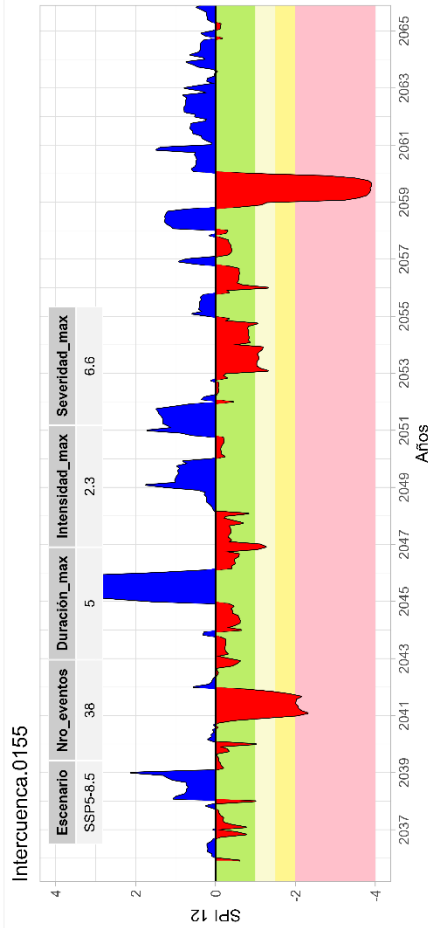
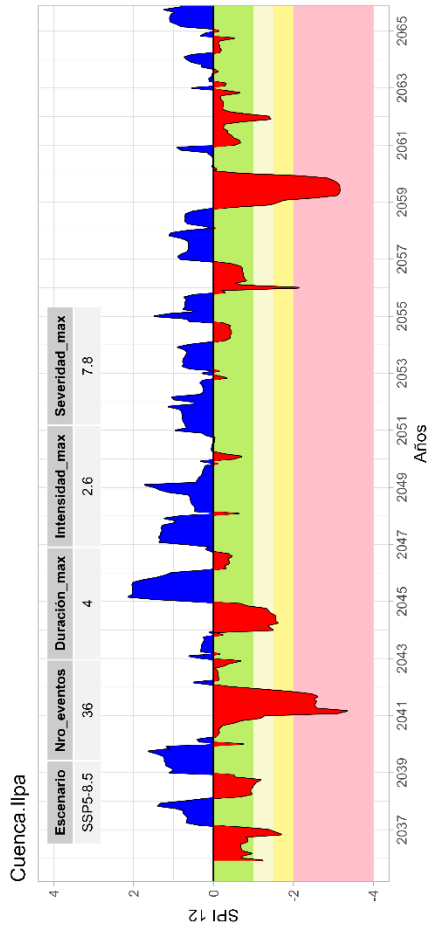
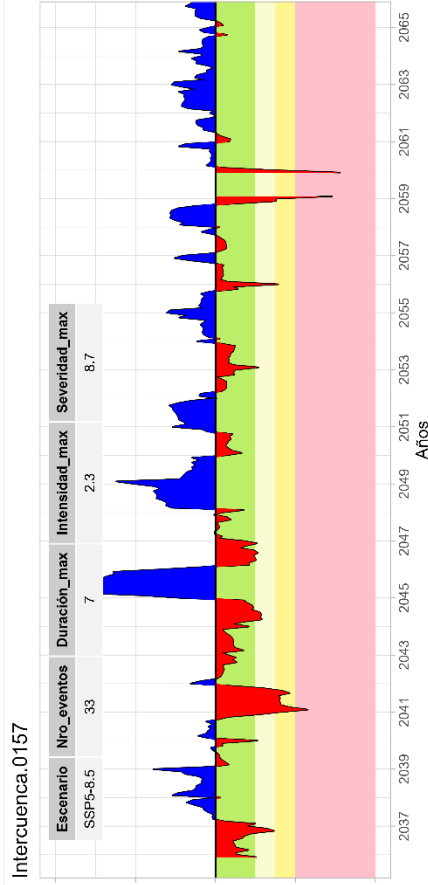
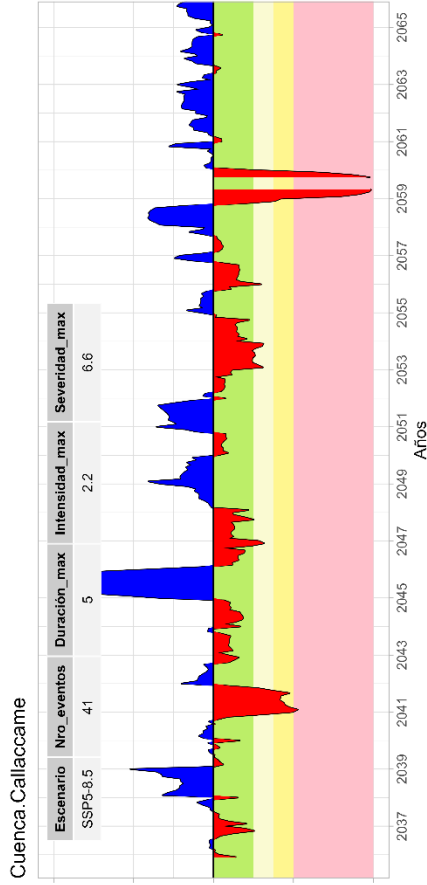


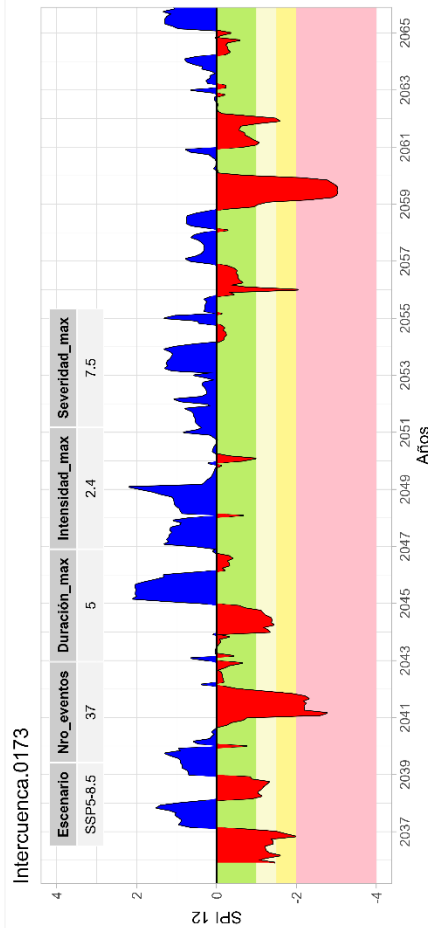
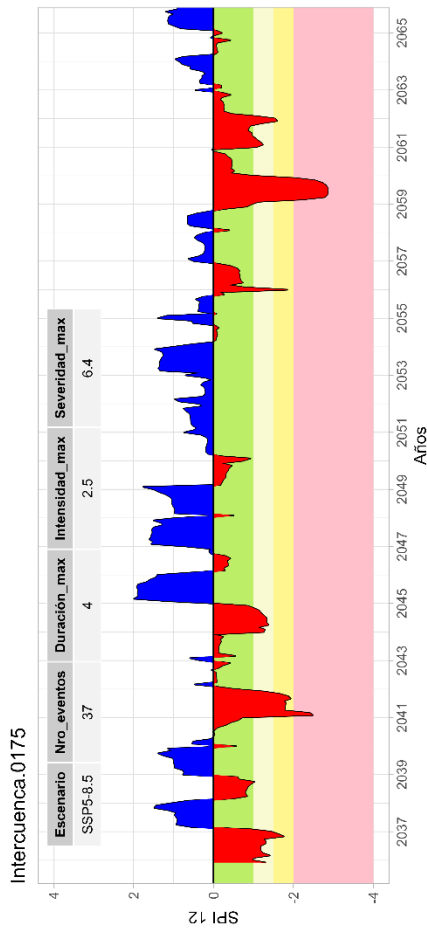
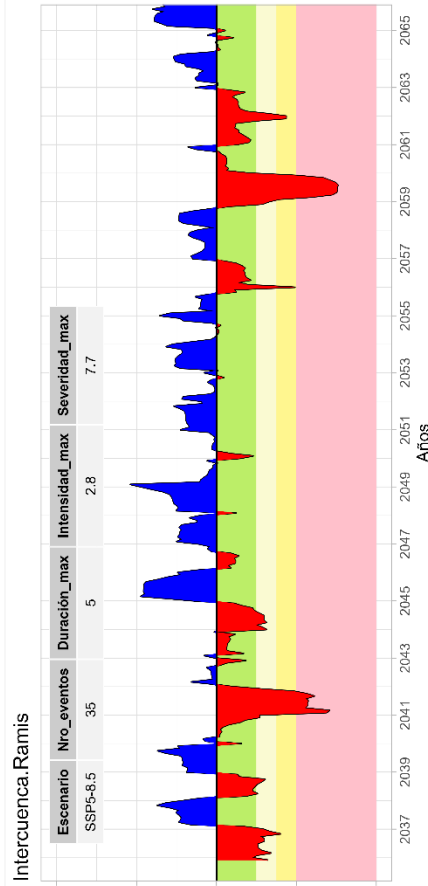
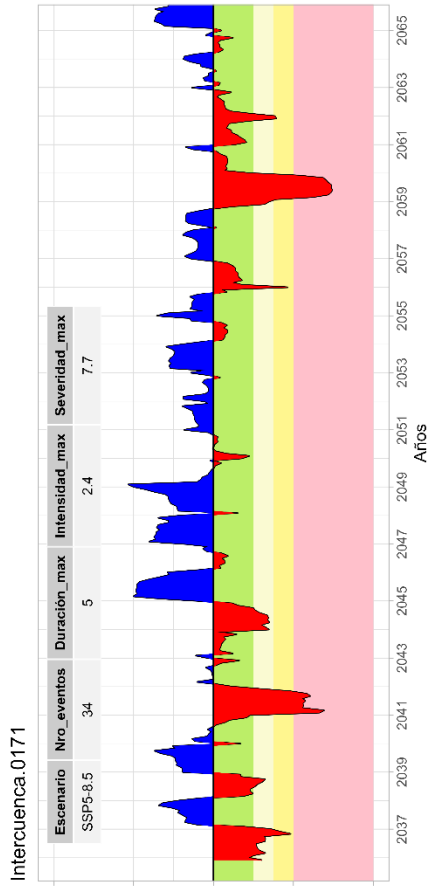
**ANEXO T: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 12 PARA EL PERIODO DE 2035 – 2065 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP5-8.5  
PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA**

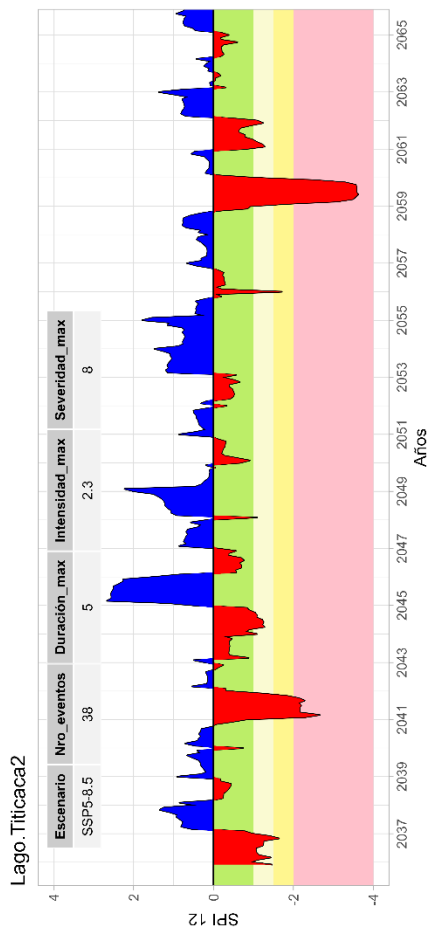




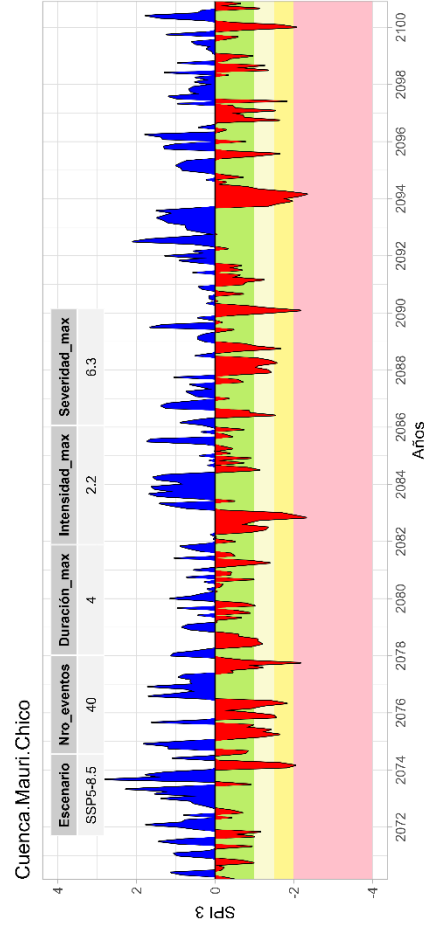
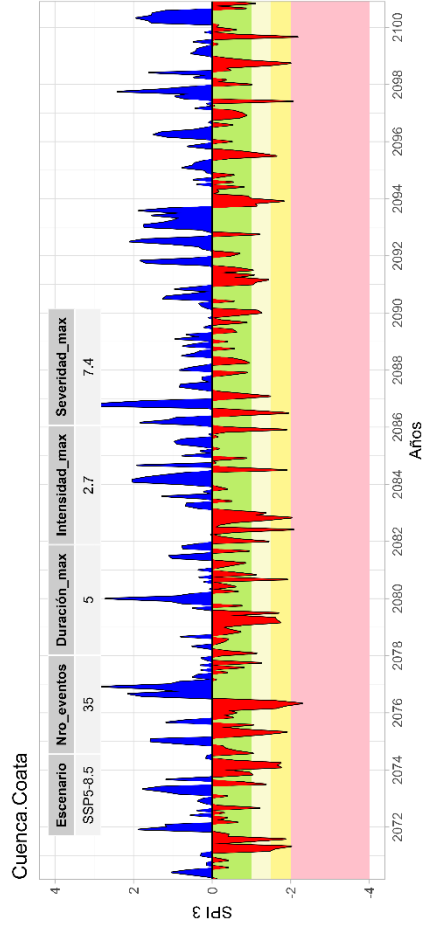
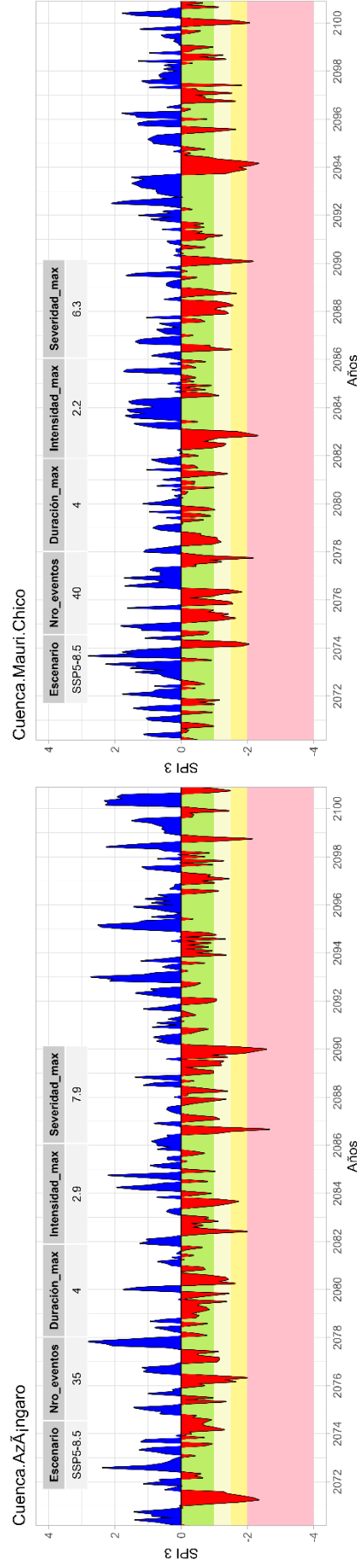
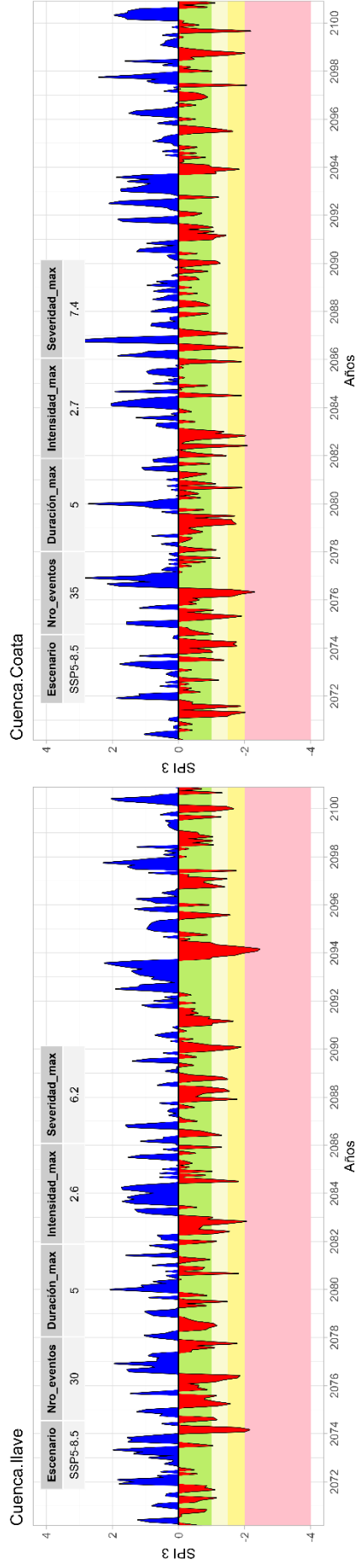


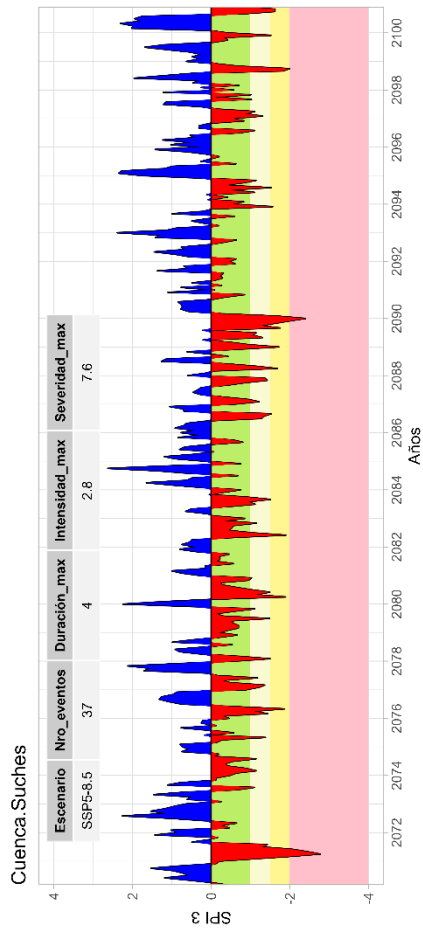
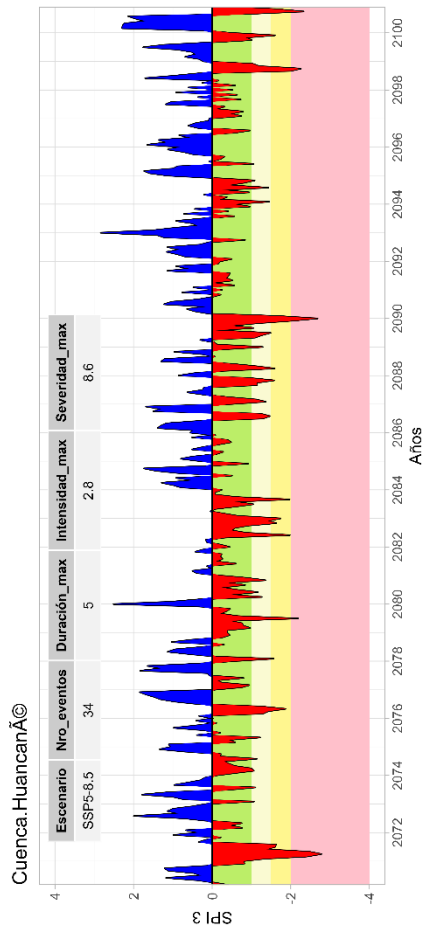
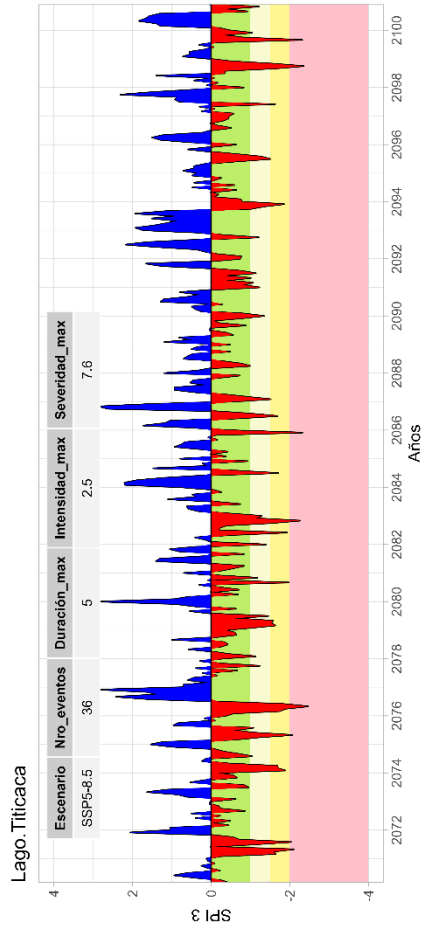
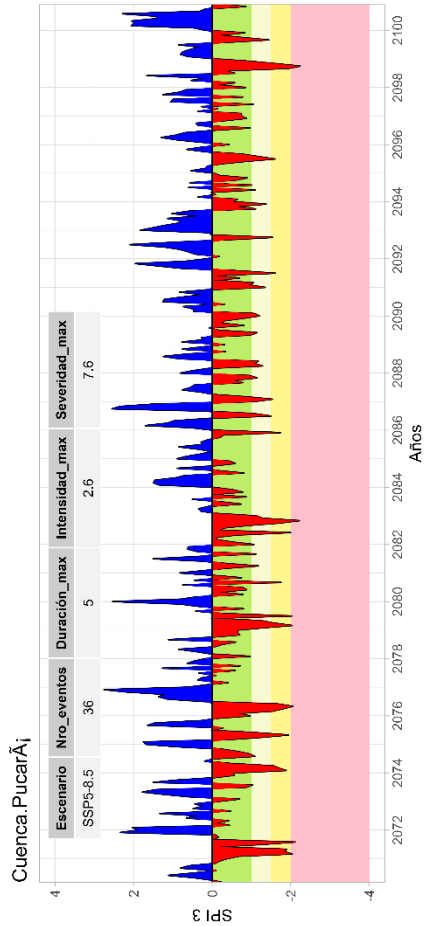


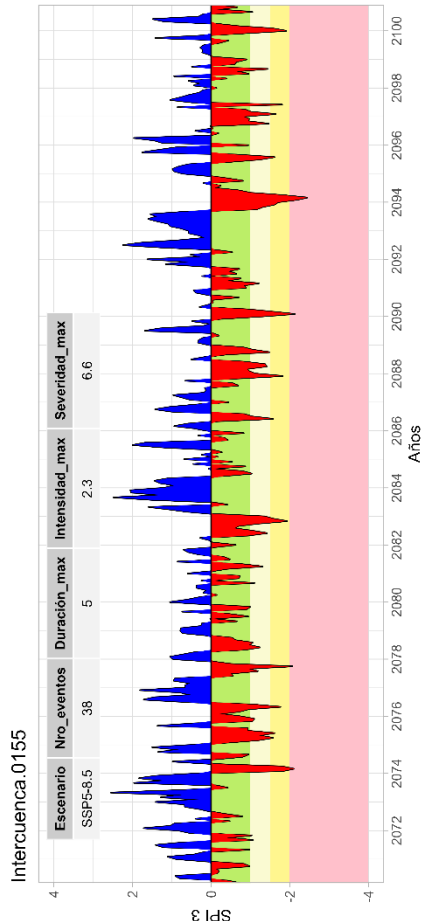
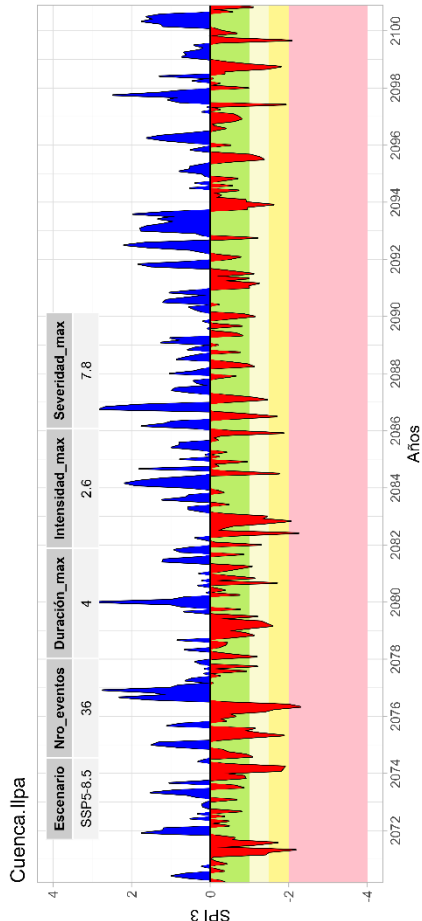
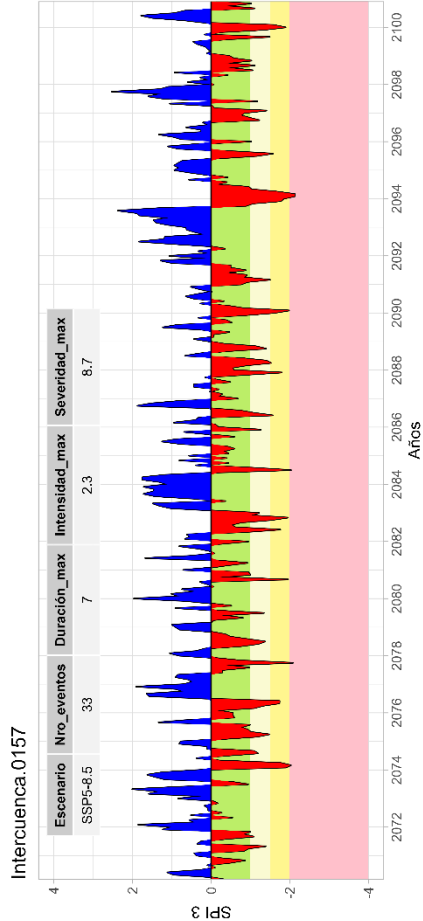
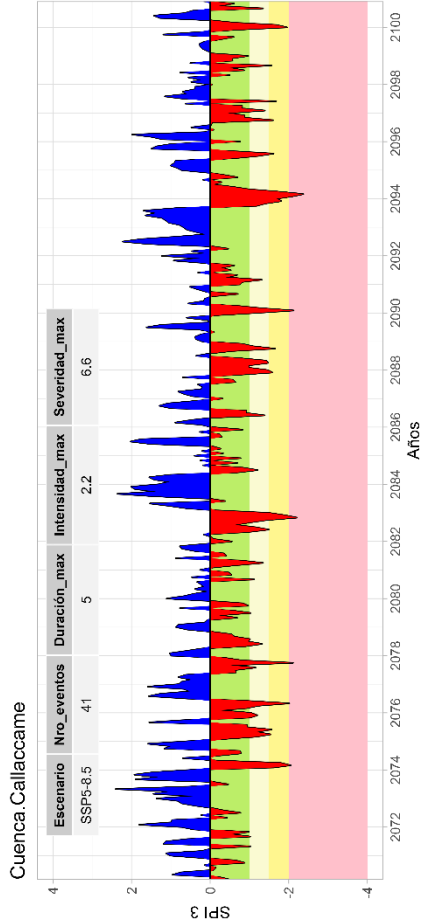


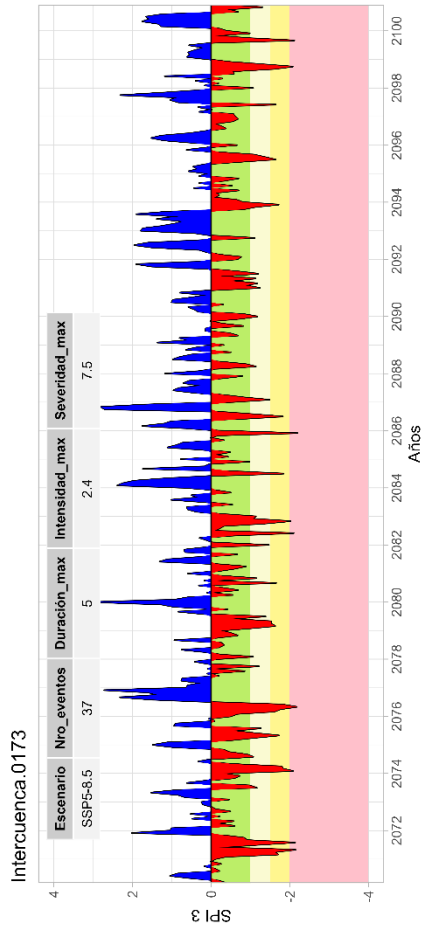
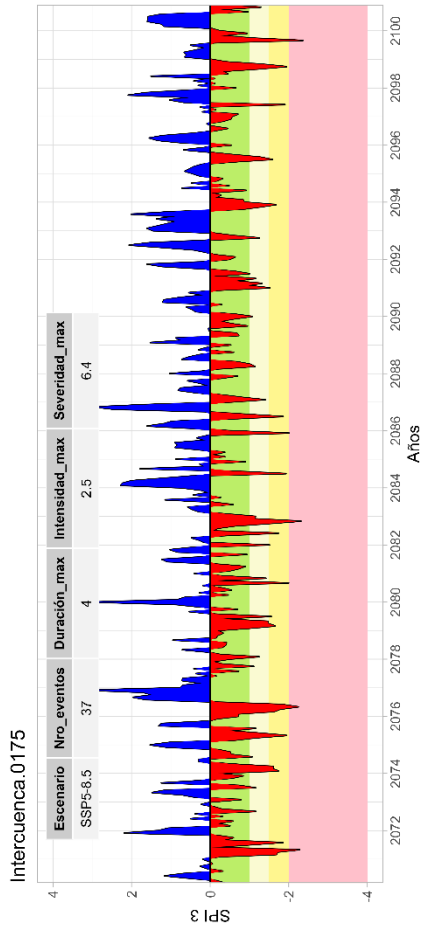
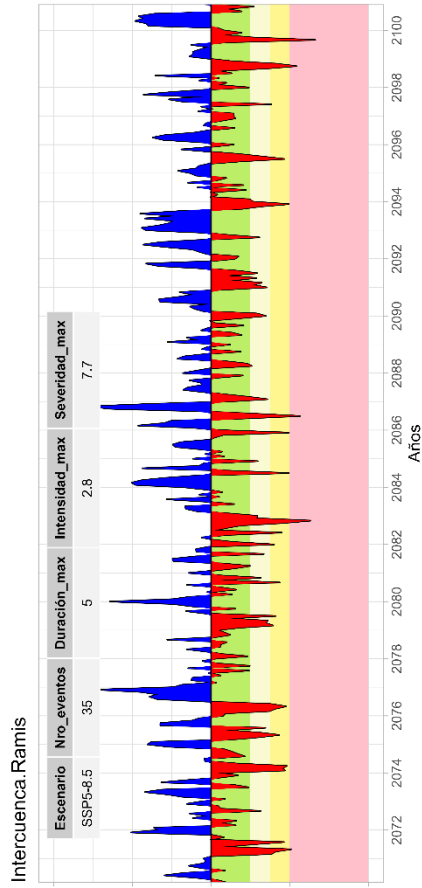
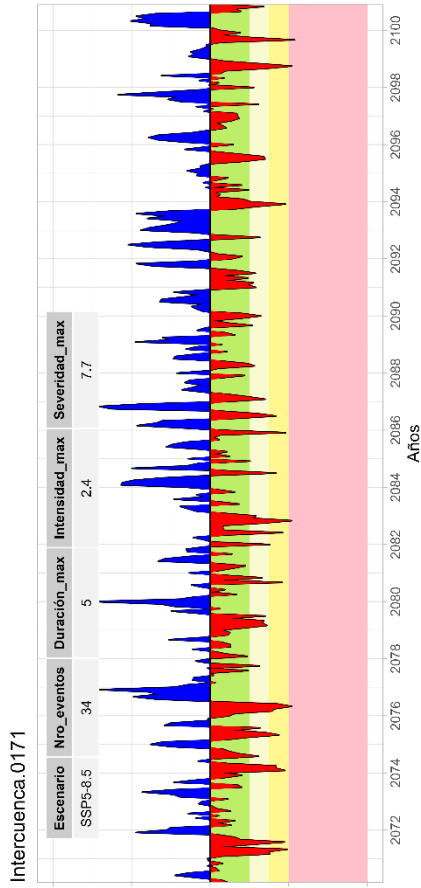


## ANEXO U: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 3 PARA EL PERIODO DE 2070 - 2100 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP5-8.5 PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA

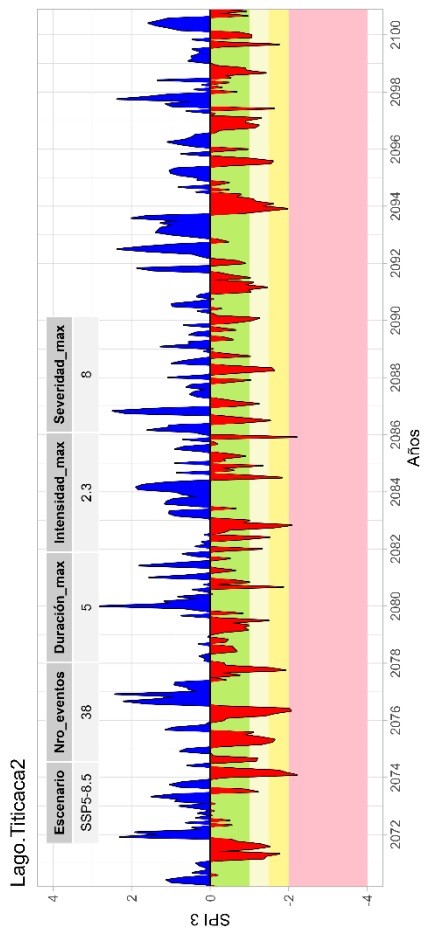




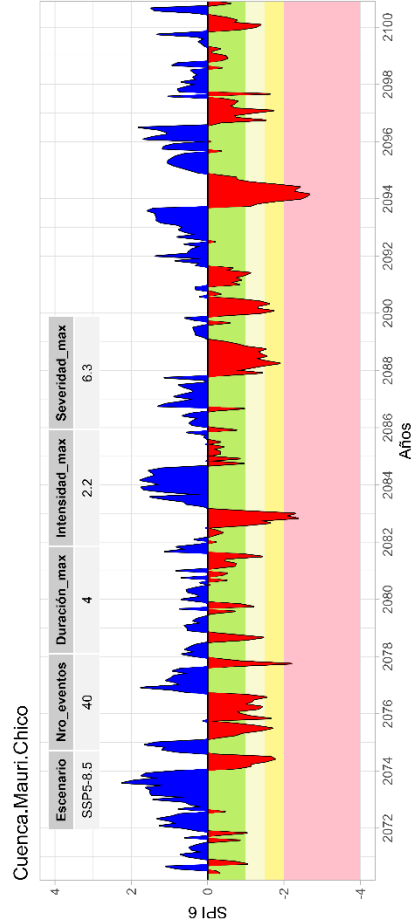
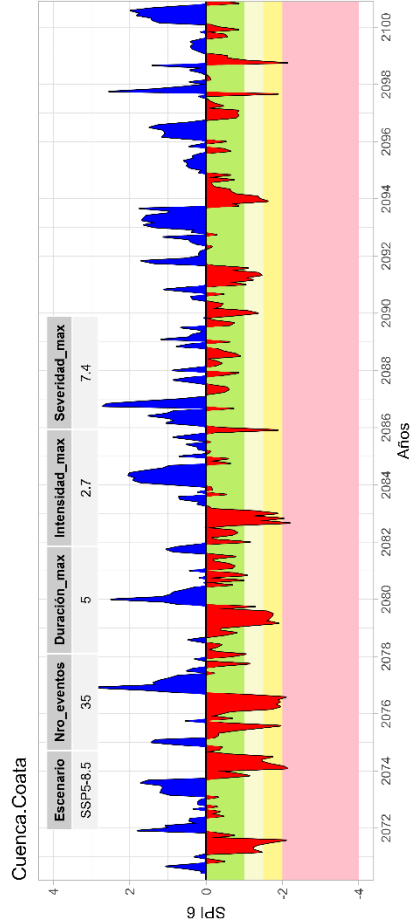
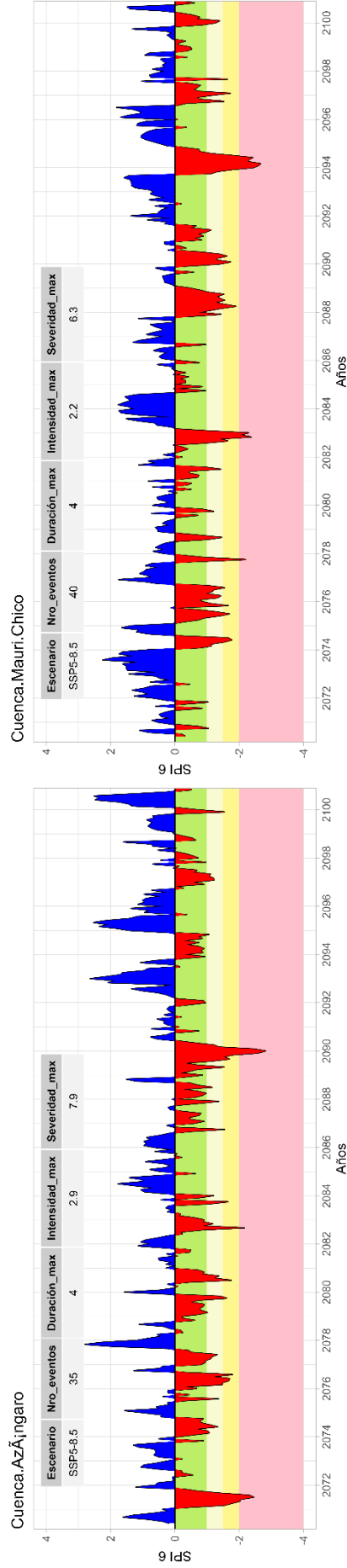
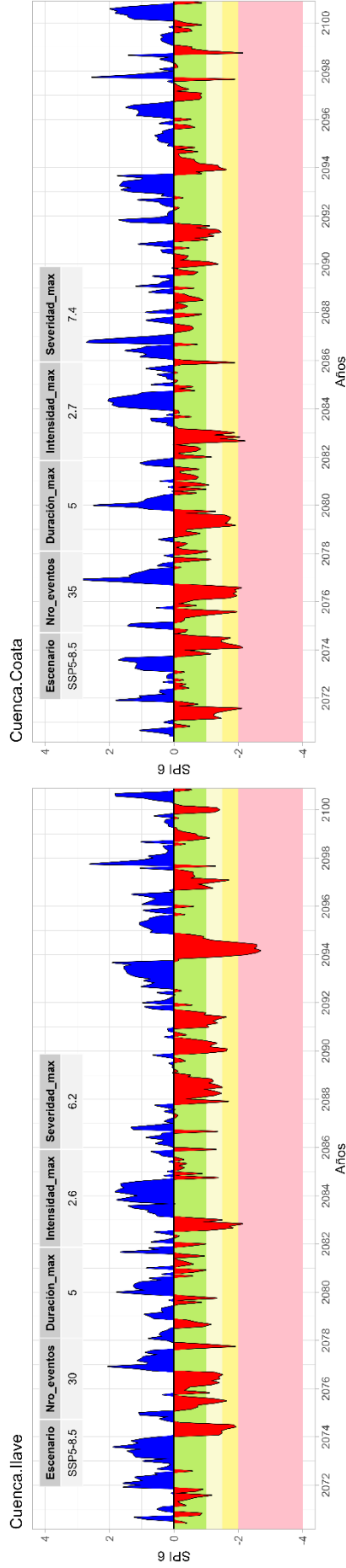


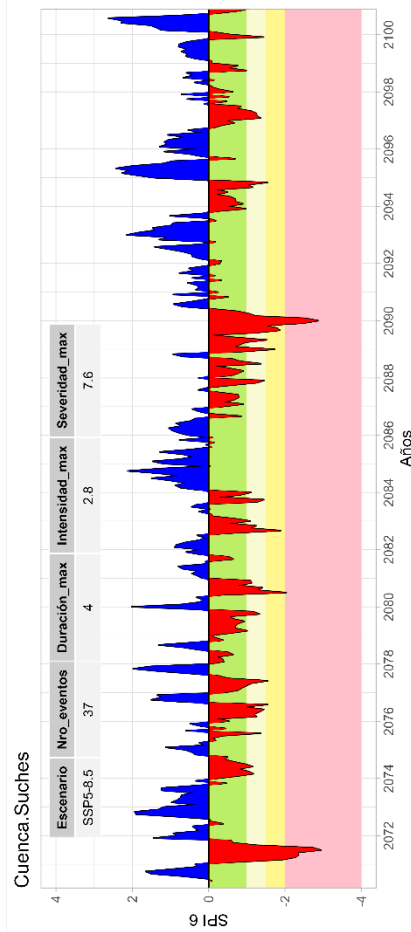
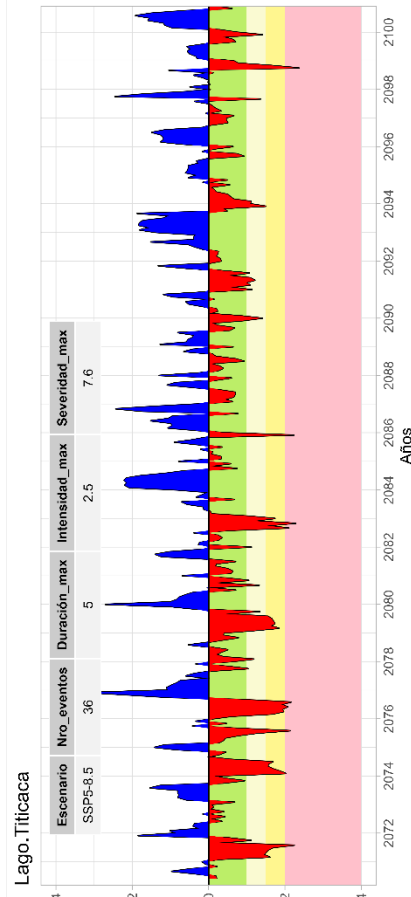
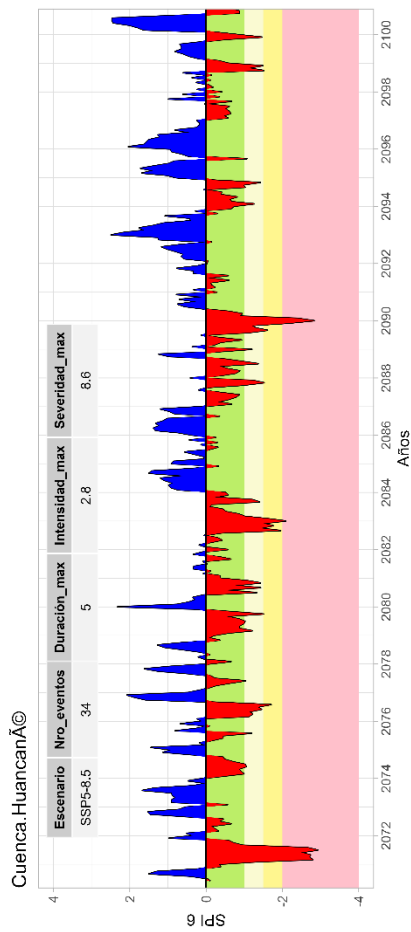
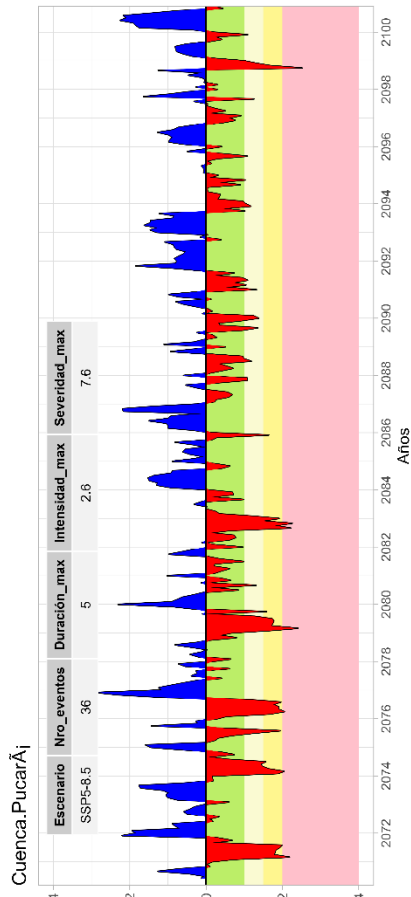


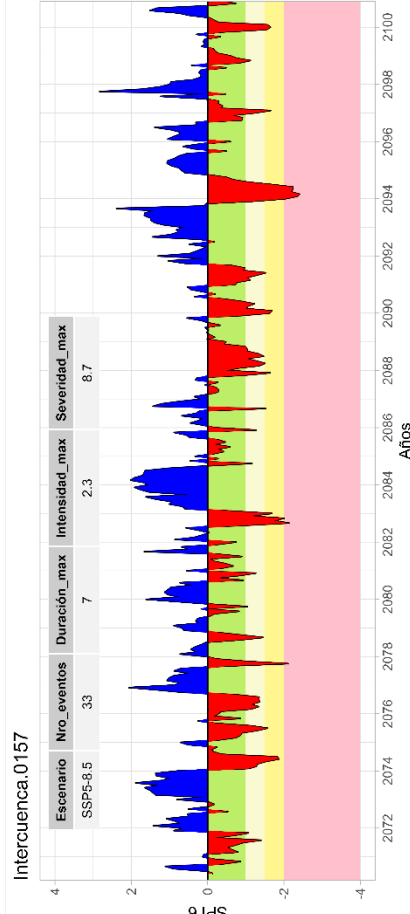
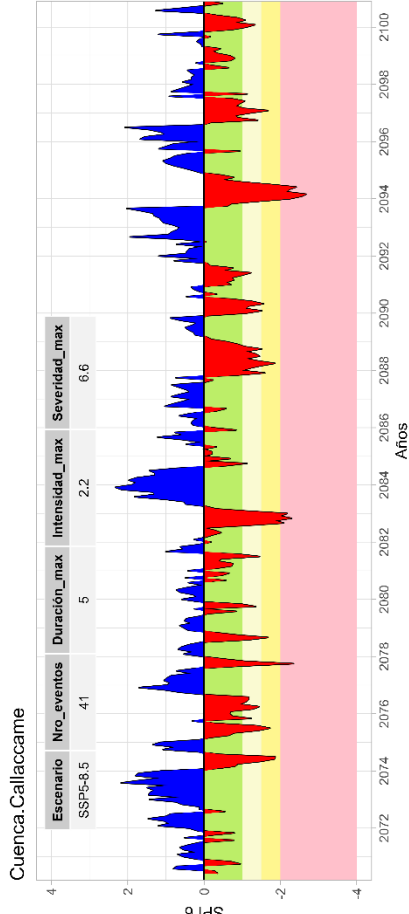
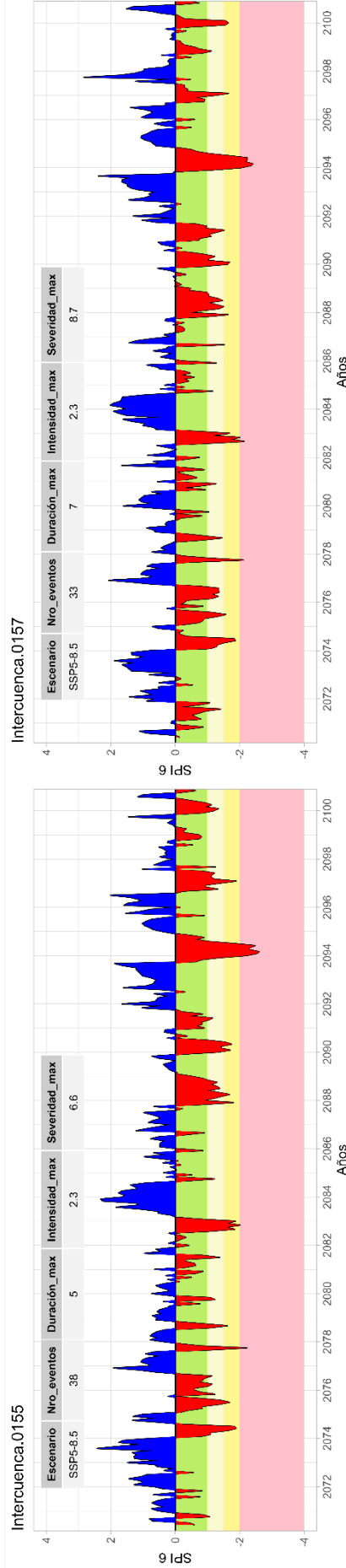
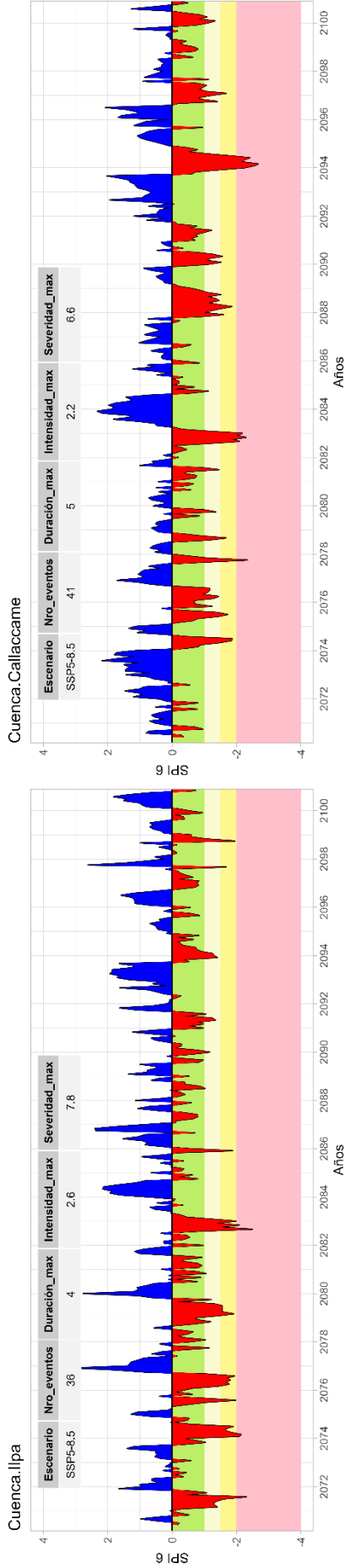


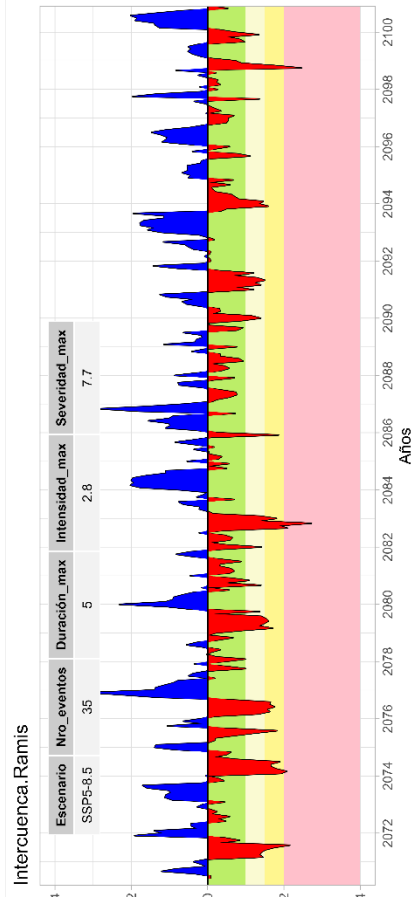
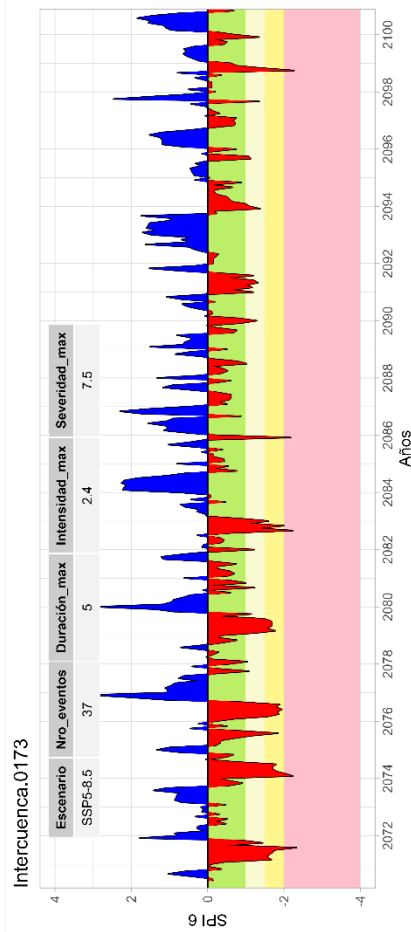
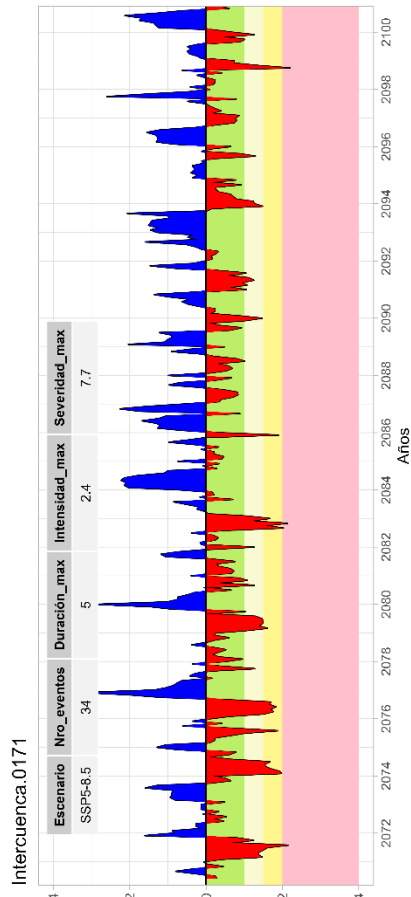
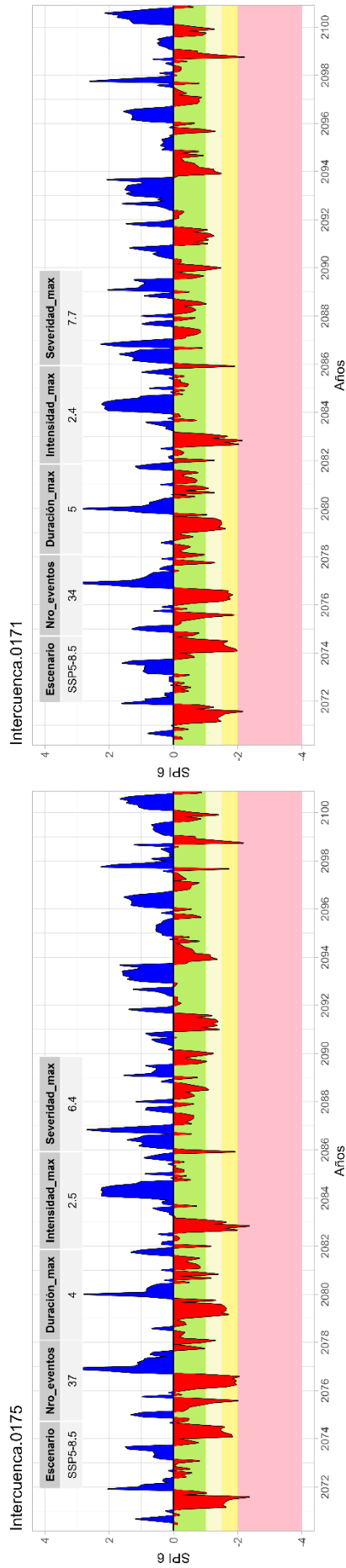


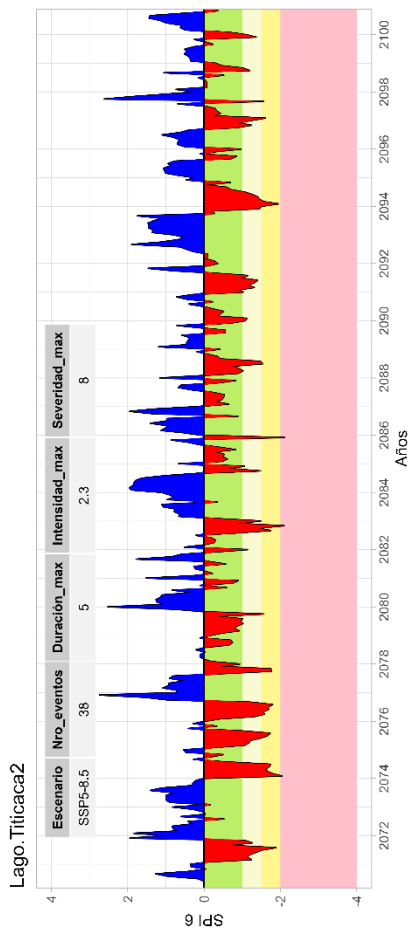
## ANEXO V: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 6 PARA EL PERIODO DE 2070 - 2100 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP5-8.5 PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA



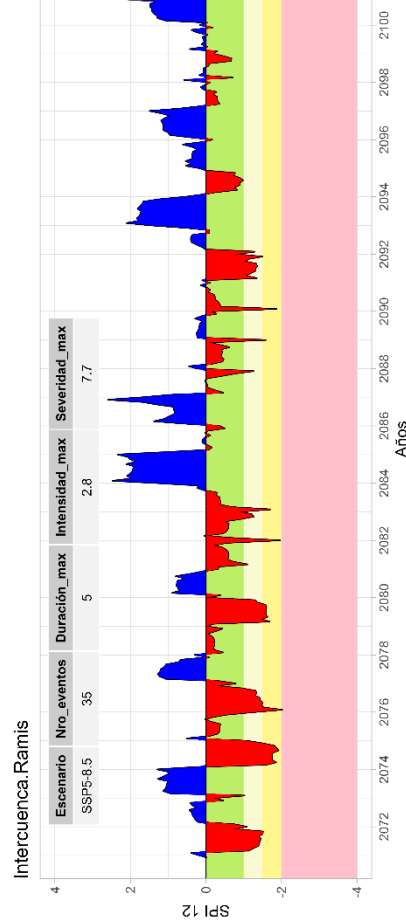
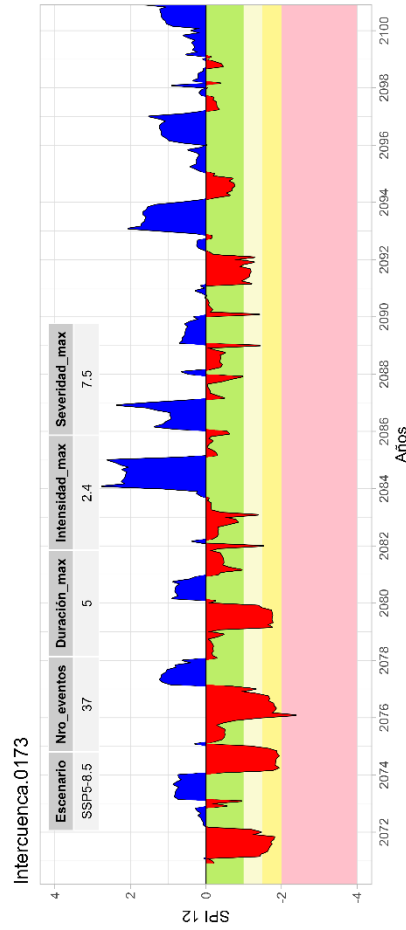
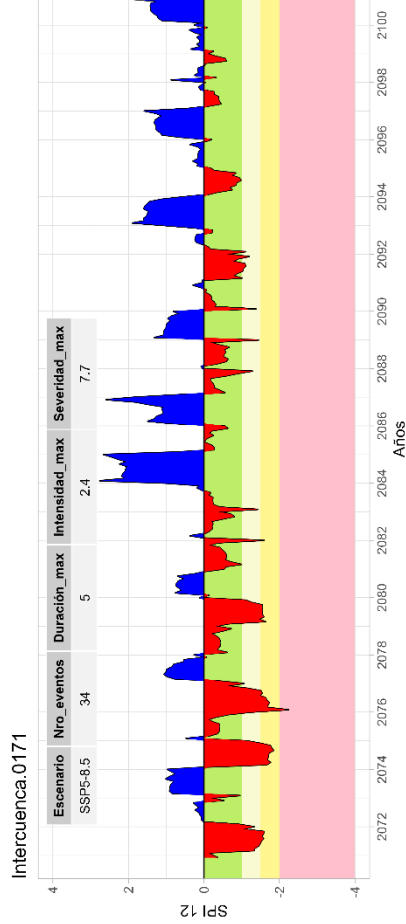
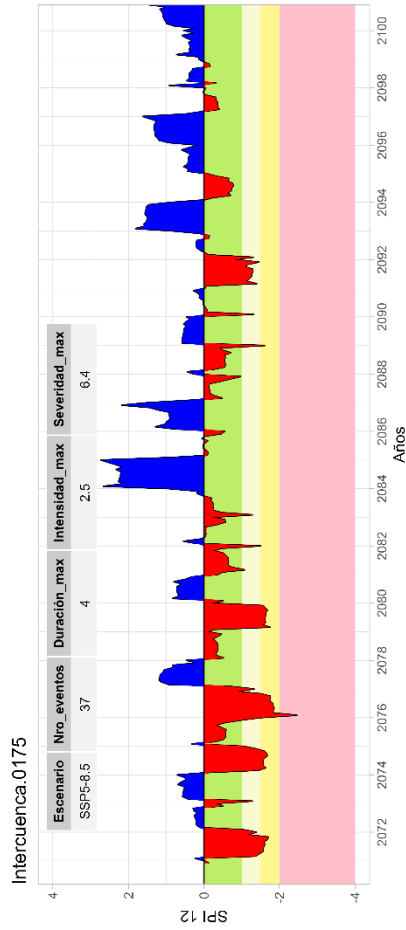


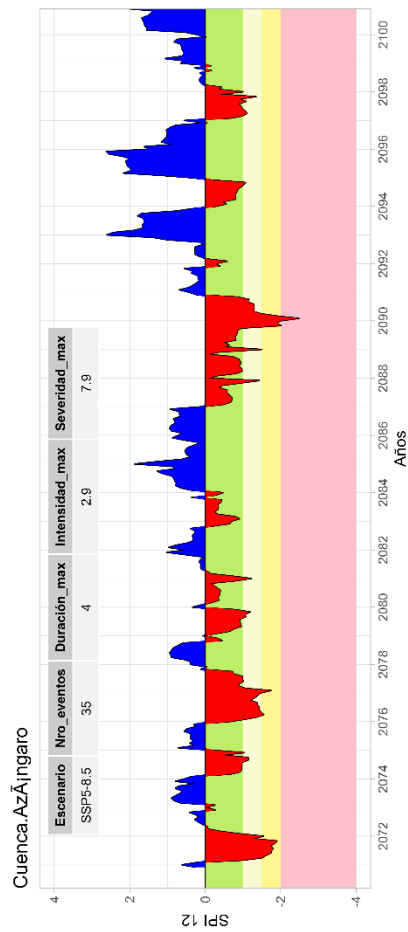
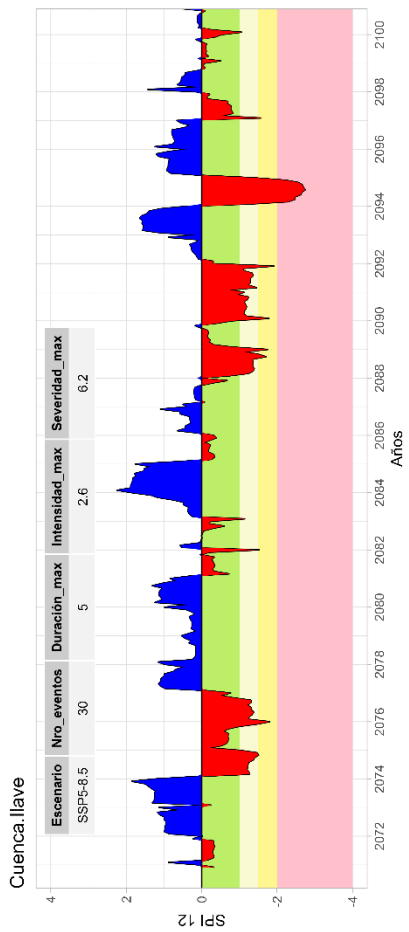
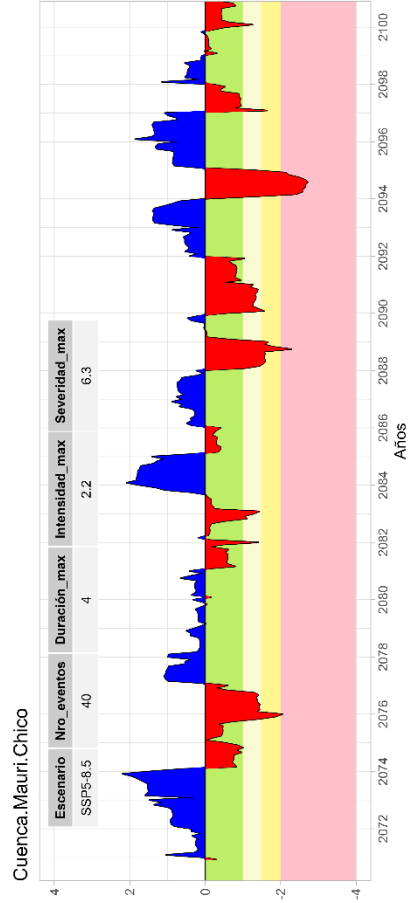
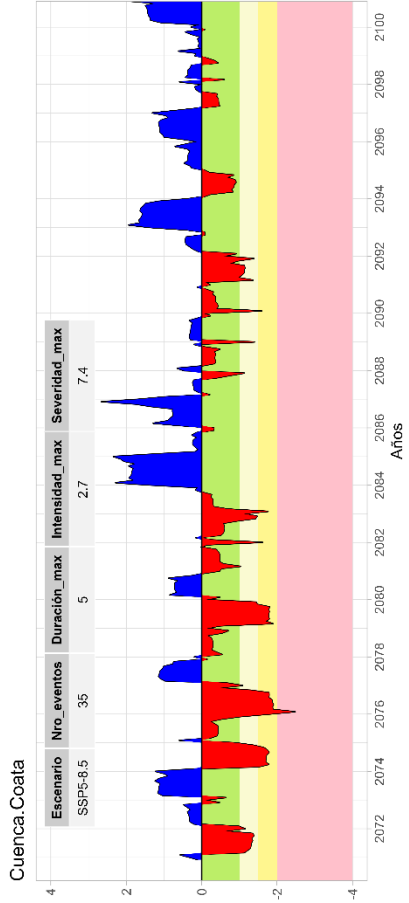




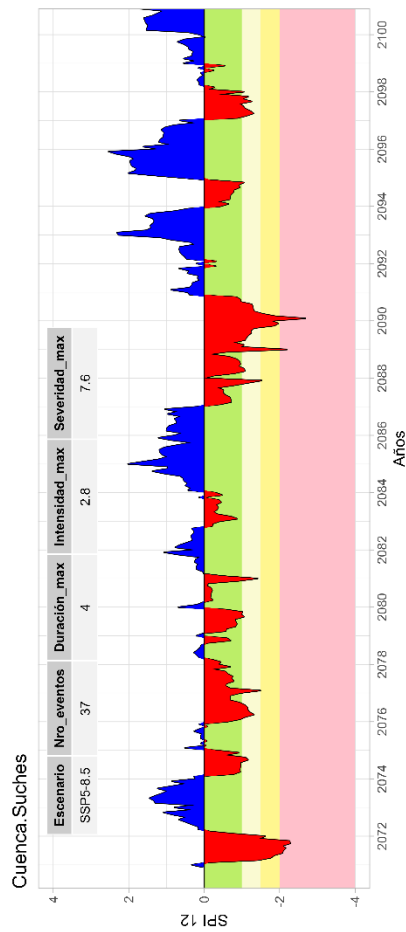
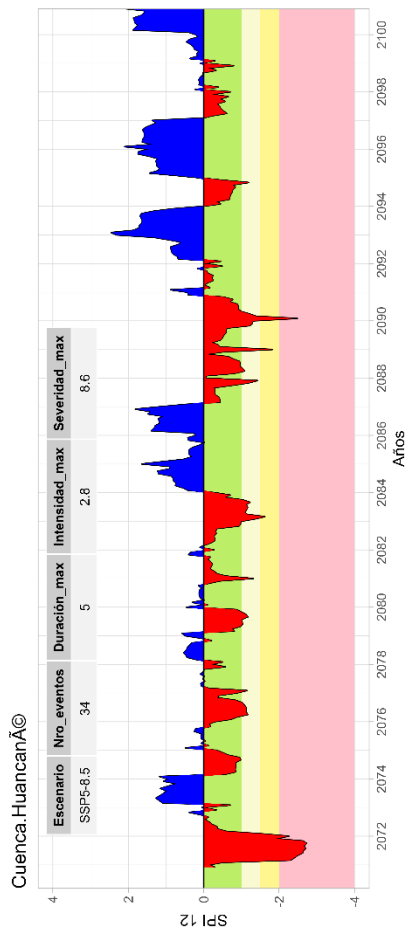
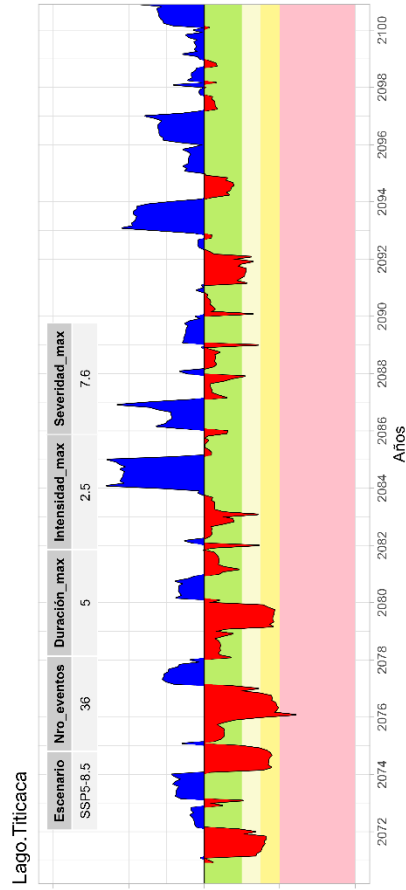
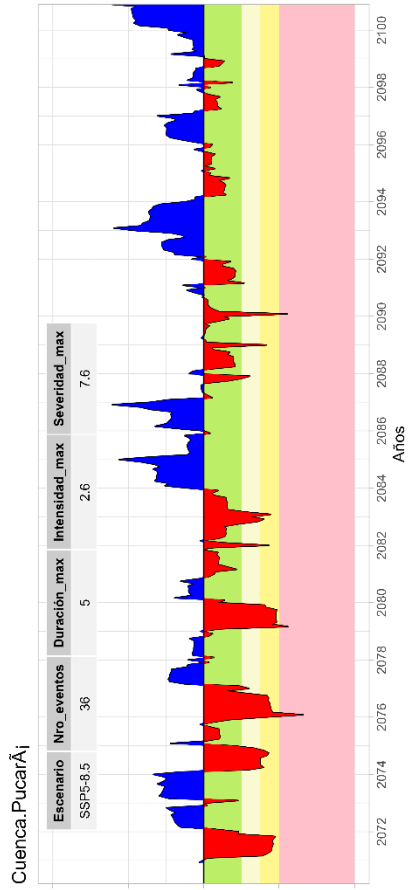


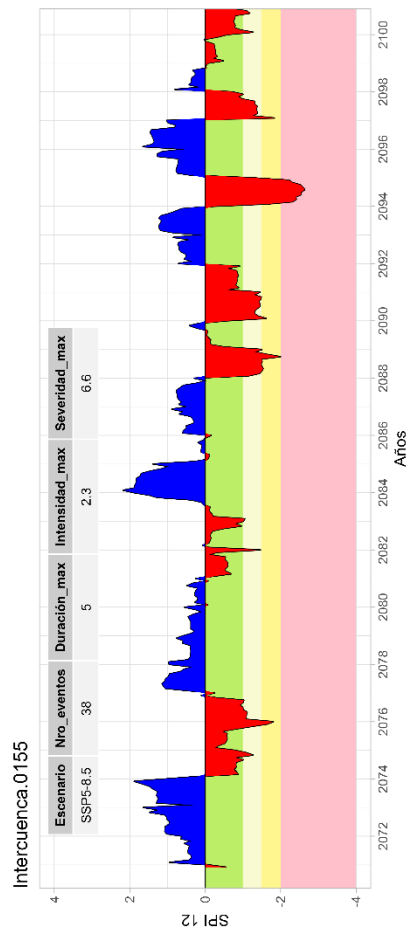
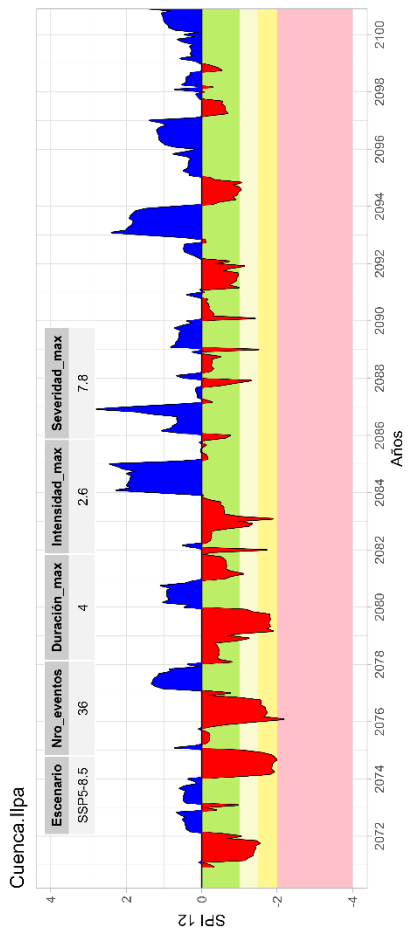
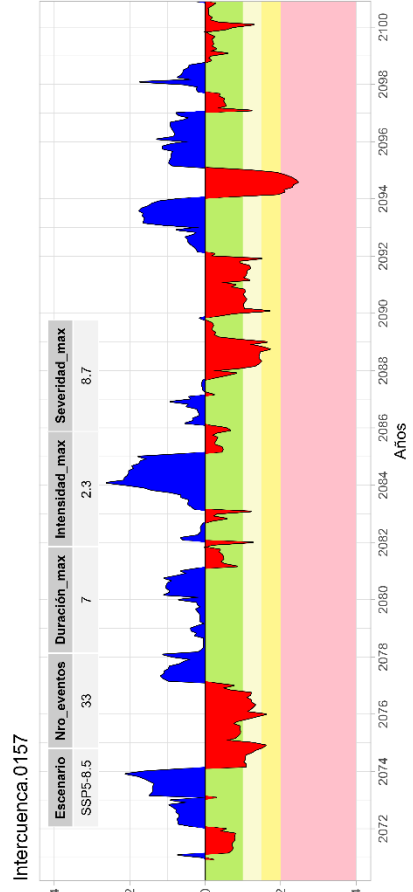
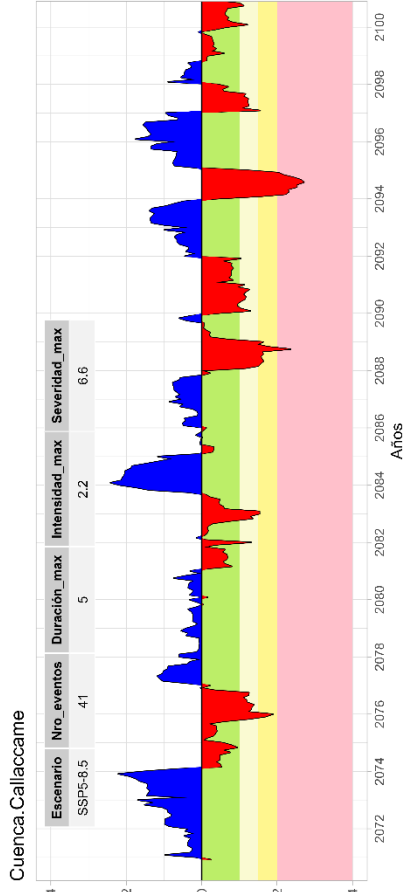
## ANEXO W: ANALISIS DE SEQUIAS DEL SPI 12 PARA EL PERIODO DE 2070 - 2100 EN EL ESCENARIO DE EMISION SSP5-8.5 PARA LAS 17 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA VERTIENTE DEL TITICACA0

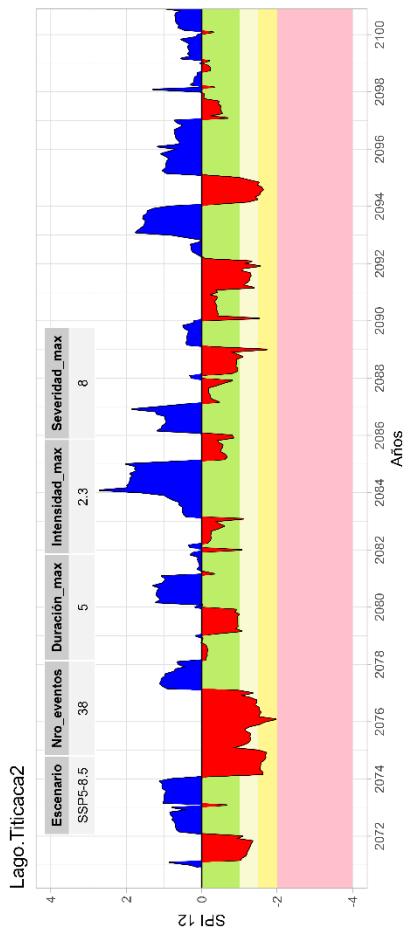














### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo MASHEK MIREYDA HUARACHA MAHANI,  
identificado con DNI 70205083 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRÍCOLA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS  
SEQUIAS EN LAS CUENCAS DE LA UERTIENTE HIDROGRÁFICAS DEL  
TITICACA"

Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 24 de ENERO del 20 24

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo MASHELB MIREYDA HUARACHA MAHANI,  
identificado con DNI 70205083 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRICOLA,  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO SOBRE LAS  
SEQUIAS EN LAS CUENCAS DE LA VERTIENTE HIDROGRÁFICAS DEL  
TITICACA. ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 24 de ENERO del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella