

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE SEQUÍAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE
PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO (SPI) Y EL ÍNDICE
DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE PRECIPITACIÓN
ESTANDARIZADO (SPEI) EN LA PROVINCIA DE JAÉN**

Autor: Bach. Alex Lelis Altamirano Fernandez

Asesor: Ph.D. Jaris Emmanuel Veneros Guevara

Registro:

CHACHAPOYAS - PERÚ

2024

DEDICATORIA

Esta investigación es dedicada a mis padres, cuyo amor, apoyo y sacrificios han sido la base de mi éxito académico. Su constante aliento y ejemplo me han motivado a alcanzar mis metas.

Alex Lelis Altamirano Fernandez

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, profesores, personal administrativo y compañeros de estudio que han contribuido a mi formación académica. Su dedicación, conocimiento y apoyo han sido esenciales en mi desarrollo como estudiante.

A mis amigos y familiares por su invaluable apoyo y ayuda durante la realización de mi tesis. Su constante respaldo, aliento y comprensión han sido fundamentales en este camino. Estoy verdaderamente agradecido por tenerlos a mi lado y en mi vida.

A mi asesor, Ph.D. Jaris Emmanuel Veneros Guevara, quién me brindó orientación en los aspectos metodológicos para llevar a cabo mi proyecto e informe de tesis

Alex Lelis Altamirano Fernandez

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

RECTOR

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Ph.D. RICARDO EDMUNDO CAMPOS RAMOS

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

VISTO BUENO DEL ASESOR



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

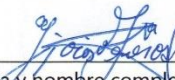
ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

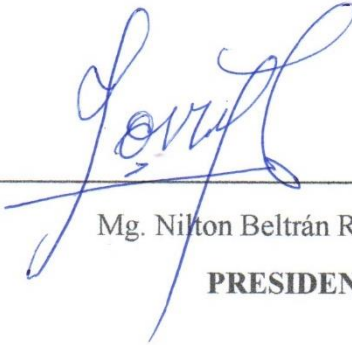
El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Análisis de Seguias utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Evapotranspiración de Precipitación Estandarizado (SPEI) en la Provincia de Jaén del egresado Alex Lelis Altamirano Fernandez de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 05 de Septiembre de 2024

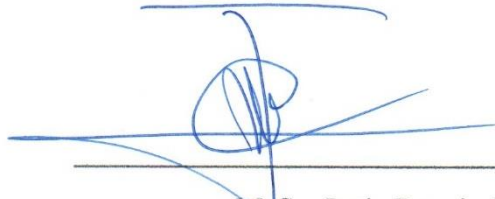

Firma y nombre completo del Asesor
Janis Emmanuel Veneros Guevara

JURADO EVALUADOR



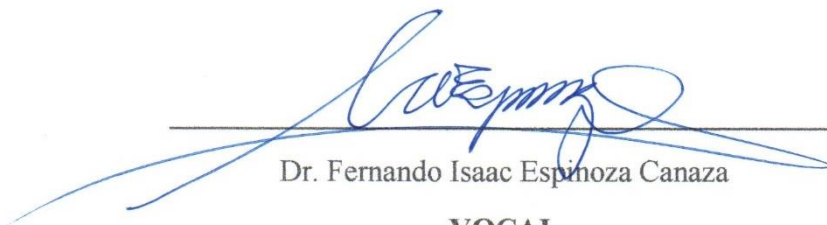
Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño

PRESIDENTE



M. Sc. Jesús Rascón Barrios

SECRETARIO



Dr. Fernando Isaac Espinoza Canaza

VOCAL

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Análisis de series utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Evapotranspiración de Precipitación Estandarizado (SPEI) en la Provincia de Jaén.

presentada por el estudiante ()/egresado (X) Alex Lelis Alhamirano Fernandez

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional 7147533031@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 19 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 26 de Febrero del 2024


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

REPORTE TURNITIN

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	18%	9%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	droughtmonitor.unl.edu Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.senamhi.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	revistatyca.org.mx Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.igp.gob.pe Fuente de Internet	<1%
9	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1%

Wilson B. Rojas Bascans
WILSON B. ROJAS BASCANS
DNI: 72648444

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGlamento GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 7 de MARZO del año 2024, siendo las 3:30 horas, el aspirante: ALEX CELIS ALTA MIRANO FERNANDEZ, asesorado por PH. D. JAZIS EMMANUEL VENEROS GUEVARA defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: ANÁLISIS DE SEQUÍAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO (SPI) Y EL ÍNDICE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO (SPEI) EN LA ZONA DE SAEN, para obtener el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Mg. NILTON BELTRÁN ZOJAS BRICEÑO

Secretario: M. SC. JESÚS ZACÓN BARRIOS

Vocal: DR. FERNANDO ISAAC ESPINOZA CANAZA



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 3:55 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

SECRETARIO

VOCAL

PRESIDENTE

OBSERVACIONES:
.....

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	v
JURADO EVALUADOR.....	vi
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD	vii
REPORTE TURNITIN.....	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	ix
ÍNDICE.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN	15
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	19
2.1. Área de estudio.....	19
2.2. Diseño metodológico	20
2.3. Descarga de Datos.....	20
2.4. Corrección de Datos Climatológicos	20
2.5. Cálculo de Índices y Análisis de Datos	22
III. RESULTADOS	24
3.1. Distribución de Datos climáticos.	24
3.2. Corrección de datos climáticos.	27
3.3. Cálculo de SPI y SPEI.....	32
3.4. Evaluación de SPI y SPEI.....	40
IV. DISCUSIÓN	44
V. CONCLUSIONES	46
VI. RECOMENDACIONES.....	46
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de prueba T de “student”	22
Tabla 2. Clasificación de la sequía por valores de SPI y SPEI	23
Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson del SPI – SPEI	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la provincia de Jaén.....	19
Figura 2. Flujograma metodológico utilizado para evaluar las sequías de la provincia de Jaén Cajamarca (Perú)	20
Figura 3. Distribución de estaciones meteorológicas en la provincia de Jaén.....	21
Figura 4. Distribución de la precipitación diaria para el periodo 1981-2016, según datos PISCO.	24
Figura 5. Distribución de la Temperatura máxima diaria (C°) para el periodo 1981-2016, según datos PISCO	24
Figura 6. Distribución de la Temperatura mínima diaria (C°) para el periodo 1981-2016, según datos PISCO	25
Figura 7. Climograma de la provincia de Jaén basado en los datos PISCO	26
Figura 8. Climograma de cada estación meteorológica de la provincia de Jaén	27
Figura 9. Corrección de datos con la estación meteorológica Cascarilla.	28
Figura 10. Corrección de datos con la estación meteorológica Chontalí.	29
Figura 11. Corrección de datos con la estación meteorológica El Limón.	30
Figura 12. Corrección de datos con la estación meteorológica Sallique.	31
Figura 13. SPI 3, 6, 12 y 24 para la EM Cascarilla	32
Figura 14. SPEI 3, 6, 12 y 24 para la EM Cascarilla.....	33
Figura 15. SPI 3, 6, 12 y 24 para la EM Chontalí.....	34
Figura 16. SPEI 3, 6, 12 y 24 para la EM Chontalí	35
Figura 17. SPI 3, 6, 12 y 24 para la EM EL Limón.....	36
Figura 18. SPEI 3, 6, 12 y 24 para la EM El Limón.....	37
Figura 19. SPI 3, 6, 12 y 24 para la EM Sallique	38
Figura 20. SPEI 3, 6, 12 y 24 para la EM Sallique.....	39
Figura 21. Correlación de SPI e SPEI 3, 6, 12 y 24 Chontalí.....	40
Figura 22. Correlación de SPI e SPEI 3, 6, 12 y 24 Cascarilla	41
Figura 23. Correlación de SPI e SPEI 3, 6, 12 y 24 El Limón	42
Figura 24. Correlación de SPI e SPEI 3, 6, 12 y 24 Sallique	43

RESUMEN

En esta investigación se realizó un análisis temporal y espacial de la sequía en la provincia de Jaén para el periodo de 1981 a 2016. Para lo cual se determinaron los niveles de sequías utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el índice de Evapotranspiración de Precipitación Estandarizado (SPEI). Para comenzar se recopilamos series históricas de datos desde 1981 hasta el 2016 de precipitación, temperaturas máximas y mínimas de la provincia de Jaén, de la base de datos PISCO (Peruvian Interpolated Data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations). Posteriormente se realizó un análisis estadístico con la prueba T de "student", para proceder a la corrección de datos con ayuda de cuatro estaciones presentes en la provincia (Sallique, Chontalí Cascarilla y El Limón) el cual nos permite eliminar datos atípicos existentes. Seguidamente se analizaron en escalas temporales de 3, 6, 12 y 24 meses. Como resultado el nivel de sequía mediante SPI – SPEI en la provincia de Jaén, se obtuvo que los años con sequía severa y extrema fueron los años 1985-1989, 1995-1988, 2003-2006, 2010-2012 y 2016 teniendo una relación directa con los años en los cuales ocurrió el fenómeno del niño registradas en (1982, 1997 y 2015-2016). Finalmente, con los datos corregidos se muestran los resultados del coeficiente de correlación Pearson, siendo mayor a 0.9 para las cuatro estaciones meteorológicas, es decir existe una buena correlación entre SPI – SPEI.

Palabras clave: análisis estadístico, correlación, sequía, SPEI, SPI.

ABSTRACT

In the present investigation, a temporal and spatial analysis of the drought in the province of Jaén was carried out for the period from 1981 to 2016. For which the drought levels were determined using the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Evapotranspiration index. Standardized Precipitation Index (SPEI). To begin, historical data series from 1981 to 2016 of precipitation, maximum and minimum temperatures in the province of Jaén were collected from the PISCO database (Peruvian Interpolated Data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations). Subsequently, a statistical analysis was carried out with the “student” T test, to correct the data with the help of four stations present in the province (Sallique, Chontalí Cascarilla and El Limón), which allows us to eliminate existing atypical data. They were then analyzed on time scales of 3, 6, 12 and 24 months. As a result, the level of drought through SPI – SPEI in the province of Jaén, it was obtained that the years with severe and extreme drought were the years 1985-1989, 1995-1988, 2003-2006, 2010-2012 and 2016, having a direct relationship with the years in which the phenomenon of the child occurred recorded in (1982, 1997 and 2015-2016). Finally, with the corrected data, the results of the Pearson correlation coefficient are shown, being greater than 0.9 for the four meteorological stations, that is, there is a good correlation between SPI – SPEI.

Keywords: statistical analysis, correlation, drought, SPEI, SPI.

I. INTRODUCCIÓN

La sequía se caracteriza como un fenómeno climático adverso que genera una disminución significativa de la humedad en el suelo, y afecta negativamente el balance hídrico de los cultivos, debido a la escasez prolongada de precipitaciones (Liu et al., 2021). Las sequías tienen lugar en diversas zonas climáticas, sin embargo, sus atributos difieren significativamente de una región a otra (Zapana, 2019). Generalmente, las sequías pueden diferenciar según la escala temporal de evaluación, reportándose: 3-6, 12 y 24 meses, para evaluar los impactos de las sequías meteorológicas, hidrológicas y socioeconómicas (Yang y Xing, 2022).

Según Veneros y García (2022), definen lo siguiente, la sequía agrícola es el déficit de humedad en el metro superior del suelo, es decir, en la zona radicular, así también, la sequía meteorológica, que se debe a un déficit prolongado de precipitaciones y la sequía hidrológica está relacionada con niveles de aguas subterráneas, lagos y caudales por debajo de lo normal; pero otros autores sugieren clasificar a las sequías por su duración, magnitud, intensidad, severidad, extensión geográfica y frecuencia.

En las últimas décadas, se ha observado un aumento en la frecuencia, severidad y extensión de las sequías a nivel mundial, como consecuencia del cambio climático, lo cual ha amplificado los efectos negativos asociados a este fenómeno (Khan et al., 2020). Asimismo, el aumento y la distribución recurrente de la sequía han generado que sus repercusiones en la población y la biodiversidad sean ampliamente reconocidas como uno de los mayores desastres, debido a la magnitud de sus efectos (Olivares y Zingaretti, 2018)

Las sequías se distinguen de otros desastres naturales debido a su complejidad, incertidumbre y una serie de características adicionales. Estas particularidades dificultan el diseño de estrategias efectivas para su manejo y mitigación (Vargas y Paneque, 2019). En el ámbito continental, se han realizado diversos esfuerzos para hacer frente a las sequías, los cuales abarcan desde informes y estudios hasta investigaciones. Estos esfuerzos implican la implementación de metodologías de análisis y monitoreo de sequías, así como el estudio de episodios de sequías extremas y sus impactos en los diversos sectores económicos (Endara, 2019)

En Perú, las sequías han sido recurrentes a lo largo de su historia, siendo notable la presencia de eventos como los ocurridos en los años 1982, 1983, 1985, 1987, 1988, 1990, 1992, 2004, 2005 y 2016. Estas han ocasionado enormes pérdidas en las cosechas y una disminución significativa en los rendimientos agrícolas y pecuarios de los departamentos de Cusco, Puno, Arequipa, Tacna y Moquegua (Endara et al., 2019). Por otra parte, en el norte del Perú, Rascón et al. (2021), determinaron eventos secos y húmedos moderados, para el periodo 1981-2019, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI). Así también otros índices para monitorear sequías o el estado de vegetación como (Veneros y García 2022), donde emplearon el SVI (Índice Estandarizado de Vegetación) desde el año 2000-2021 para todo el Perú.

Además, se han registrado sequías en Perú que han afectado la Amazonia Peruana, como los eventos ocurridos en 1995, 1998, 2005 y 2010. Estas sequías han resultado en niveles inusualmente bajos de los ríos y un aumento en el riesgo y número de incendios forestales (Espinoza et al., 2011). En cuanto a la última referencia de sequía en Perú, se registró a principios de 2016 en el sur del país, y tuvo un impacto directo en la reducción del 75% en la producción agrícola (Endara et al., 2019).

Los estragos causados por las sequías se encuentran asociados a riesgos en la seguridad alimentaria, como lo señala la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Esto destaca la importancia de monitorear las sequías como un componente crucial en los sistemas de alerta temprana, con el fin de mitigar los impactos negativos y tomar medidas oportunas para garantizar la seguridad alimentaria de la población afectada (Alarcón, 2019).

El desarrollo del producto meteorológico reticular de datos peruanos interpolados de las observaciones climatológicas (PISCO) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), representa un avance significativo. Este producto podría impulsar la implementación de un modelo hidrológico a gran escala, permitiendo estimar las descargas mensuales a nivel nacional, especialmente en situaciones donde existe escasez de datos. Esta herramienta mejorara la comprensión y la predicción de los recursos hídricos en el país, brindando información crucial para la gestión y la toma de decisiones relacionadas con la escasez de agua (Aybar et al., 2020). La disponibilidad de los datos de PISCO facilita la proyección de diversos escenarios de sequía que podrían

ocurrir en el futuro. Esto, a su vez, permite realizar un análisis exhaustivo del comportamiento estadístico bivariado de las características de las sequías (Cairampoma, 2021).

A lo largo de los años, ha habido numerosos debates en torno a la selección de los índices de sequía más adecuados para un clima específico y su aplicación correspondiente. Entre estos índices, el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI, por sus siglas en inglés) se destaca como una herramienta que proporciona una representación más precisa de la humedad y la sequedad.

El (SPI) se ha desarrollado como un índice de probabilidad que permite evaluar y cuantificar de manera efectiva las condiciones de sequía (Guttman, 1999). No obstante, es importante tener en cuenta que el (SPI) no es adecuado para medir la sequía en regiones desérticas, donde la evaporación juega un papel crucial como fuente de humedad. El SPI se centra principalmente en la precipitación como indicador de la disponibilidad de agua en el suelo, lo que puede limitar su aplicabilidad en áreas con altas tasas de evaporación (Muluaem y Liou, 2020). Es cierto que el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) se utiliza ampliamente en estudios fundamentales y aplicaciones prácticas relacionadas con la sequía. Además, ha sido implementado operativamente en numerosos Servicios Hidrológicos y Meteorológicos en todo el mundo (Cheval, 2015).

Por otro lado, el Índice de Evapotranspiración de Precipitación Estandarizado (SPEI por sus siglas en inglés) es un índice que tiene en cuenta tanto la precipitación como el efecto de la temperatura en la demanda de agua. A diferencia del SPI, el SPEI considera el impacto del calentamiento global y la variabilidad de la temperatura en la evaluación de la sequía. Se basa en el balance hídrico climático, que tiene en cuenta la entrada de agua a través de la precipitación y la salida de agua debido a la evaporación y la transpiración de las plantas. Al incorporar la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración, el SPEI proporciona una evaluación más completa de la sequía (Yao et al., 2020). Por lo tanto, utilizamos el (SPEI) para examinar el patrón espacio-temporal de la sequía y su impacto, empleando datos mensuales de precipitación y temperatura (Sein et al., 2021).

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue determinar los niveles de sequías utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el índice de Evapotranspiración de Precipitación Estandarizado. Para esto, se planteó tres objetivos específicos: a) Analizar la información pluviométrica y temperaturas históricas en la

provincia de Jaén desde 1981 hasta 2016; b) Estimar y comparar el SPI y SPEI en varias escalas de tiempo y c) Caracterizar los eventos de sequías meteorológicas observadas con el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Evapotranspiración de precipitación Estandarizado (SPEI).

|

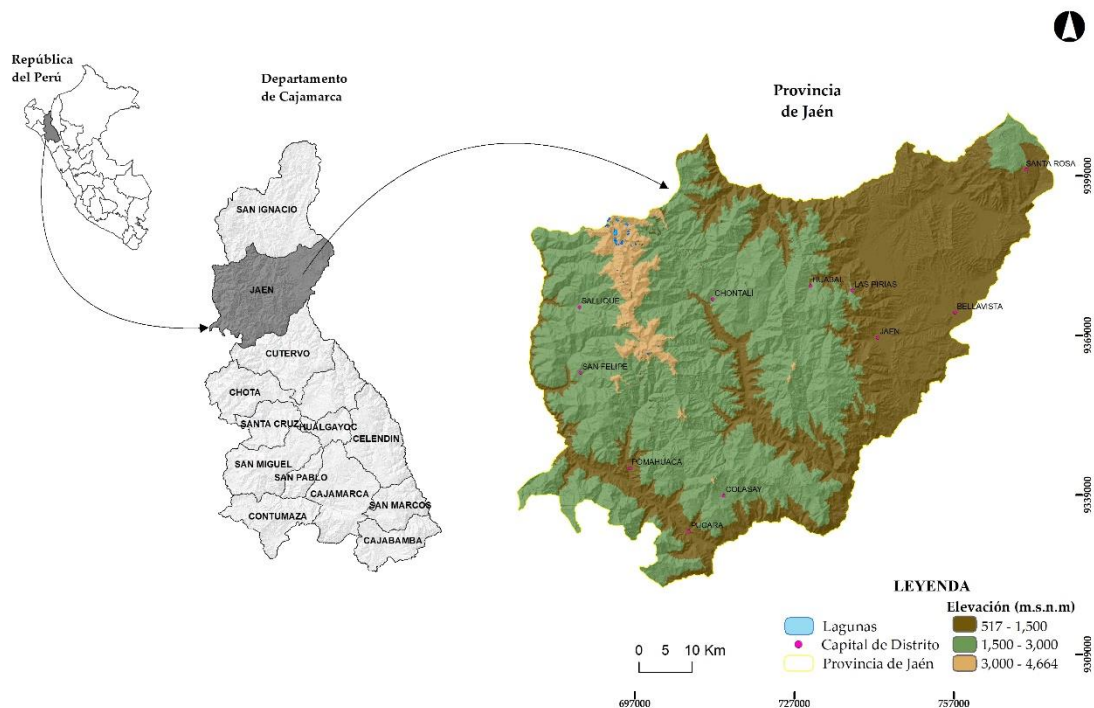
III.II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La provincia de Jaén se ubica en el norte del Perú y cuenta con una superficie aproximada de 5232.57 km² que representa el 15.71% de la superficie regional de Cajamarca (Huaccha, 2017). Concentra el 13.23 % de la población de la región (INEI, 2017), y presenta un rango de altitudes que va desde los 517 hasta los 4664 m.s.n.m. en dirección de sur a norte. Se pueden identificar dos tipos de suelos (Midagri, 2020) los cuales sirven de base para la agricultura: (i) suelo de Páramo, en donde un gran porcentaje son tierras para cultivos en limpio criofílicos y (ii) suelos de la Yunga tropical que presentan bajo nivel de desarrollo agrícola, son ácidos, se encuentran en pendientes pronunciadas y tienen poca profundidad.

Figura 1.

Localización de la provincia de Jaén



La provincia de Jaén tiene una formación geológica de origen fluvial. Las precipitaciones son escasas durante los meses de junio a septiembre y más abundantes entre enero y abril, siendo marzo el mes con la mayor cantidad de lluvias. El promedio anual de precipitación en esta provincia es de 760 mm y sus temperaturas mínimas y máximas varía de 17.2 °C a 20.2 °C y de 30.8 °C a 34.2 °C respectivamente, siendo el promedio anual de 25.9 °C (Díaz y Tarrillo, 2021; Tanaka, 2017)

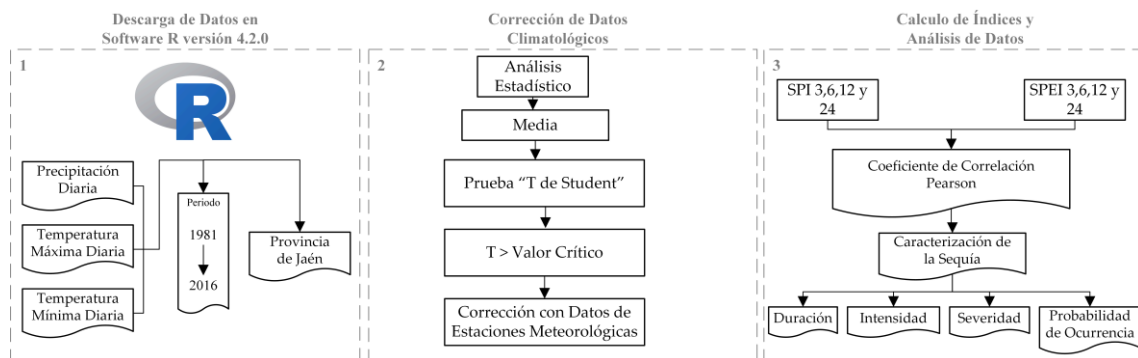
Hidrográficamente comprende a la vertiente del Amazonas, que a su vez forma parte de la cuenca del río Marañón que dispone de recursos hídricos superficiales proveniente de fuentes como ríos y quebradas entre ellas: Río Marañón, Río Chinchipe, Quebrada Shumba, Río Huancabamba-Chamaya, Río Chotano, Río Chunchuca, etc (Indeci, 2005).

2.2. Diseño metodológico

La Figura 2 muestra el diagrama de flujo para evaluar la sequía en la provincia de Jaén utilizando el índice de precipitación estandarizado (SPI) y el índice de evapotranspiración de precipitación estandarizado (SPEI). En resumen, se determinó las sequías en base a 2 índices y con datos de temperatura, precipitación y evapotranspiración diaria desde 1981 hasta el 2016. La confiabilidad de los resultados obtenidos se calculó utilizando los coeficientes de correlación de Pearson, finalmente se caracterizó la sequía en base a la duración, intensidad, severidad y probabilidad de ocurrencia en el área de estudio.

Figura 2.

Flujograma metodológico utilizado para evaluar las sequías de la provincia de Jaén Cajamarca (Perú)



2.3. Descarga de Datos

Primeramente, se descargó la data diaria de precipitación y temperatura máxima y mínima desde el año 1981 hasta el 2016 de la base de datos PISCO (Aybar et al., 2020). A su vez, en el programa QGis 3.10 LTR se extrajo el límite provincial de Jaén de la base de datos del Instituto geográfico del Perú (IGN), el cual fue subido al programa Rstudio y se extrajo con la librería “read.table” los valores de la base de datos PISCO teniendo en cuenta el límite provincial de Jaén.

2.4. Corrección de Datos Climatológicos

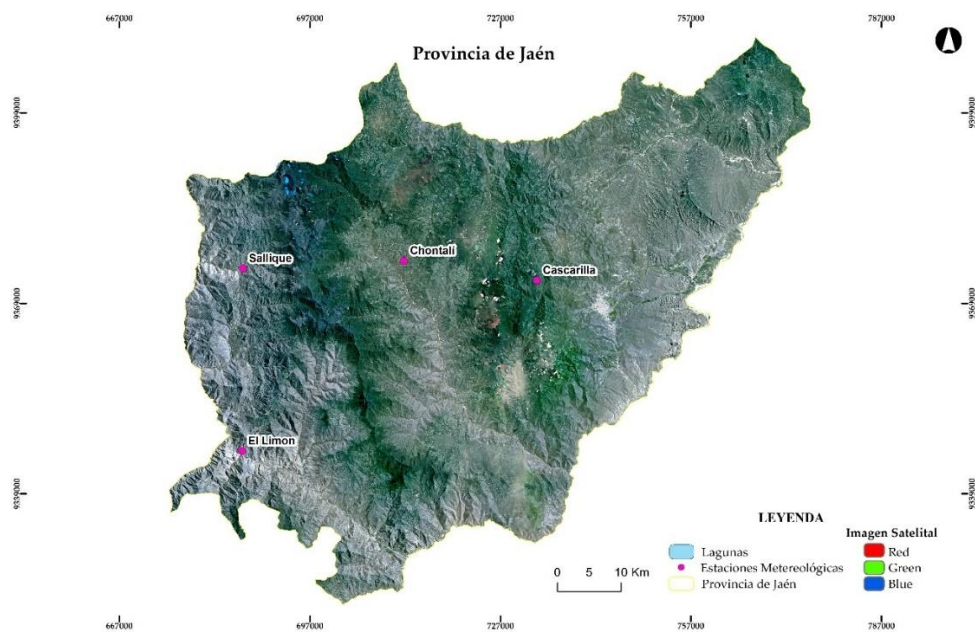
Para la corrección de datos climáticos de Pisco para la provincia de Jaén, se utilizó datos climáticos de estaciones meteorológicas ubicadas dentro del mismo limite. Inicialmente se determinó las estaciones meteorológicas con datos climáticos superiores a 20 años, con

el objetivo de realizar un correcto análisis de sequías utilizando SPI y SPEI (Organización meteorológica Mundial [OMM], 2012).

A continuación, en la Figura 3 se muestra la ubicación geográfica aproximada de las 4 estaciones meteorológicas consideradas para la corrección de datos climatológicos de PISCO para la provincia de Jaén.

Figura 3.

Distribución de estaciones meteorológicas en la provincia de Jaén



En primera instancia se realizó un análisis estadístico con la prueba T de “student” en la cual se compararon las medias de los datos mensuales de PISCO con las medias de los datos mensuales de cada una de las 4 estaciones meteorológicas presentes en la provincia de Jaén. Si el T calculado es mayor al valor crítico significa que existen diferencias significativas entre ambos grupos. En los 4 casos y para el 91.6% de las variables analizadas el T calculado fue mayor que el valor crítico (Tabla 1), esto indica que no son estadísticamente iguales, por lo que precedió a corregirlos con las siguientes formulas.

$$x'(t) = \left(\frac{x_t - \bar{x}_1}{s_1} \right) x(s_2 + \bar{x}_2)$$

Dónde: $x'(t)$ = valor corregido de la información

x_t = valor a ser corregido

Media aritmética

Este parámetro estadístico muestra la tendencia central de la distribución de la serie de parámetros históricos.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Varianza

Medirá la variabilidad de los datos de parámetros históricos.

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

Tabla 1.

Valores de prueba T de “student”

		Prueba T	
		T	Valor Crítico
Cascarilla	Precipitación	16.72	1.96
	T° máxima	66.90	1.96
	T° mínima	34.74	1.97
Chontali	Precipitación	10.64	1.96
	T° máxima	13.83	1.96
	T° mínima	16.34	1.96
El Limon	Precipitación	8.32	1.96
	T° máxima	53.72	1.96
	T° mínima	90.81	1.96
Sallique	Precipitación	0.80	1.96
	T° máxima	8.98	1.96
	T° mínima	4.88	1.97

2.5. Cálculo de Índices y Análisis de Datos

Posteriormente con ayuda del programa R versión 4.2.0 se calculó el SPI, índice que requiere solamente de la precipitación en la zona, con registros suficientemente largos (Mckee et al., 1993). Se calculó para las escalas temporales de 3,6 meses para evaluar los impactos de las sequías meteorológicas, 12 meses para evaluar los impactos de las sequías hidrológicas y 24 meses para evaluar los impactos de las sequías socioeconómicas (Li et al., 2022).

Del mismo modo se procedió a calcular el SPEI, índice que requiere datos de entrada de precipitación y temperaturas ocurridas en la zona con registros suficientemente largos, que calcula como primer paso la evapotranspiración con la ecuación de Hargreaves, basado en el cálculo original del SPI (Vicente et al., 2010), para las escalas temporales de

3,6 meses para evaluar los impactos de las sequías meteorológicas, 12 meses para evaluar los impactos de las sequías hidrológicas y 24 meses para evaluar los impactos de las sequías socioeconómicas (Yang y Xing, 2022).

Por consiguiente, con estos datos se clasifico los eventos secos y húmedos, según los valores de los índices calculados determinándose la intensidad y severidad de la sequía, tal como se muestra en la Tabla 2, basado en (McKee et al., 1993).

Tabla 2.

Clasificación de la sequía por valores de SPI y SPEI

Valores de SPI y SPEI	Interpretación
2,0 a mas	Extremadamente húmedo
1,50 a 1,99	Muy húmedo
1,00 a 1,49	Moderadamente húmedo
0,50 a 0,99	Levemente húmedo
0,00 a 0,49	No hay sequía (normal)
0,00 a -0,49	No hay sequía (normal)
-0,50 a -0,99	Sequía leve
-1,00 a -1,49	Sequía moderada
-1,50 a -1,99	Sequía severa
-2 a más	Sequía extrema

Para el análisis de datos se usó una regresión lineal para determinar la relación entre el SPI y el SPEI indicando en este caso una relación positiva dando confiabilidad a los resultados obtenidos.

Finalmente se caracterizó los eventos de sequías meteorológicas por sus propiedades de duración, intensidad severidad y probabilidad de ocurrencia con base en el SPI y SPEI(Carrasco, 2018; Gálvez, 2017).

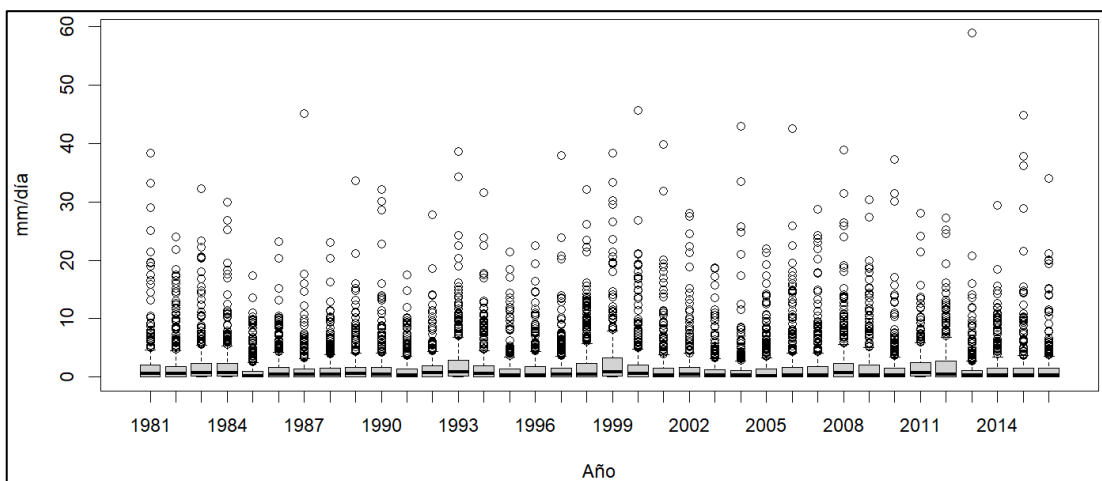
IV.III. RESULTADOS

3.1. Distribución de Datos climáticos.

A continuación, en las Figuras 4, 5 y 6, mediante los diagramas de caja se muestra la distribución de la precipitación (mm), temperatura máxima y mínima (°C), para la provincia de Jaén como se aprecia en la Figura 4, existen gran cantidad de datos atípicos superiores lográndose apreciar un valor cercano a 60 mm para el 2013, y en general, los datos estaban agrupados entre 0 y 2 mm aproximadamente.

Figura 4.

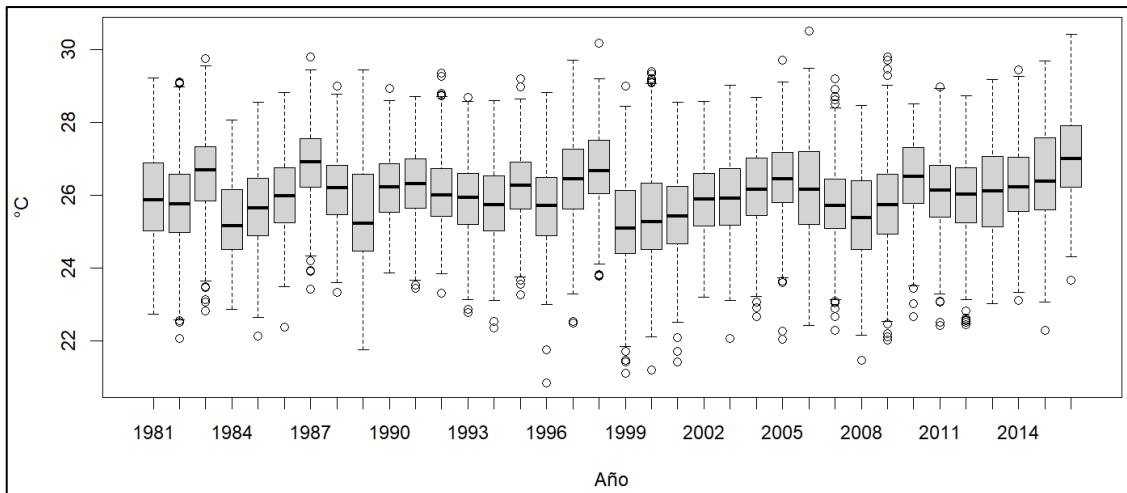
Distribución de la precipitación diaria para el periodo 1981-2016, según datos PISCO.



Como se muestra en la Figura 5, al igual que la data de precipitación de PISCO, los datos de temperatura máxima presentan datos atípicos superiores e inferiores, lográndose apreciar valores máximos y mínimos de 30 °C y 20 °C, finalmente también se aprecia que los valores de temperatura máxima estaban agrupados entre 25 a 27 °C.

Figura 5.

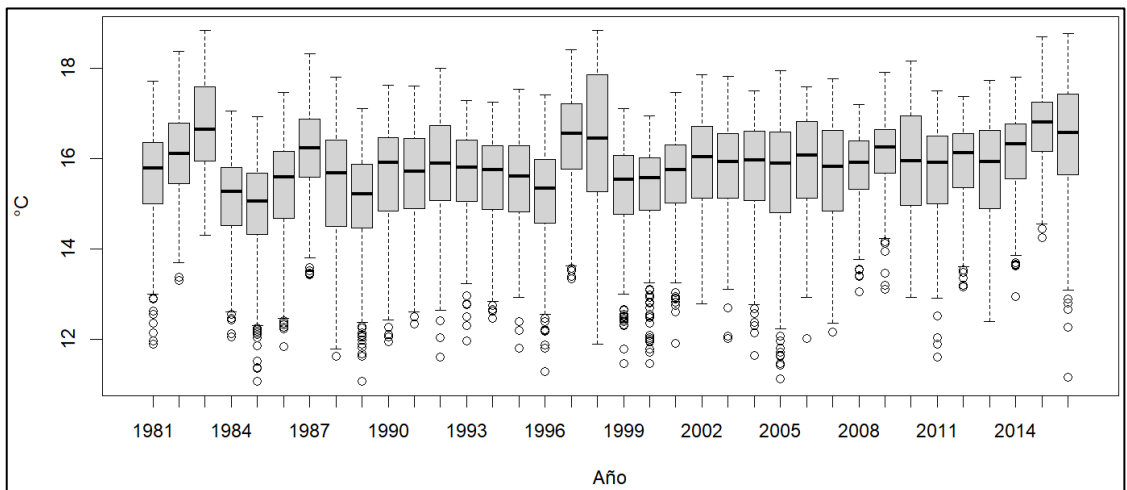
Distribución de la Temperatura máxima diaria (C°) para el periodo 1981-2016, según datos PISCO



Como muestra la Figura 6, la data de temperatura mínima diaria presenta datos atípicos inferiores, lográndose apreciar valores alrededor de 10 °C, por su parte, los datos estaban agrupados entre 14 a 17 °C.

Figura 6.

Distribución de la Temperatura mínima diaria (C°) para el periodo 1981-2016, según datos PISCO

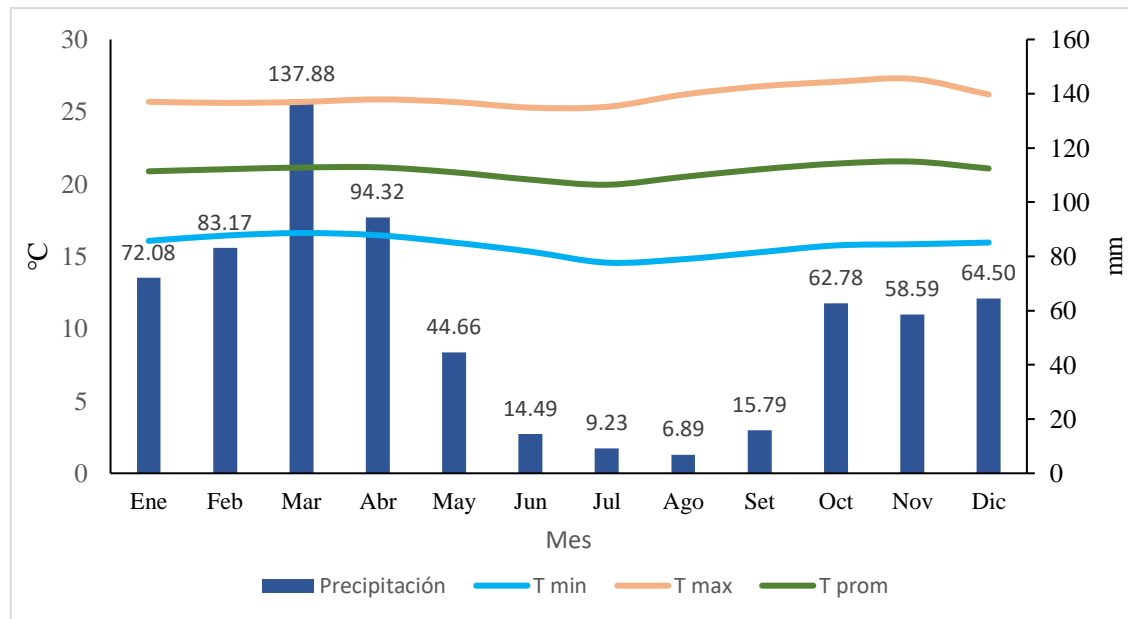


Finalmente, en la Figura 7 mediante un climograma se resume la data antes presentada, expresándose en el eje derecho la precipitación promedio para cada mes, por su parte el eje izquierdo expresa las temperaturas mínimas, promedio y máxima para cada mes durante el periodo de 1981 a 2016 en la provincia de Jaén. Así mismo se aprecia una disminución severa de la precipitación entre los meses junio a setiembre, siendo marzo el mes de mayor precipitación, a su vez, las temperaturas mantienen su tendencia, con leves

cambios en el periodo seco, según los datos modelados de PISCO para el periodo antes mencionado.

Figura 7.

Climograma de la provincia de Jaén basado en los datos PISCO

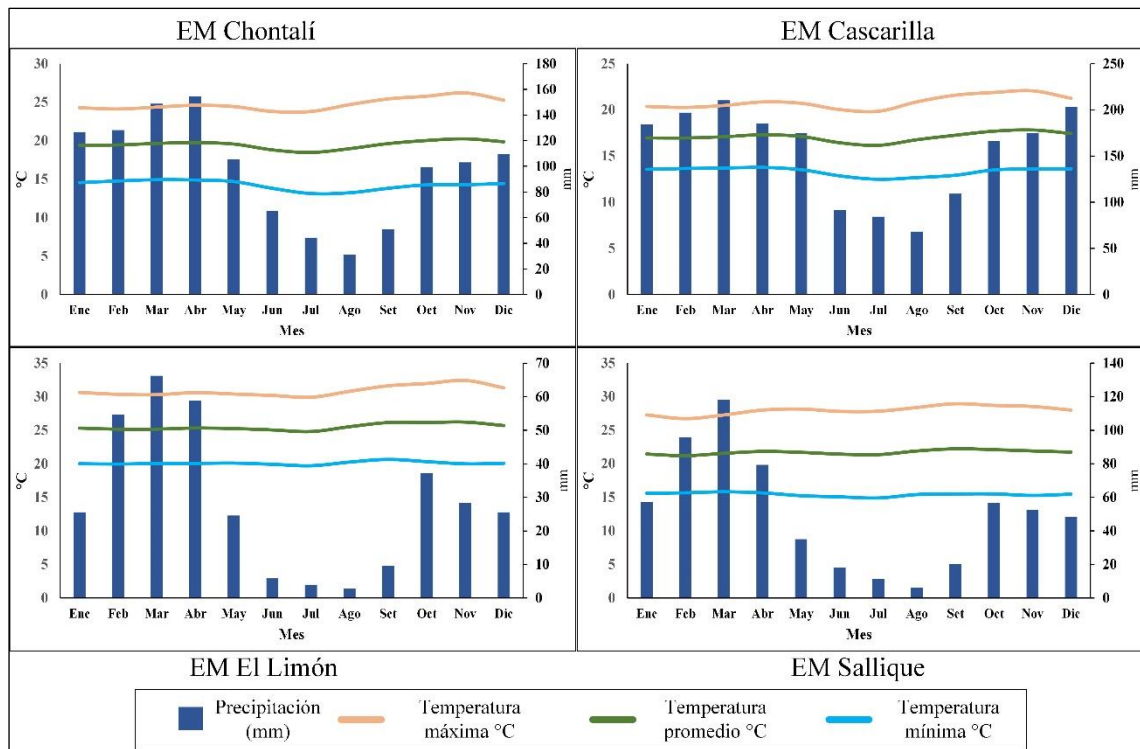


Luego al ver que existía gran cantidad de datos atípicos (Figuras 3, 4, 5 y 6), y con el objetivo de tener una data más homogénea se corrigió la data de PISCO con data de las 4 estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la provincia de Jaén (Sallique, Chontali, Cascarilla y el Limón) tal como se muestra en la Figura 3.

A su vez, la Figura 8 muestra los climogramas para cada estación meteorológica de la provincia de Jaén. Se aprecia que, en todos los puntos de observación climática, la disminución de precipitación se suscita desde los meses de junio a setiembre aproximadamente, siendo los meses de noviembre a abril los de mayor precipitación mensual. Respecto a la temperatura también se evidencia disminuciones en los periodos de estiaje. Entonces, debido a que se cuenta con data climática local observada (SENAMHI), se procedió a corregir los datos de precipitación, temperatura máxima y mínima de PISCO, para cada estación meteorológica.

Figura 8.

Climograma de cada estación meteorológica de la provincia de Jaén



3.2. Corrección de datos climáticos.

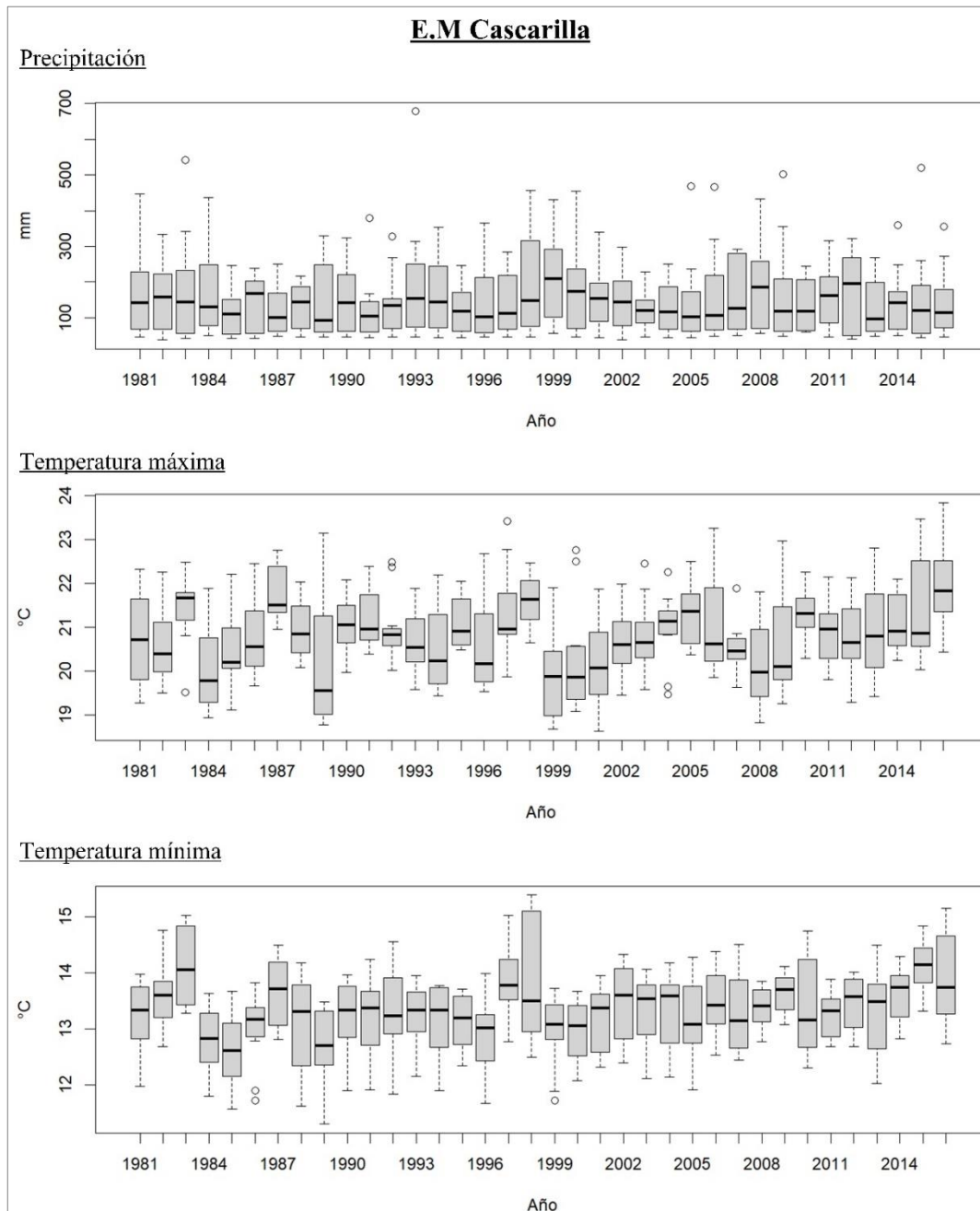
Debido a las inconsistencias y en algunos casos a la falta de datos, se procedió a corregir los datos modelados de PISCO con la data de las 4 estaciones meteorológicas (EM) cercanas dentro de la provincia de Jaén, los datos a corregir fueron extraídos de la misma coordenada de la EM.

A continuación, las Figuras 9, 10 y 11 y 12 muestra los datos corregidos de precipitación, temperatura máxima y mínima para cada estación.

La Figura 9, muestra la corrección de la data de precipitación, temperatura máxima y mínima de PISCO, con respecto a los datos de la estación meteorológica de Cascarilla, por lo que seguidamente se observa una disminución de datos atípicos.

Figura 9.

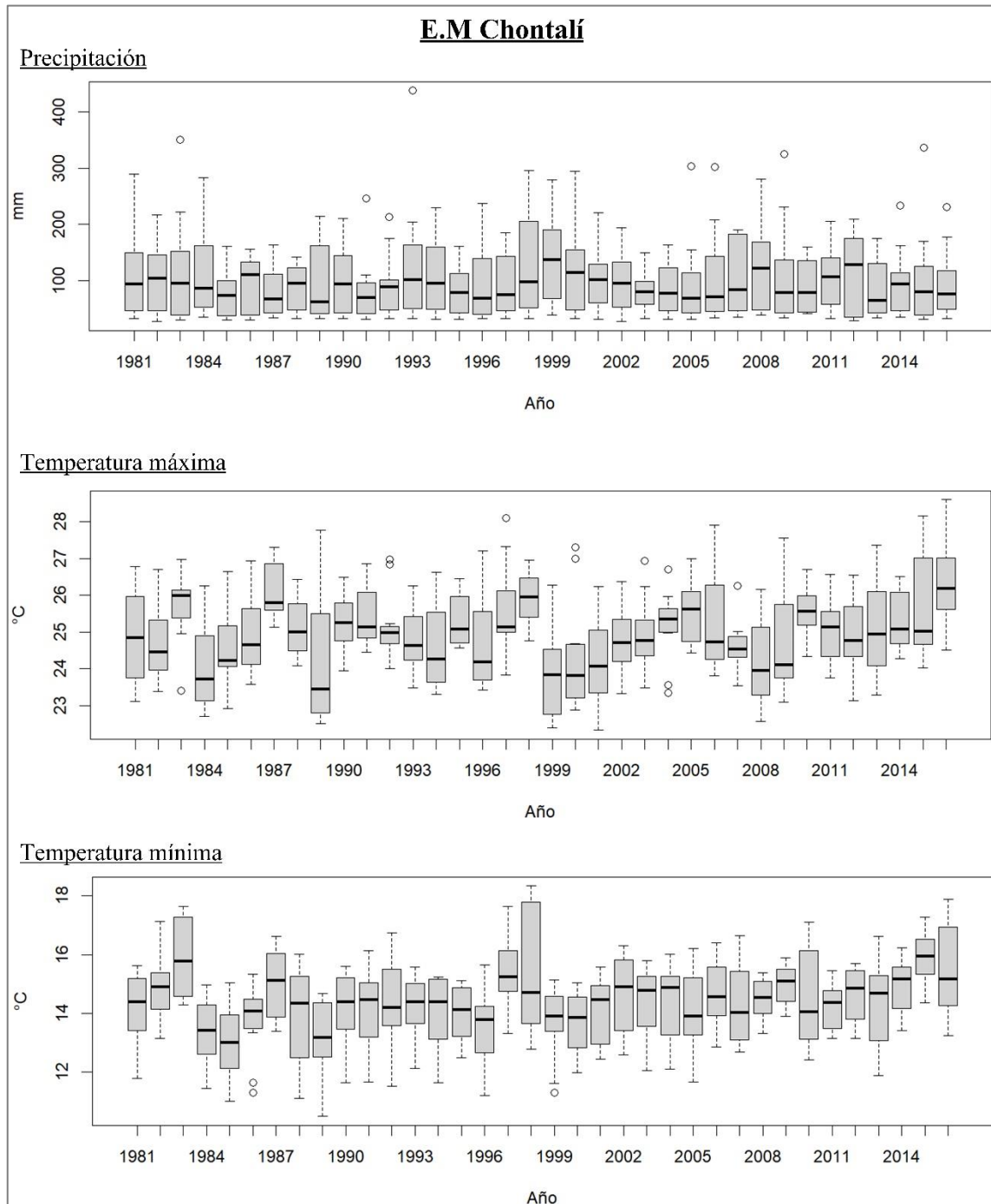
Corrección de datos con la estación meteorológica Cascarilla.



Por su parte, la Figura 10, muestra la corrección de la data de precipitación, temperatura máxima y mínima de pisco, con respecto a los datos de la estación meteorológica de Chontalí. Como resultado se observa claramente que existe una disminución de datos atípicos.

Figura 10.

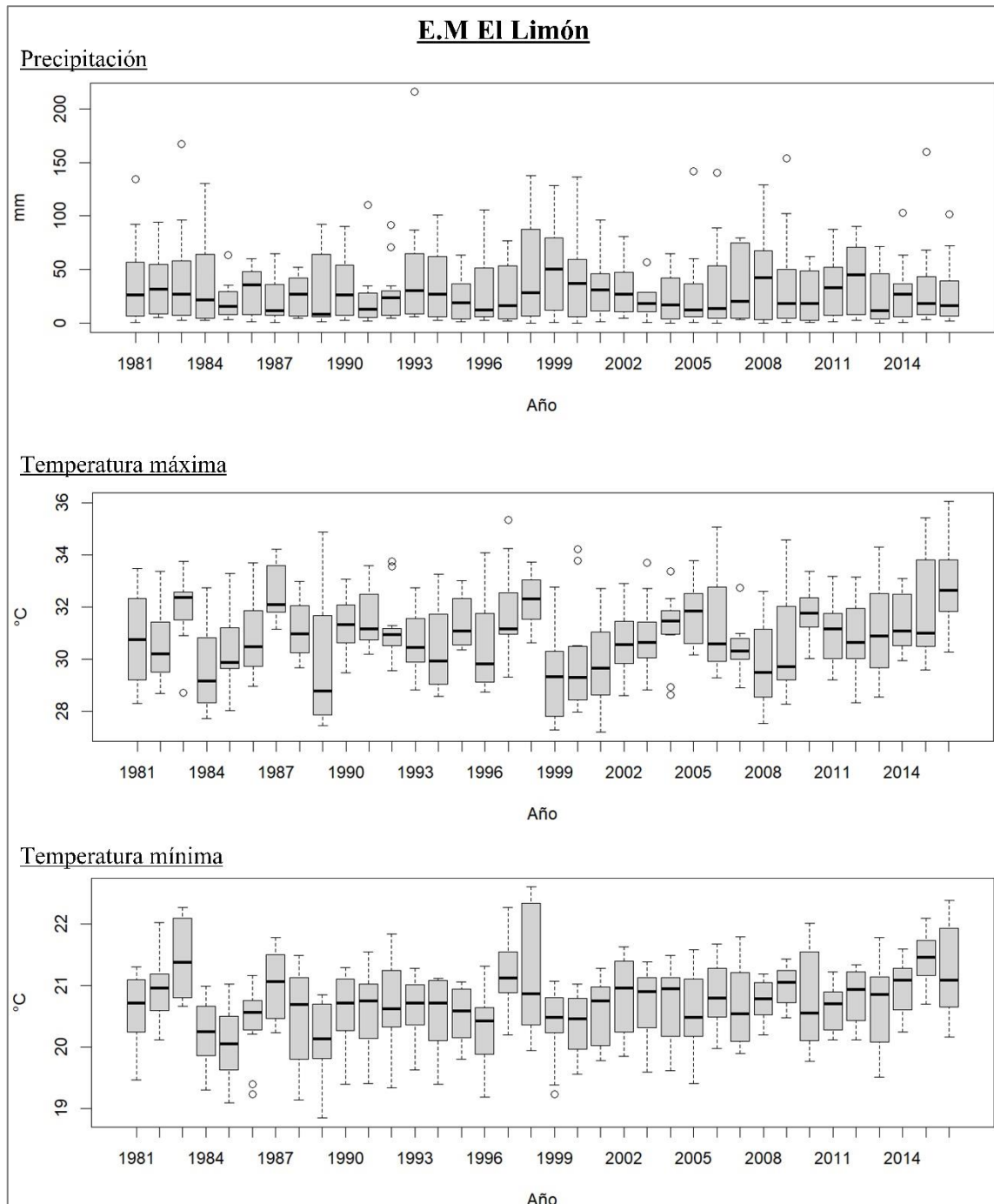
Corrección de datos con la estación meteorológica Chontalí.



A su vez, la Figura 11, muestra la corrección de la data de precipitación, temperatura máxima y mínima de pisco, con respecto a los datos de la estación meteorológica de El Limón. Como resultado se observa claramente que existe una disminución de datos atípicos.

Figura 11.

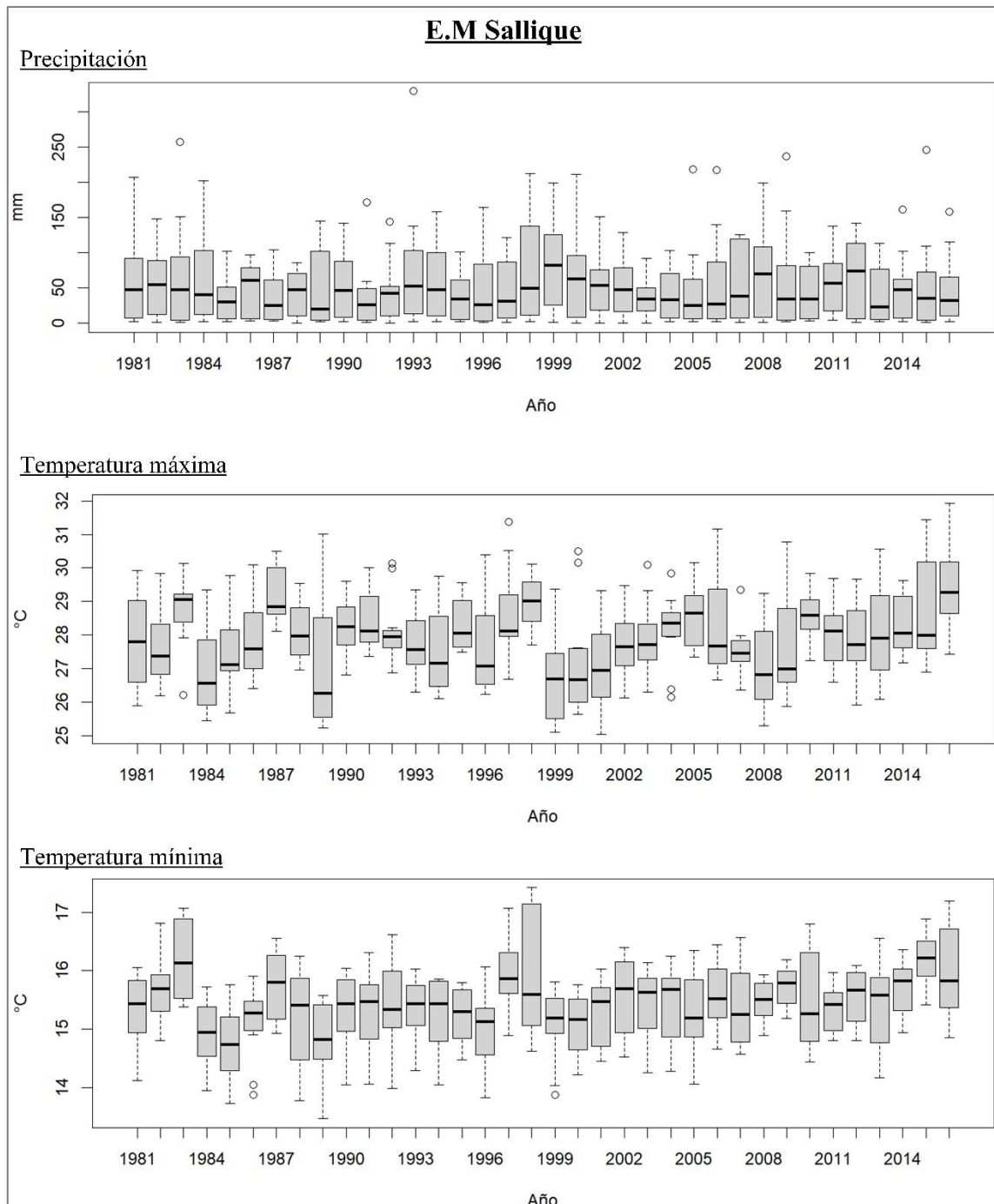
Corrección de datos con la estación meteorológica El Limón.



Finalmente, la Figura 12, muestra la corrección de la data de precipitación, temperatura máxima y mínima de PISCO, con respecto a los datos de la estación meteorológica de Sallique, por lo que seguidamente se observa una disminución de datos atípicos.

Figura 12.

Corrección de datos con la estación meteorológica Sallique.

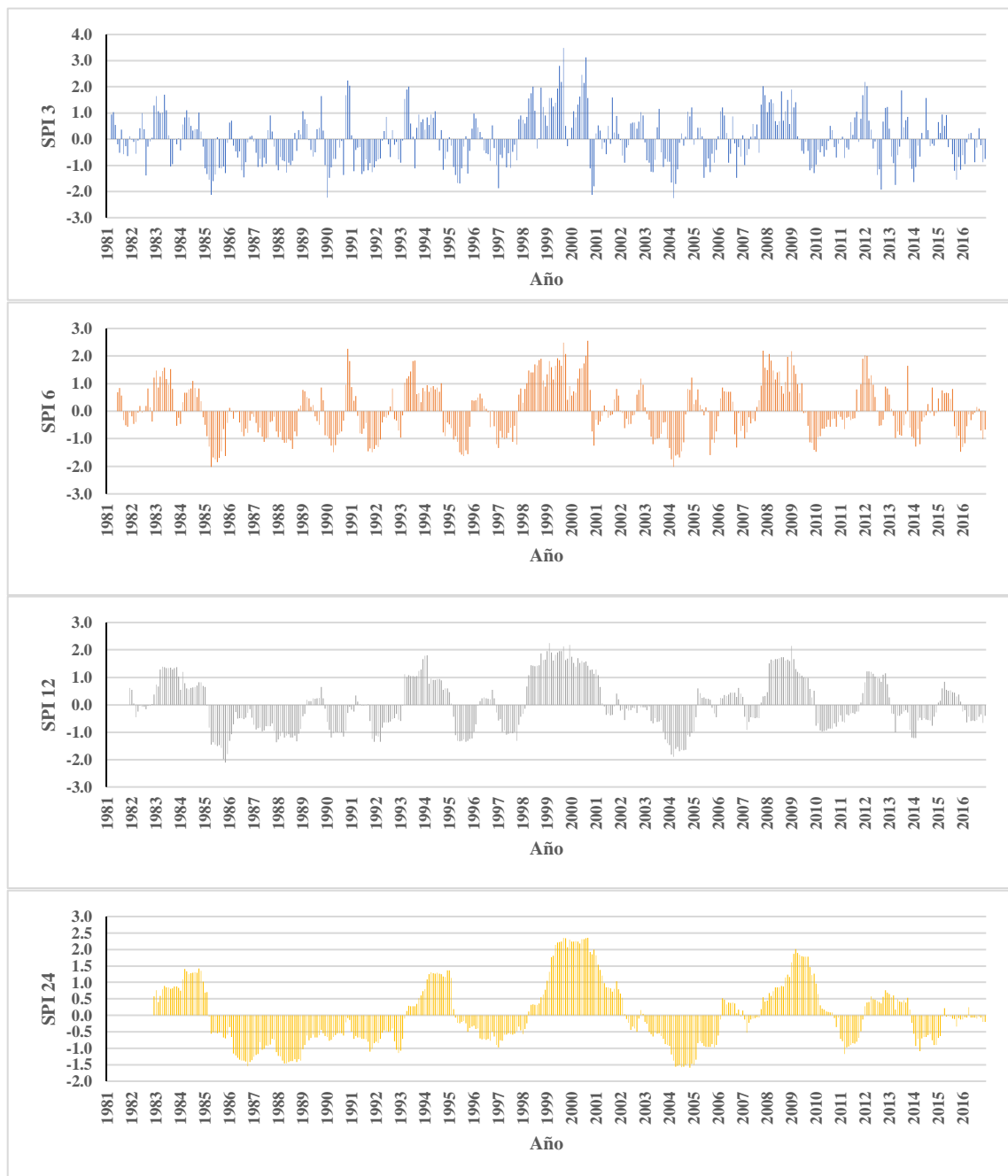


3.3. Cálculo de SPI y SPEI.

En la Figura 13, se puede apreciar que, para la EM Cascarilla, los años 1985, 1990, 2001 y 2004 registraron sequías extremas según el SPI3, asimismo, según el SPI6 se registraron sequías extremas para los años 1985 y 2004. Por otra parte, según el SPI12 solo se registró sequía extrema para el año 1985, por último, según el SPI24 no se registraron años con sequías extremas.

Figura 13.

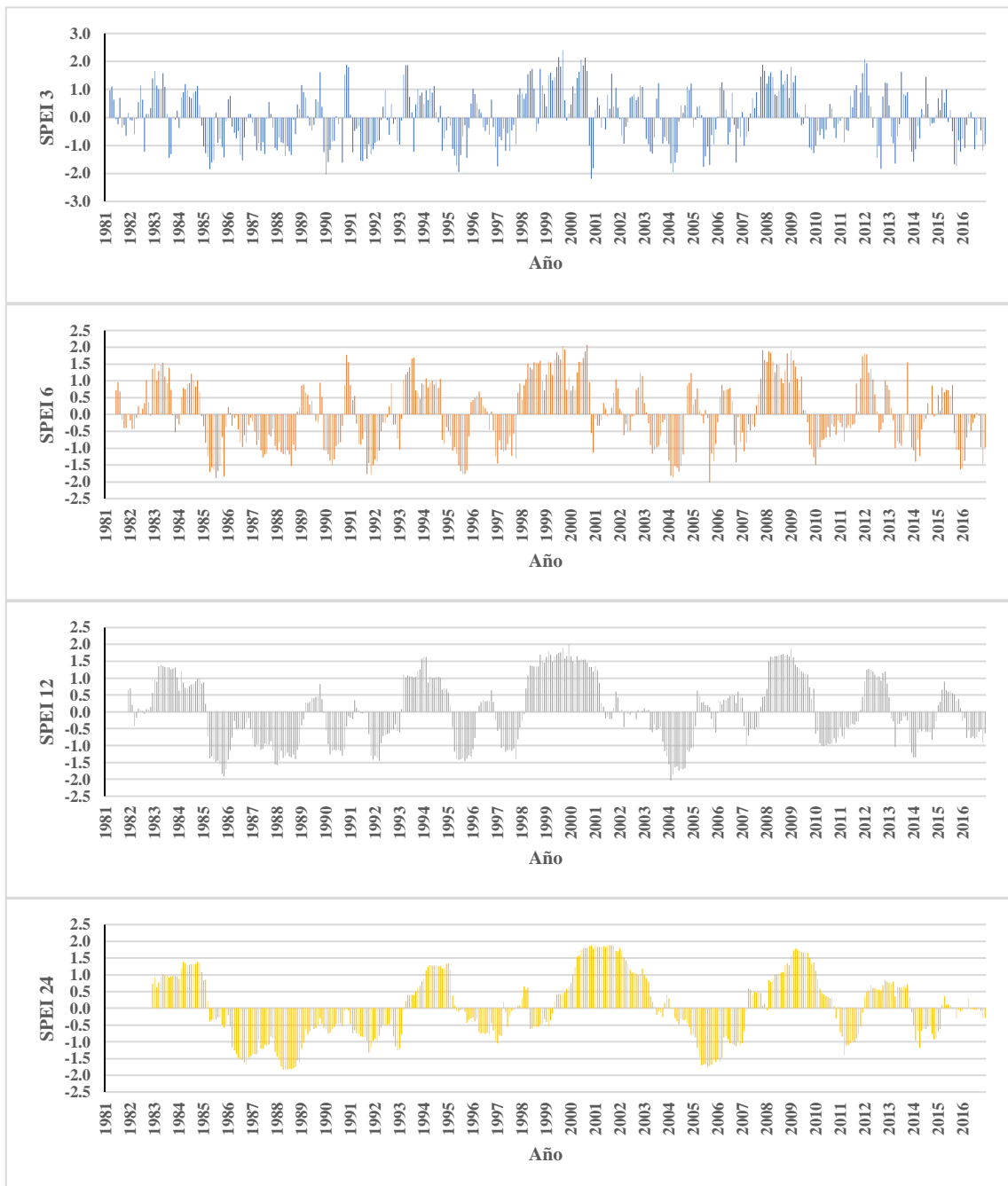
SPI 3, 6, 12 y 24 para la EM Cascarilla



En la Figura 14, se puede apreciar que, para la EM Cascarilla, los años 1990 y 2000 registraron sequías extremas, según el SPEI 3, asimismo, según el SPEI6 se registraron sequías extremas para el año 2005. Por otra parte, según el SPEI12 solo se registró sequía extrema para el año 2004, por último, según el SPEI 24 no se registraron años con sequía extrema.

Figura 14.

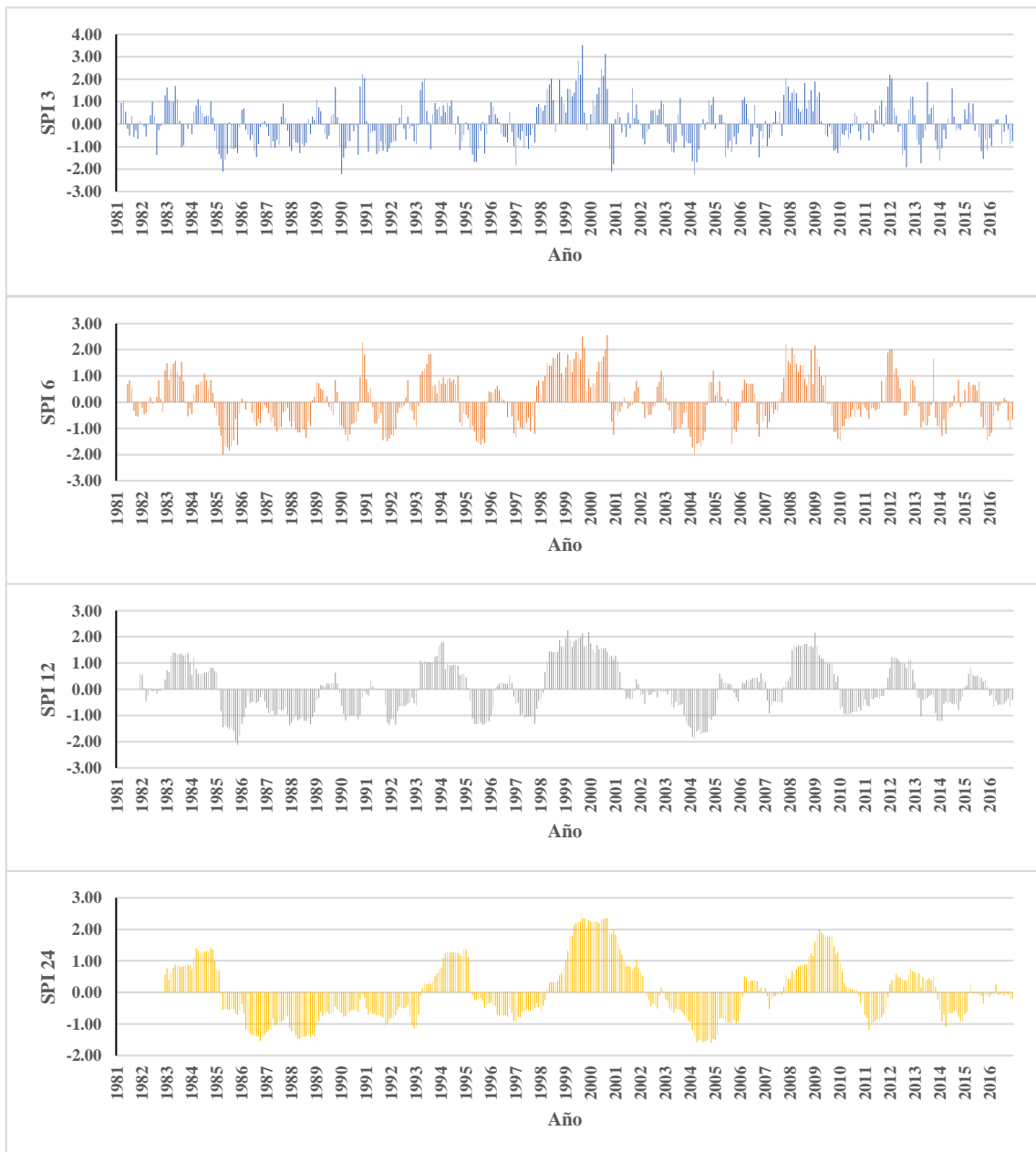
SPEI 3, 6, 12 y 24 para la EM Cascarilla



En la Figura 15, se puede apreciar que, para la EM Chontalí, los años 1985, 1990, 2000 y 2004 registraron sequías extremas según el SPI 3, del mismo modo, según el SPI6 se registraron sequías extremas para los años 1985 y 2004, asimismo, según el SPI12 se registró sequía extrema solo para el año 1985, por último, según el SPI 24 no se registraron años con sequía extrema.

Figura 15.

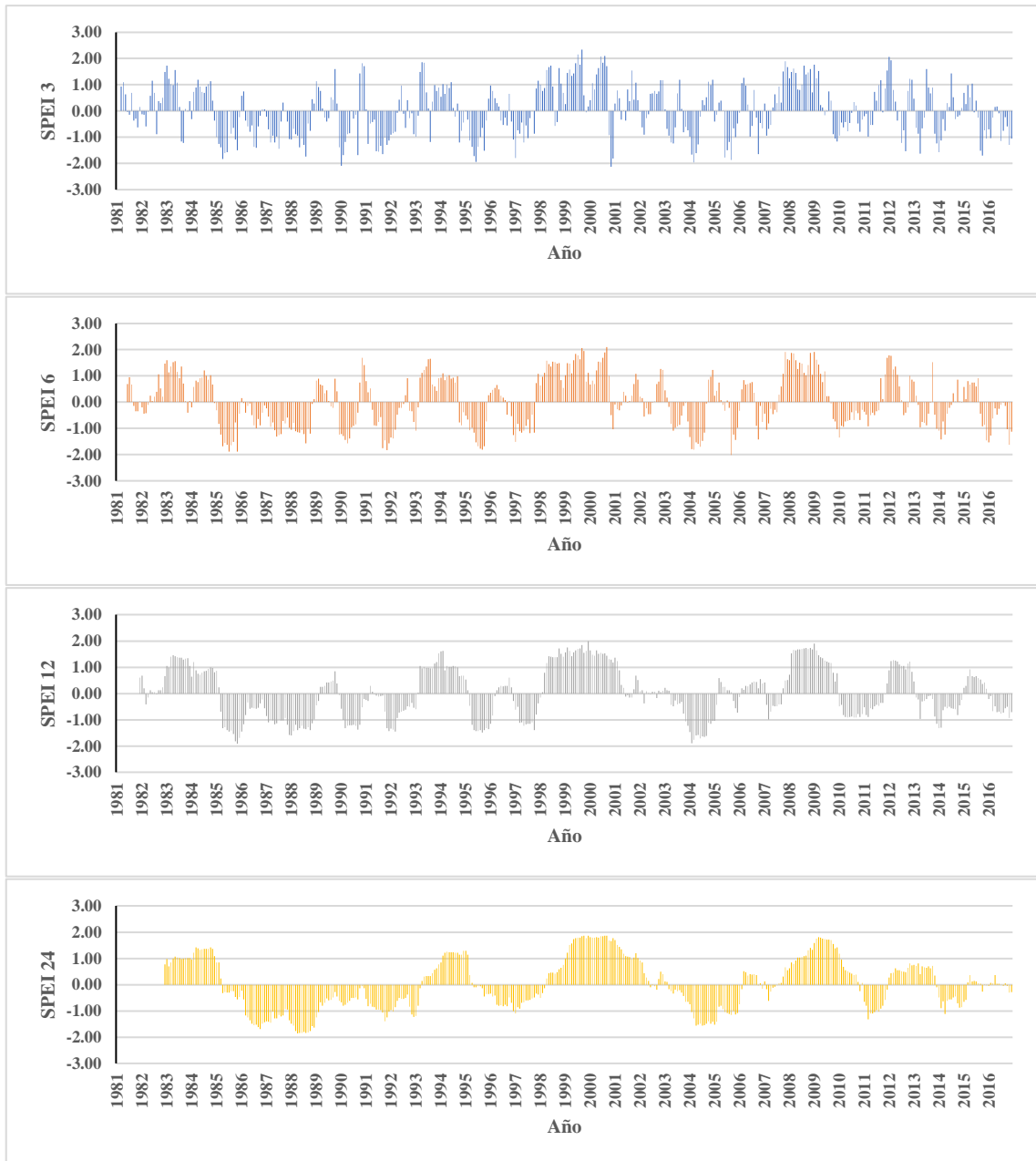
SPI 3, 6, 12 y 24 para la EM Chontalí.



En la Figura 16, se puede apreciar que, para la EM Chontalí, los años 1990 y 2000 registraron sequías extremas según el SPEI 3, del mismo modo, según el SPEI6 se registraron sequías extremas para el año 2005, así mismo, según el SPEI12 y el SPEI24 no se registraron sequías extremas.

Figura 16.

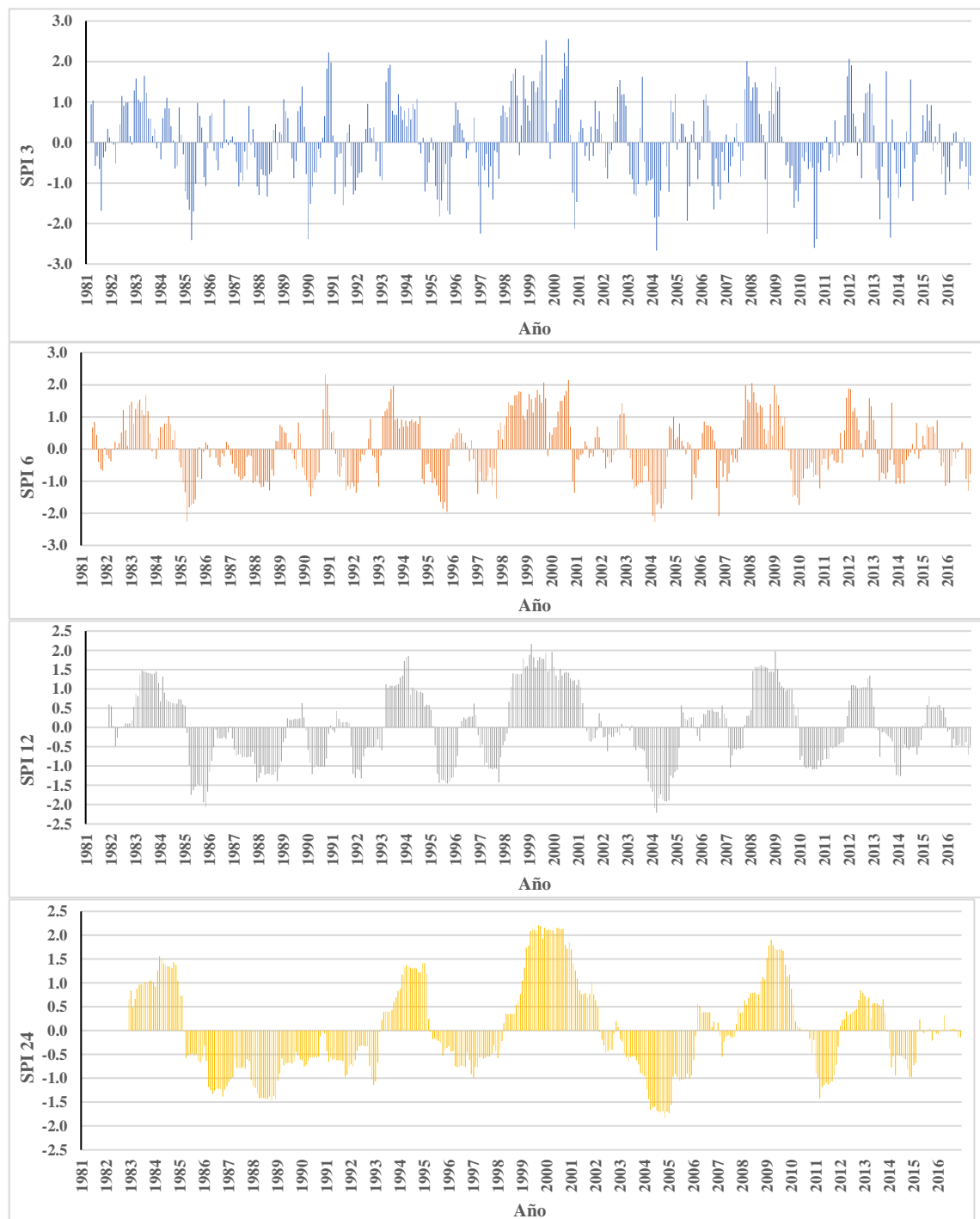
SPEI 3, 6, 12 y 24 para la EM Chontalí



En la Figura 17, se puede apreciar que, para la EM El Limón, los años 1985, 1990, 1997, 2000, 2004, 2008, 2010 y 2013 registraron sequías extremas según el SPI 3, del mismo modo, según el SPI6 se registraron sequías extremas para los años 1985, 2004 y 2006, así mismo, según el SPI12 se registró sequía extrema para los años 1985 y 2004, por último, según el SPI 24 no se registraron años con sequía extrema.

Figura 17.

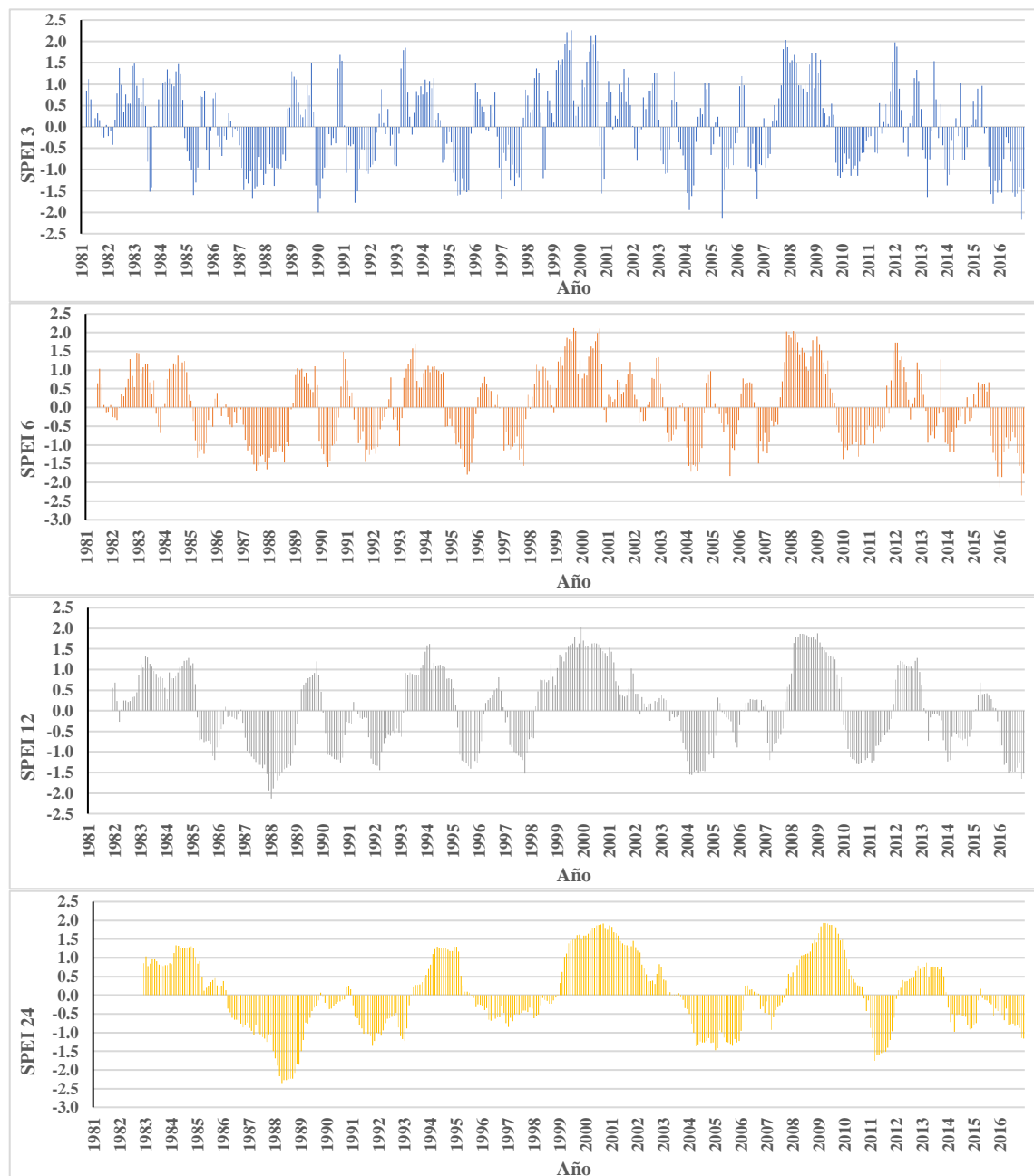
SPI 3, 6, 12 y 24 para la EM EL Limón



En la Figura 18, se puede apreciar que, para la EM El Limón, los años 1990, 2005 y 2016 registraron sequías extremas según el SPEI 3, del mismo modo, según el SPEI6 se registraron sequías extremas para el año 2016, así mismo, según el SPEI12 se registraron sequías extremas para el año 1988, por último, según el SPEI24 se registraron sequías extremas para el año 1988.

Figura 18.

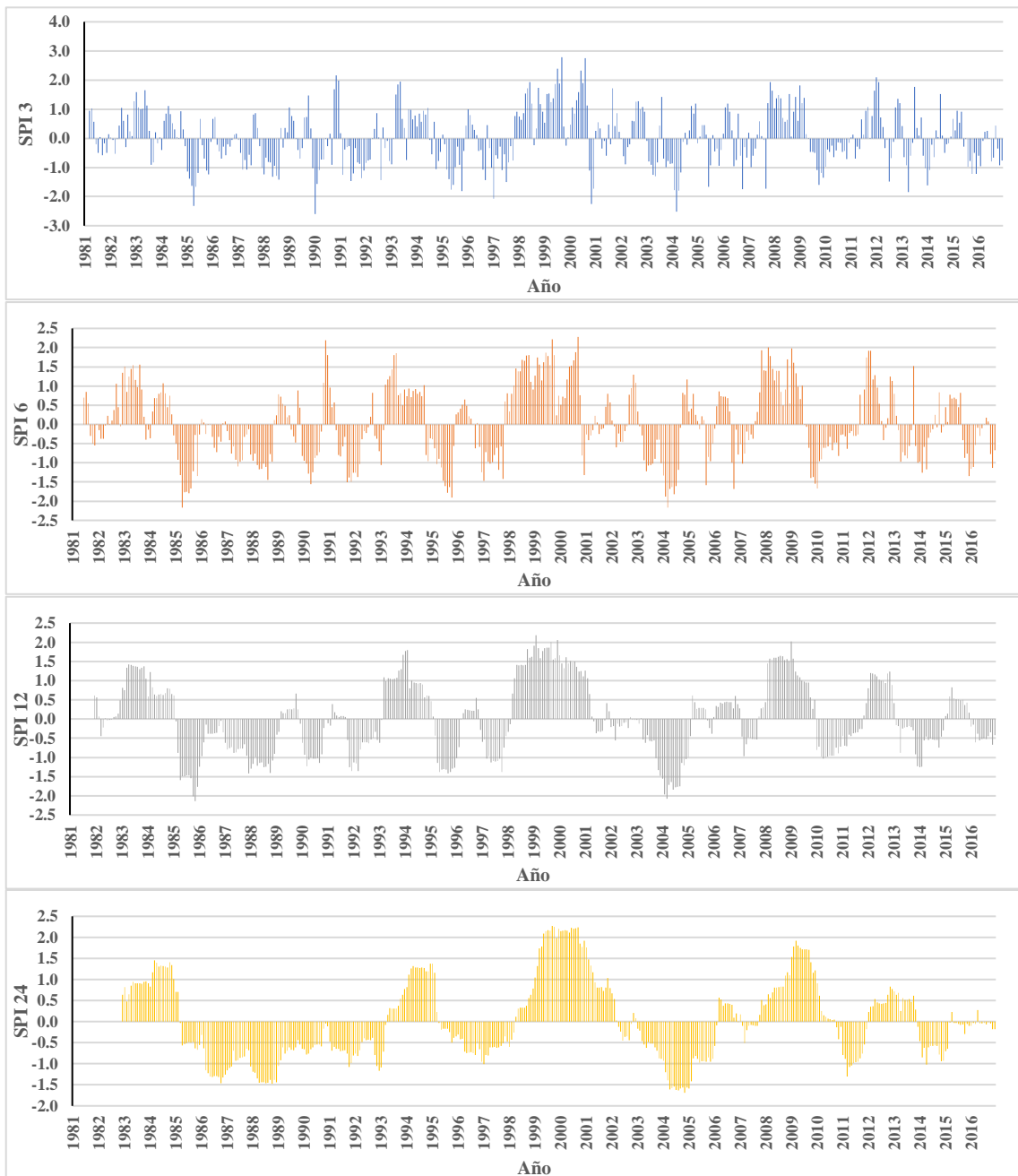
SPEI 3, 6, 12 y 24 para la EM El Limón



En la Figura 19, se puede apreciar que, para la EM Sallique, los años 1985, 1990, 1997, 2000 y 2004 registraron sequías extremas según el SPI 3, del mismo modo, según el SPI6 se registraron sequías extremas para los años 1985 y 2004, así mismo, según el SPI12 se registró sequía extrema para los años 1985 y 2004, por último, según el SPI 24 no se registraron años con sequía extrema.

Figura 19.

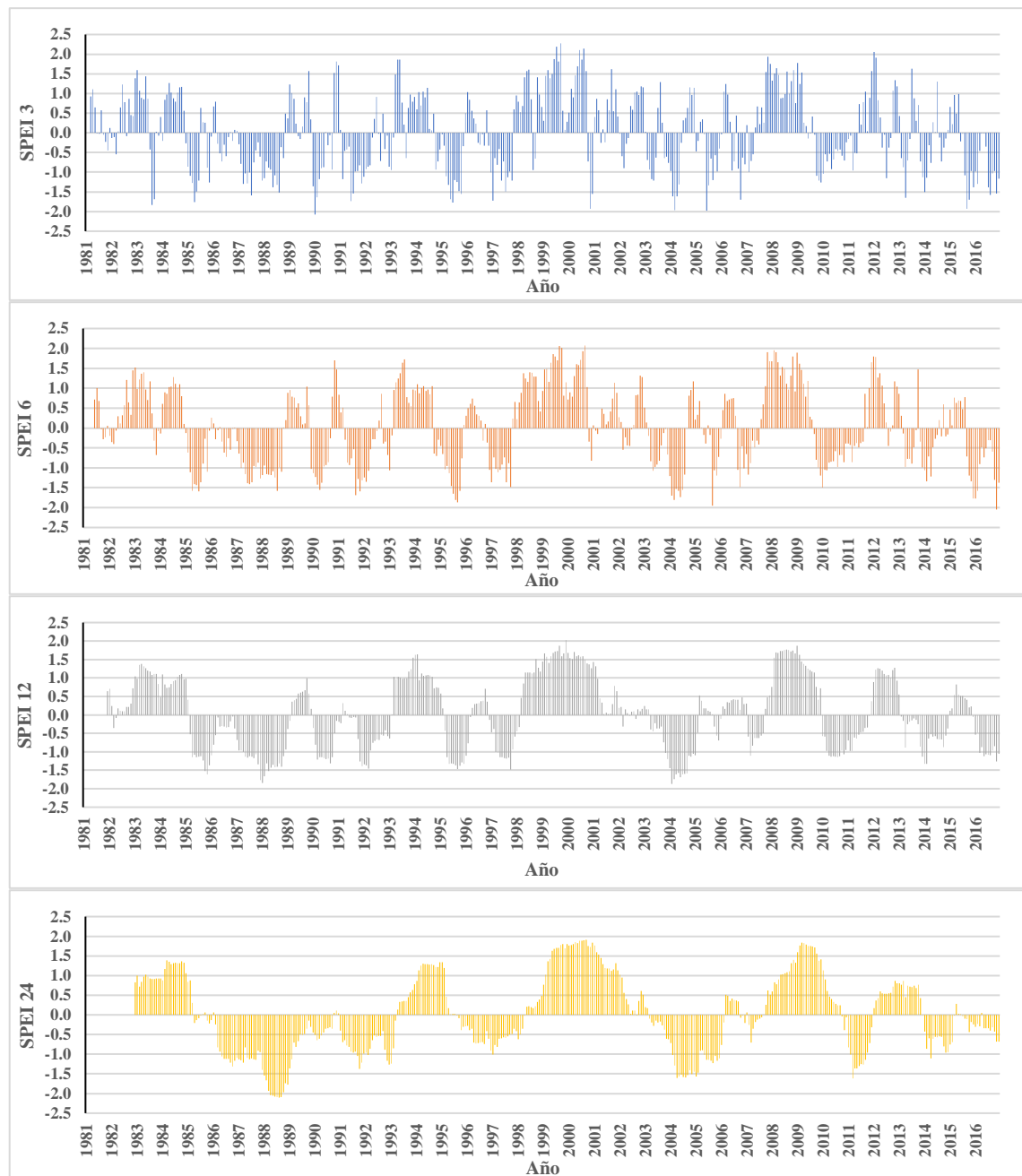
SPI 3, 6, 12 y 24 para la EM Sallique



En la Figura 20, se puede apreciar que, para la EM Sallique, el año 1990 registró datos de sequías extremas según el SPEI 3, del mismo modo, según el SPEI6 se registraron sequías extremas para el año 2016, así mismo, según el SPEI12 no se registraron sequías extremas, por último, según el SPEI24 se registraron sequías extremas para el año 1988.

Figura 20.

SPEI 3, 6, 12 y 24 para la EM Sallique



3.4. Evaluación de SPI y SPEI.

Para determinar la relación entre el SPI y SPEI, además de la confiabilidad de los datos, se procedió a calcular el coeficiente de correlación de Pearson, tales resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

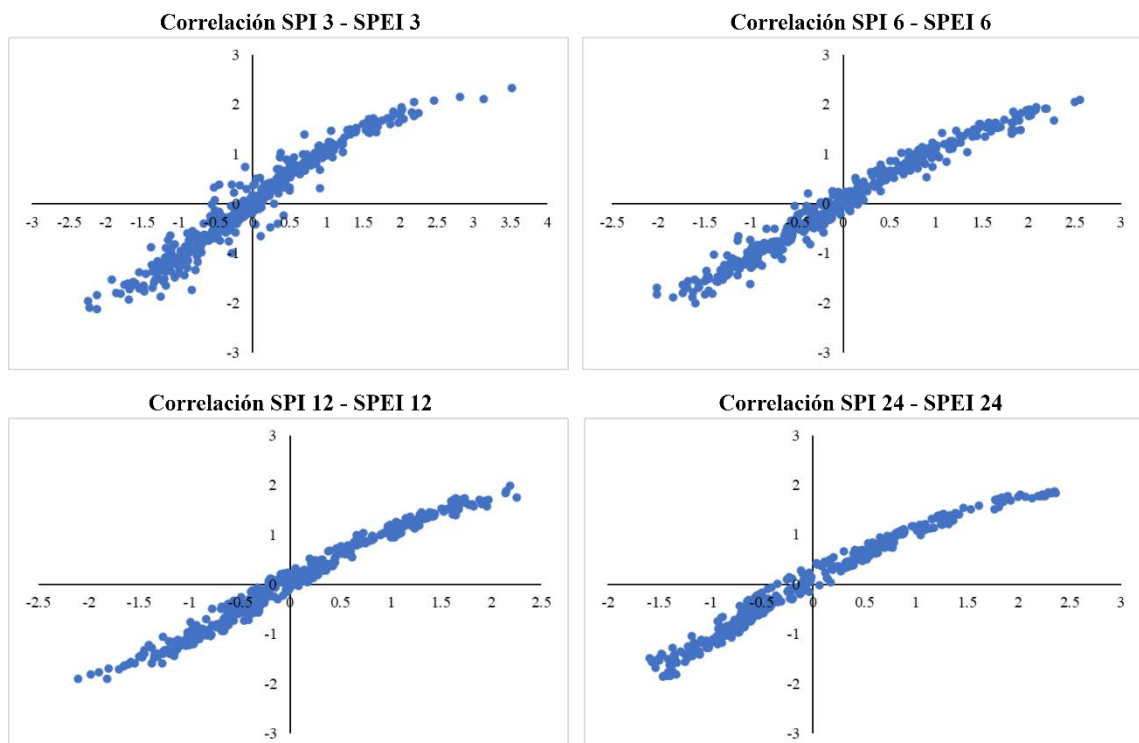
Coefficiente de correlación de Pearson del SPI - SPEI.

EM	SPI - SPEI			
	3	6	12	24
Chontalí	0.970	0.984	0.989	0.981
Cascarilla	0.983	0.991	0.994	0.801
El Limón	0.819	0.906	0.921	0.914
Sallique	0.939	0.971	0.977	0.971

Por otra parte, en la Figura 21, se muestra la correlación de los valores de SPI – SPEI de la estación meteorológica Chontalí para los meses 3, 6, 12 y 24.

Figura 21.

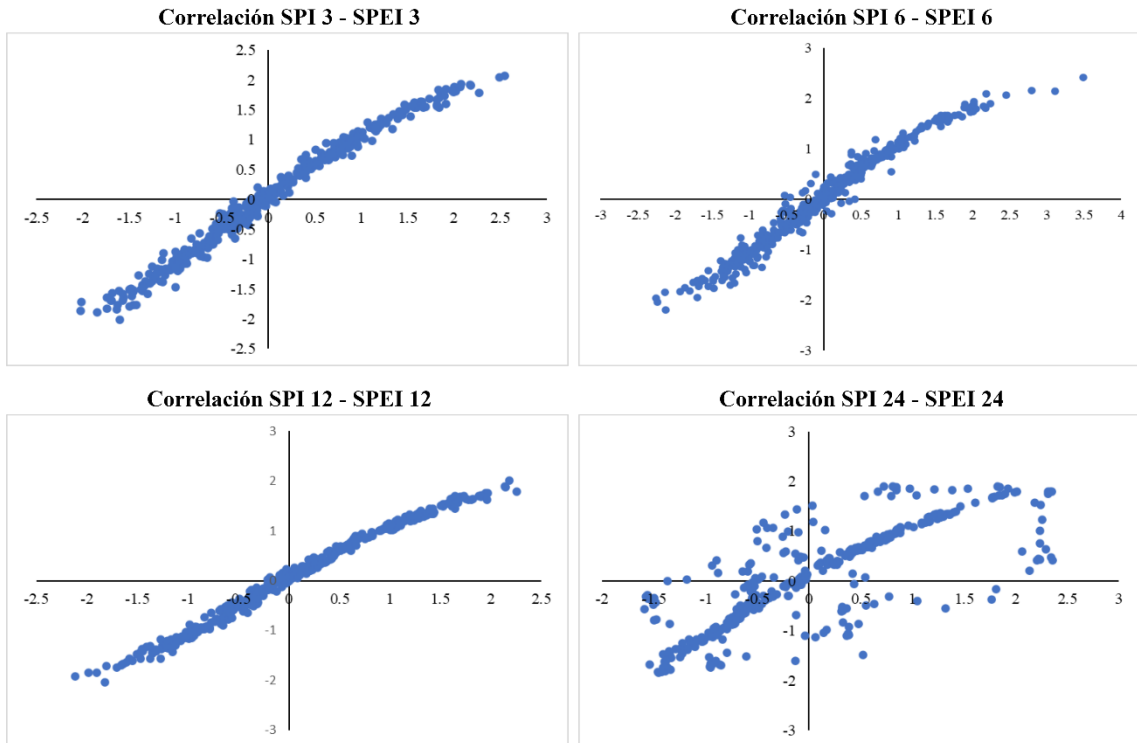
Correlación de SPI e SPEI 3, 6, 12 y 24 Chontalí



Por otra parte, en la Figura 22, se muestra la correlación del SPI – SPEI de la estación meteorológica Cascarilla para los meses 3, 6, 12 y 24.

Figura 22.

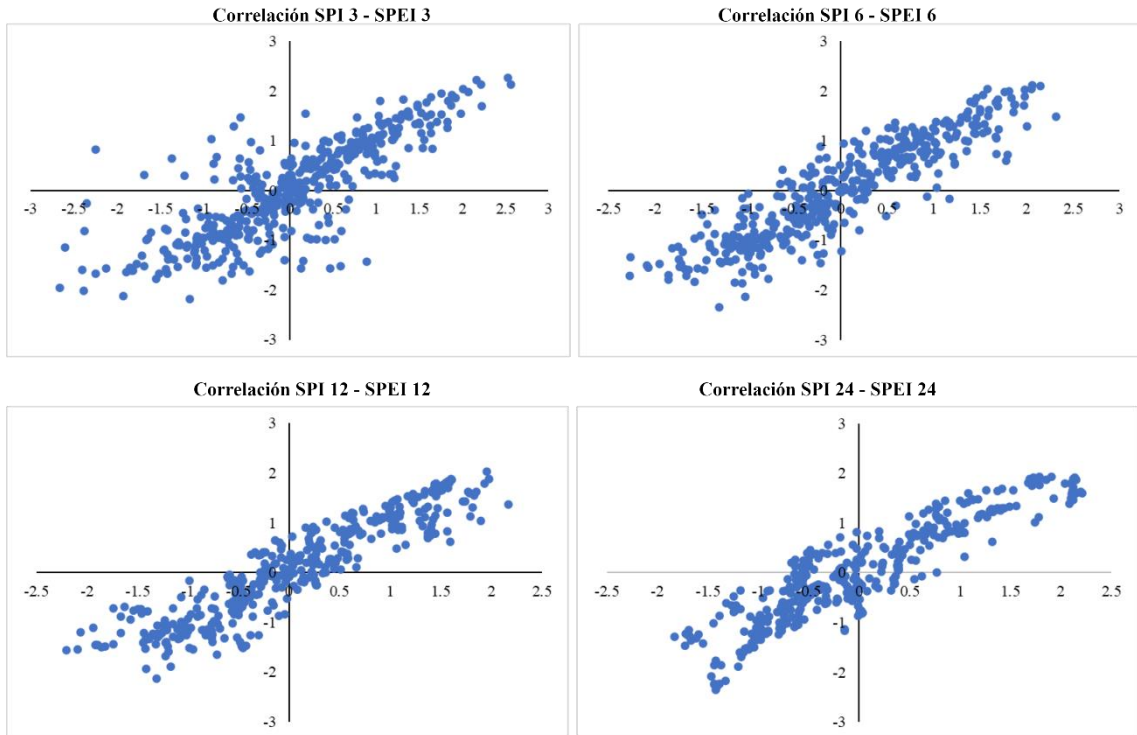
Correlación de SPI e SPEI 3, 6, 12 y 24 Cascarilla



En la Figura 23, se muestra la relación lineal moderada del SPI – SPEI de la estación meteorológica El Limón para los meses 3, 6, 12 y 24.

Figura 23.

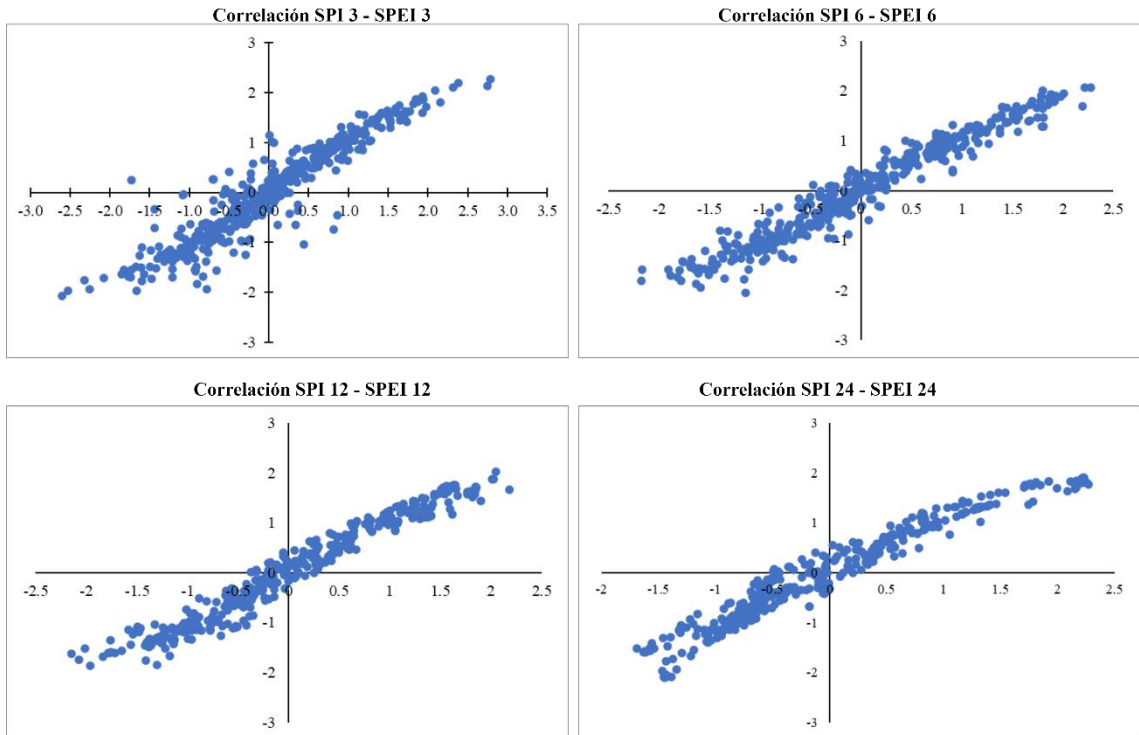
Correlación de SPI e SPEI 3, 6, 12 y 24 El Limón



En la Figura 24, se muestra la relación lineal del SPI – SPEI de la estación meteorológica Sallique para los meses 3, 6, 12 y 24.

Figura 24.

Correlación de SPI e SPEI 3, 6, 12 y 24 Sallique



V. IV. DISCUSIÓN

Las condiciones geográficas y climáticas de la provincia de Jaén propician la ocurrencia regular de sequías como un fenómeno climático constante, reportándose en las últimas décadas un aumento en la frecuencia e intensidad de las sequías, lo que ha generado impactos significativos en el suministro de agua, y en los sectores económicos más dependientes de este recurso (Gobierno Regional de Cajamarca (GRC), 2010).

Esta investigación revela condiciones climáticas extremas de corto y largo plazo, tanto en términos de humedad como de sequía, evaluadas a través del SPI y el SPEI en escala de 3, 6, 12 y 24, para el período comprendido entre 1981 y 2016 en la provincia de Jaén (Figuras 13 a 20). Al igual que, Rascón et al. (2021), para el periodo 1981-2019, a través del SPI y SPEI también determinaron eventos secos y húmedos, pero que fueron clasificados como moderados.

De la misma manera Pei et al., (2020) analizaron el SPI y el SPEI en intervalos de 1, 3, 6 y 12 meses en 102 estaciones meteorológicas desde 1981 hasta 2018. Determinaron que, en períodos más cortos, las disparidades entre el SPI y el SPEI fueron más pronunciadas, mientras que las sequías detectadas por ambos índices tienden a ser más consistentes en escalas temporales más extensas.

Así mismo, según los climogramas presentados en las Figuras 7 y 8, se aprecia que, la disminución de precipitación se suscita desde los meses de junio a setiembre, aproximadamente, siendo los meses de noviembre a abril los de mayor precipitación mensual, una tendencia similar de las precipitaciones en este sector Nororiental del Perú (Vega-Jácome, 2019).

Los eventos extremos encontrados a corta y mediana escala, utilizando con el SPI y SPEI fueron en los periodos 1985-1989, 1995-1988, 2003-2006, 2010-2012 y 2016 teniendo una relación directa con los años en los cuales ocurrió el fenómeno del niño registrado en (1982, 1997 y 2015-2016) (NOAA, 2023). A diferencia de Jin et al., (2019), quienes investigaron eventos climáticos extremos a lo largo de 35 años, e identificando un clima relativamente húmedo hasta 1999, posteriormente, toda la región experimentó un aumento significativo en aridez, evidenciando notoriamente un incremento en la frecuencia e intensidad de las sequías, asociados a fenómenos de variabilidad climática.

Sin embargo, las tendencias observadas por el SPEI son más destacadas en contraste con el SPI y más notables cuando son evaluadas en escalas de tiempo largas, y su intensidad fue significativamente superior. Esto concuerda con Liu et al., (2016) quienes concluyeron que el SPEI resulta apropiado para intervalos temporales más prolongados, como aquellos de 6 meses o más, y presenta un rendimiento superior en zonas semihúmedas y semiáridas en comparación con áreas completamente áridas. Esto se atribuye a la existencia de numerosos valores cercanos a cero o valores máximos extremos en escalas temporales más cortas o en áreas de aridez. Respecto a la temperatura también se evidencia disminuciones en los periodos de estiaje confirmando que la intensidad de la sequía ha aumentado debido a una mayor evaporación atmosférica causada por el incremento de la temperatura (Vicente et al., 2010).

Por otro lado, Jaén y San Ignacio son las principales provincias productoras de café del departamento de Cajamarca (Mincetur, 2009), sin embargo, en los años 1995, 2000, 2005, 2009 y 2015 la producción local disminuyó considerablemente al igual que la producción nacional (Midagri, 2017). La disminución en la producción local estuvo relacionada con la incidencia de plagas, enfermedades y aumento de las sequías reveladas por el SPI y SPEI, repercutiendo en el rendimiento y desarrollo de los frutos (Montero, 2022), por lo tanto, esta investigación servirá de base para predicciones futuras y prevenir la escasez del agua.

VI.V. CONCLUSIONES

Se identificó que, en las cuatro estaciones analizadas, las precipitaciones son menores en los meses de junio – setiembre, y respecto temperatura también se registran variaciones, además, apoyados del análisis de los niveles de sequía en la provincia de Jaén entre 1981 y 2016, utilizando el SPI y el SPEI se identificaron periodos significativos de sequía, esto ocurrió en los años 1985-1989, 1995-1998, 2003-2006, 2010-2012 y 2016, coincidiendo claramente con eventos del fenómeno del niño en 1982, 1997 y 2015-2016.

Se determinó que SPI y el SPEI proporcionan una visión complementaria y enriquecedora de las condiciones de sequía en cada escala temporal (3, 6, 12 y 24 meses), lo que permitió una comprensión más holística y detallada de los fenómenos de déficit hídrico, es decir, logramos identificar sequías a corto plazo y largo plazo, mismas que requieren un análisis por separado, ya que su impacto y su ocurrencia es distinto.

VII.VI. RECOMENDACIONES

Para caracterizar las sequías se exhorta tratar de corregir los datos atípicos de tal manera que los resultados sean más confiables, del mismo modo si se quiere un estudio más completo se recomienda usar más índices por ejemplo el Índice de Precipitación Deficitaria (PDSI), Índice de Anomalía de Precipitación (SPIA), Índice de Escasez de Precipitación (PSI), Índice de Sequía de Reconstrucción Basado en Árbol (PDSI-TR) de tal manera que nos permita tener una imagen más completa y robusta de las condiciones de sequía en una región específica.

La caracterización detallada de estos eventos de sequía es esencial para la planificación y gestión adecuada de los recursos hídricos, así como para el desarrollo de estrategias de adaptación frente a la variabilidad climática y el cambio climático, con el objetivo de promover la resiliencia de los ecosistemas y comunidades vulnerables a los efectos de la sequía.

VIII.VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, J. (2019). *Evaluación de Sequías Regionales a partir del uso integrado de Gobierno Regional de Cajamarca (GRC)*. (2010). *Zonificación Ecológica y Económica Como Base Para El Ordenamiento Territorial Del Departamento De Cajamarca* (p. 281).
- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2020). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Cairampoma, J. (2021). *Análisis de Sequías Ssando Series Sinteticas en la Cuenca del Río Mantaro*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Carrasco, J. (2018). *Caracterización de sequías meteorológicas en lacuenca Alto Jequetepeque mediante índiceestandarizado de precipitación y evapotranspiración*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cheval, S. (2015). The Standardized Precipitation Index-an overview. In *Issues* (Vol. 12, Issue 2).
- Díaz, W., & Tarrillo, A. (2021). *Estimación del Ruido Mediante el Desarrollo de una Red Neuronal Artificial en el Área Urbana de Jaén, Cajamarca*.
- Endara, S. (2019). *Monitoreo de Sequías para Sistemas de Alerta Temprana*.
- Endara, S., Acuña, J., Vega, F., Febre, C., Correa, K., & Ávalos, G. (2019). Caracterización Espaciotemporal de la Sequía en los Departamentos Alto andinos del Peru (1981-2018). *Senamhi*.
- Espinoza, J., Ronchail, J., Lavado, W., Santini, W., Vauchel, P., Pombosa, R., Villacís, M., Carranza, J., Junquas, C., Drapeau, G., & Guyot, J. (2011). Las recientes sequías en la cuenca amazónica peruana: Orígenes climáticos e impactos hidrológicos. *REVISTA PERUANA GEO-ATMOSFÉRICA RPGA*, 3, 63–72. www.senamhi.gob.pe
- Gálvez, P. (2017). *Caracterización de las Sequías Históricas y Proyectadas Bajo Escenarios de Cambio Climático en la Cuenca del Río Mantaro*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Guttman, N. (1999). Accepting the Standardized Accepting the Standardized Precipitation Index: A Calculation Algorithm. *JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION*, 35(2).
- Huaccha, A. (2017). *Mejoramiento del Sistema de Gestion Integral de Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio del Distrito y Provincia de Jaén, Departamento de Cajamarca, Perú*.
- Indeci. (2005). *Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de Jaén*.

- INEI. (2017). *Resultados Definitivos de los Censos Nacionales 2017*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1558/
- Jin, L., Zhang, J., Wang, R., Zhang, M., Bao, Y., Guo, E., & Wang, Y. (2019). Analysis for spatio-temporal variation characteristics of droughts in different climatic regions of the Mongolian Plateau based on SPEI. *Sustainability (Switzerland)*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/su11205767>
- Khan, N., Sachindra, D. A., Shahid, S., Ahmed, K., Shiru, M. S., & Nawaz, N. (2020). Prediction of droughts over Pakistan using machine learning algorithms. *Advances in Water Resources*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103562>
- Li, Q., Cao, Y., Miao, S., & Huang, X. (2022). Spatiotemporal Characteristics of Drought and Wet Events and Their Impacts on Agriculture in the Yellow River Basin. *Land*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/land11040556>
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q., & Wang, J. (2021). Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80527-3>
- Liu, S., Kang, W., & Wang, T. (2016). Drought variability in Inner Mongolia of northern China during 1960–2013 based on standardized precipitation evapotranspiration index. *Environmental Earth Sciences*, 75(2), 145. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4996-0>
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In *Eighth Conference on Applied Climatology*.
- Midagri. (2017). *Linea de Base del Sector Café en el Perú*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/2017/pncafe/sector-cafe-peru.pdf>
- Midagri. (2020). *Cajamarca Informe Final*. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/organizaciones/dgpa/documentos/estudio_cacao/4_3_2cajamarca_informe_final.pdf
- Mincetur. (2009). *Capacitación en Temas de Organización, Producción y Comercialización del Sector Agro en Cajamarca y Cuidades*. https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/Sites/ueperu/licitacion/pdfs/Informes/5.pdf
- Montero, F. (2022). *Estimación del uso del agua de plantas de café (Coffea arabica L.) cultivadas al sol y a la sombra*. Universidad de Costa Rica.
- Mulualem, G. M., & Liou, Y. A. (2020). Application of artificial neural networks in forecasting a standardized precipitation evapotranspiration index for the upper Blue Nile basin. *Water (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/w12030643>
- NOAA. (2023). *Cold & Warm Episodes by Season*. www.nws.noaa.gov

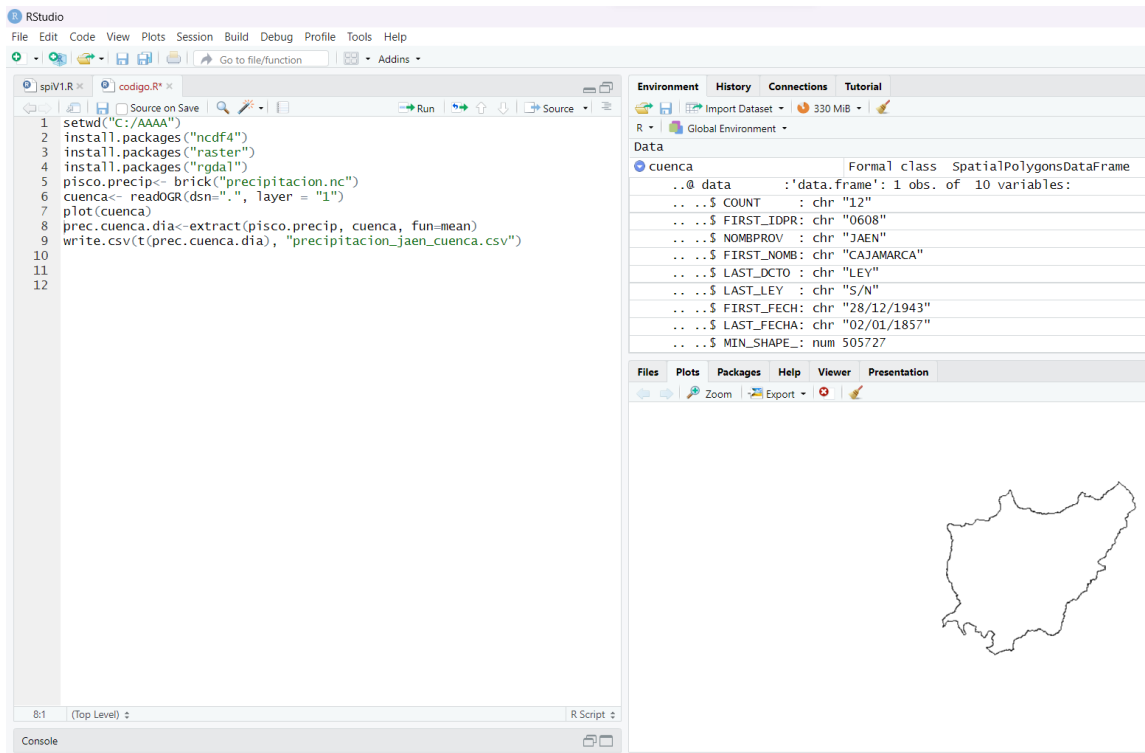
- Olivares, B., & Zingaretti, M. L. (2018). Análisis de la sequía meteorológica en cuatro localidades agrícolas de Venezuela mediante la combinación de métodos multivariados. *UNED Research Journal*, 10(1). <https://doi.org/10.22458/urj.v10i1.2026>
- OMM. (2012). *Índice normalizado de precipitación - Guía del usuario*. https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf
- Pei, Z., Fang, S., Wang, L., & Yang, W. (2020). Comparative analysis of drought indicated by the SPI and SPEI at various timescales in inner Mongolia, China. *Water (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/w12071925>
- Rascón, J., Gosgot Angeles, W., Quiñones Huatangari, L., Oliva, M., & Barrera Gurbillón, M. Á. (2021). Dry and Wet Events in Andean Populations of Northern Peru: A Case Study of Chachapoyas, Peru. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 614438. <https://doi.org/10.3389/FENVS.2021.614438/BIBTEX>
- Sein, Z. M. M., Zhi, X., Ogou, F. K., Nooni, I. K., Lim Kam Sian, K. T. C., & Gnitou, G. T. (2021). Spatio-temporal analysis of drought variability in myanmar based on the standardized precipitation evapotranspiration index (Spei) and its impact on crop production. *Agronomy*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy11091691>
- Tanaka, G. (2017). *Terminal Terrestre Interprovincial de Jaén-Cajamarca*. Universidad de San Martín de Porres.
- Vargas, J., & Paneque, P. (2019). Challenges for the integration of water resource and drought-risk management in Spain. *Sustainability (Switzerland)*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/su11020308>
- Vega-Jácome, F. (2019). Respuesta de la vegetación a diferentes escalas temporales de sequía en los Andes peruanos. In Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. Dirección de Hidrología –DHI (p. 36).
- Veneros, J., & García, L. (2021). Application of the standardized vegetation index (svi) and google earth engine (gee) for drought management in Peru. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(1). 10.56369/tsaes.3784
- Vicente, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Weather Atlas. (2023). *Clima y Prevision Metereológica Mensual Jaén, Perú*. <https://www.weather-atlas.com/es/peru/jaen-clima>
- Yang, R., & Xing, B. (2022). Evidence for Intensification in Metereological Drought Since the 1950s and Recent Dryness-Wetness Forecasting in China. *Atmosphere*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/atmos13050745>
- Yao, N., Li, L., Feng, P., Feng, H., Li Liu, D., Liu, Y., Jiang, K., Hu, X., & Li, Y. (2020). Projections of drought characteristics in China based on a standardized precipitation

and evapotranspiration index and multiple GCMs. *Science of the Total Environment*, 704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135245>

Zapana, M. (2019). *Análisis de la Sequía Meteorológica de la Intercuenca Alto Apurímac y las Cuencas Alto Apurímac y las Cuencas Alto Urubamba y Yavero Utilizando el Método de L-Momentos.*
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4107/zapana-quispe-melania-mabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Imagen 01: Descarga de datos PISCO (Precipitación, temperatura máxima y mínima) de la provincia de Jaén en R estudio.



The screenshot displays the RStudio interface with the following components:

- Source Editor:** Contains R code for setting the working directory, installing packages (ncdf4, raster, rgdal), reading PISCO precipitation data, and plotting the province boundary.
- Environment:** Shows the 'cuenca' object as a 'SpatialPolygonsDataFrame' with 10 variables.
- Plots:** Displays a simple black outline map of the province of Jaén.

```
1 setwd("C:/AAAA")
2 install.packages("ncdf4")
3 install.packages("raster")
4 install.packages("rgdal")
5 pisco.precip<- brick("precipitacion.nc")
6 cuenca<- readOGR(dsn=".", layer = "1")
7 plot(cuenca)
8 prec.cuenca.dia<-extract(pisco.precip, cuenca, fun=mean)
9 write.csv(t(prec.cuenca.dia), "precipitacion_jaen_cuenca.csv")
10
11
12
```

Data	
cuenca	Formal class 'SpatialPolygonsDataFrame'
..@ data	: 'data.frame': 1 obs. of 10 variables:
.. ..\$ COUNT	: chr "12"
.. ..\$ FIRST_IDPR	: chr "0608"
.. ..\$ NOMBPROV	: chr "JAEN"
.. ..\$ FIRST_NOMB	: chr "CAJAMARCA"
.. ..\$ LAST_DCTO	: chr "LEY"
.. ..\$ LAST_LEY	: chr "S/N"
.. ..\$ FIRST_FECH	: chr "28/12/1943"
.. ..\$ LAST_FECHA	: chr "02/01/1857"
.. ..\$ MIN_SHAPE_	: num 505727

Imagen 02: Cálculo de SPI_{3,6,12} y 24 con data corregida de la estación meteorológica Cascarilla en R estudio.

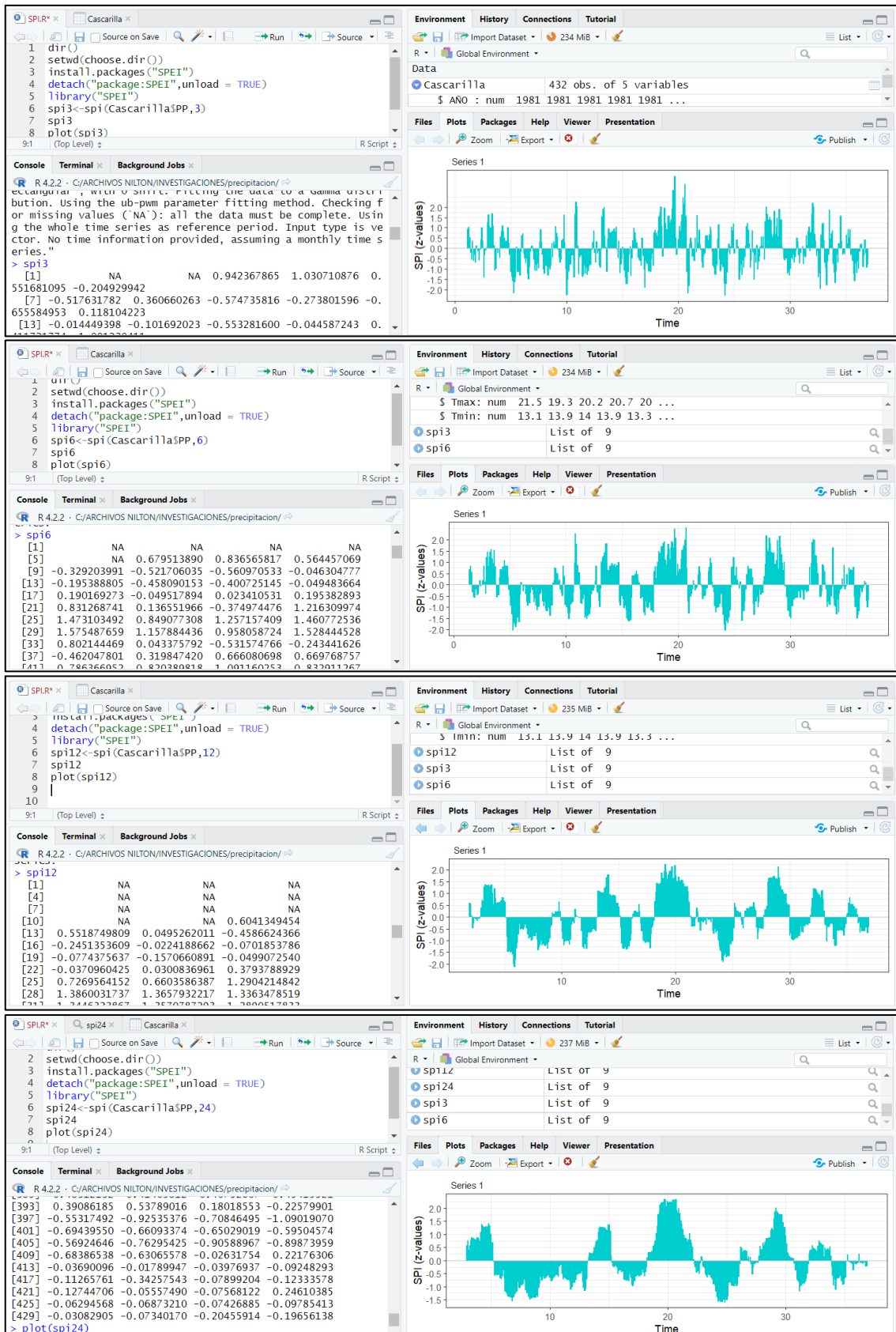


Imagen 03: Cálculo de SPI,3,6,12 y 24 con data corregida de la estación meteorológica Chontali en R estudio.

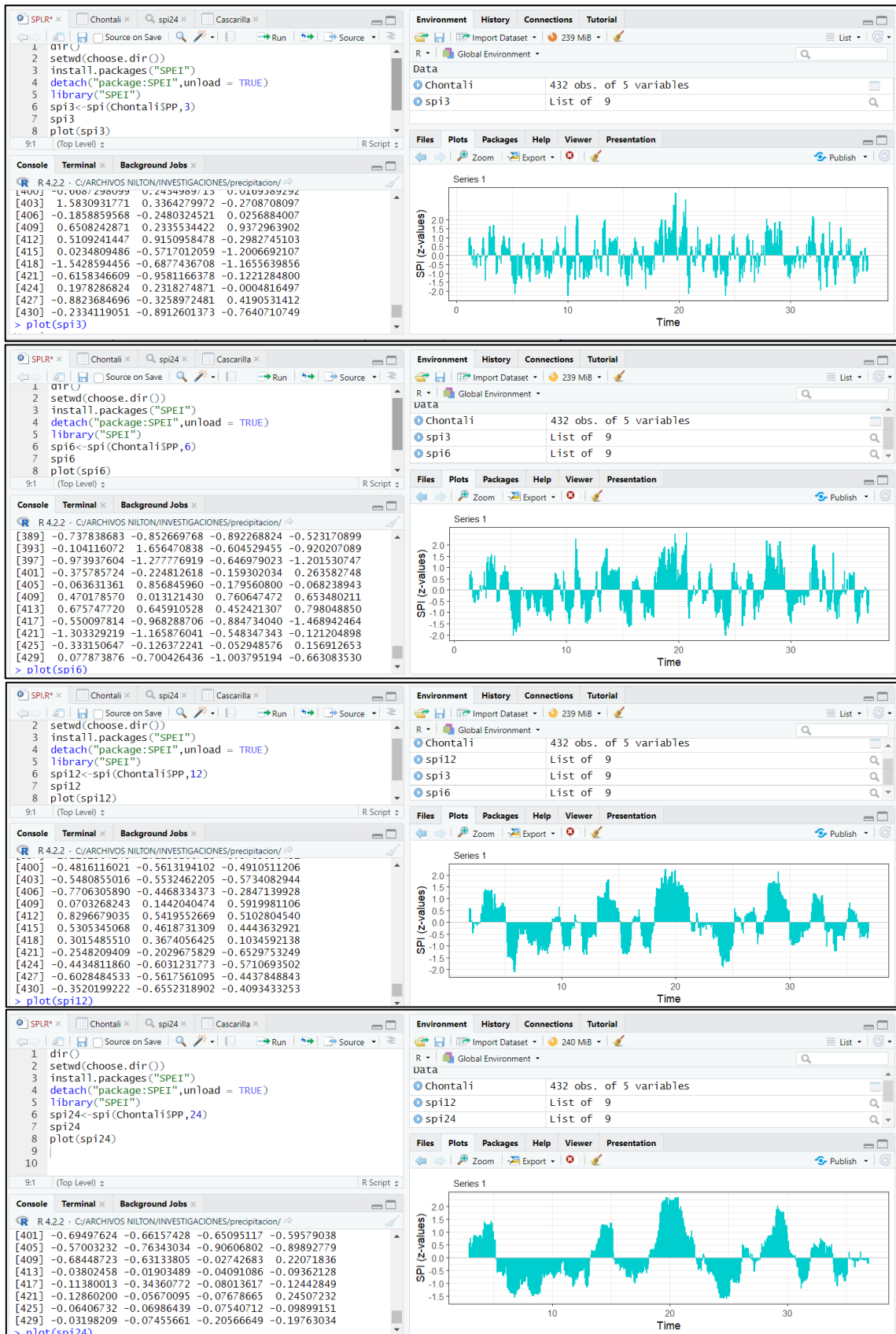


Imagen 04: Cálculo de SPI,3,6,12 y 24 con data corregida de la estación meteorológica Limón en R estudio.

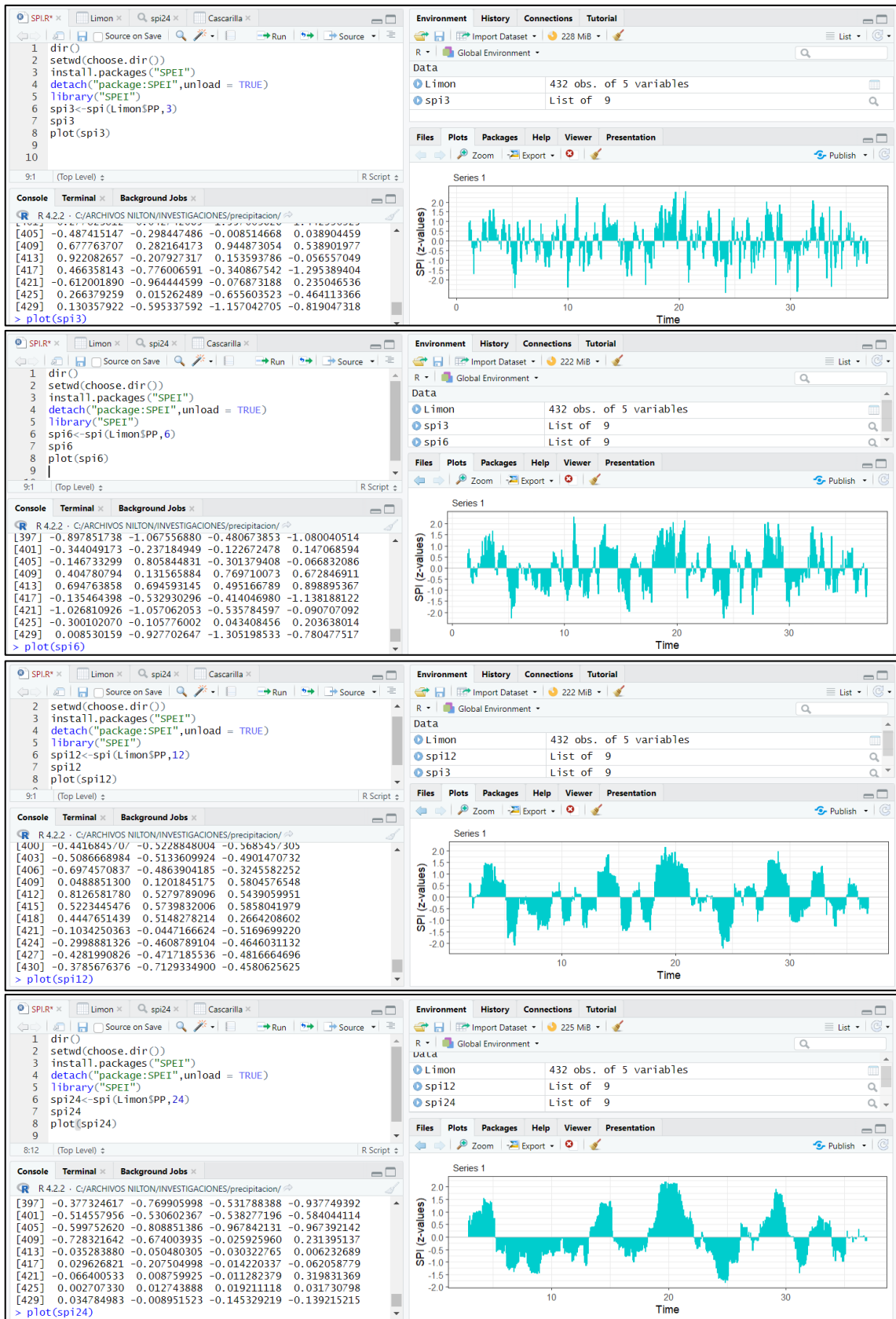


Imagen 05: Cálculo de SPI,3,6,12 y 24 con data corregida de la estación meteorológica Sallique en R estudio.

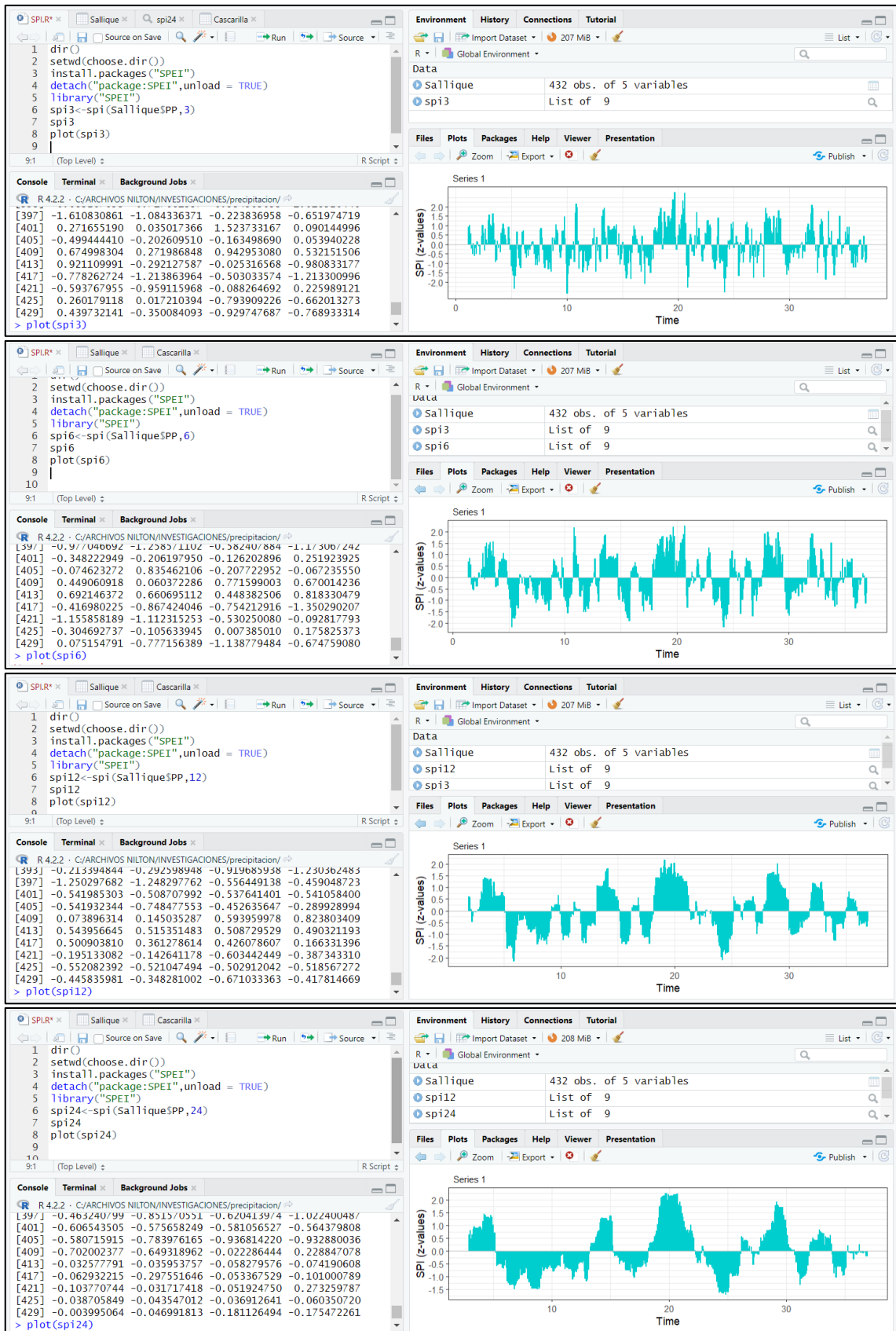


Imagen 06: Cálculo de SPEI,3, 6, 12 y 24 con data corregida con la estación meteorológica Cascarilla en R estudio.

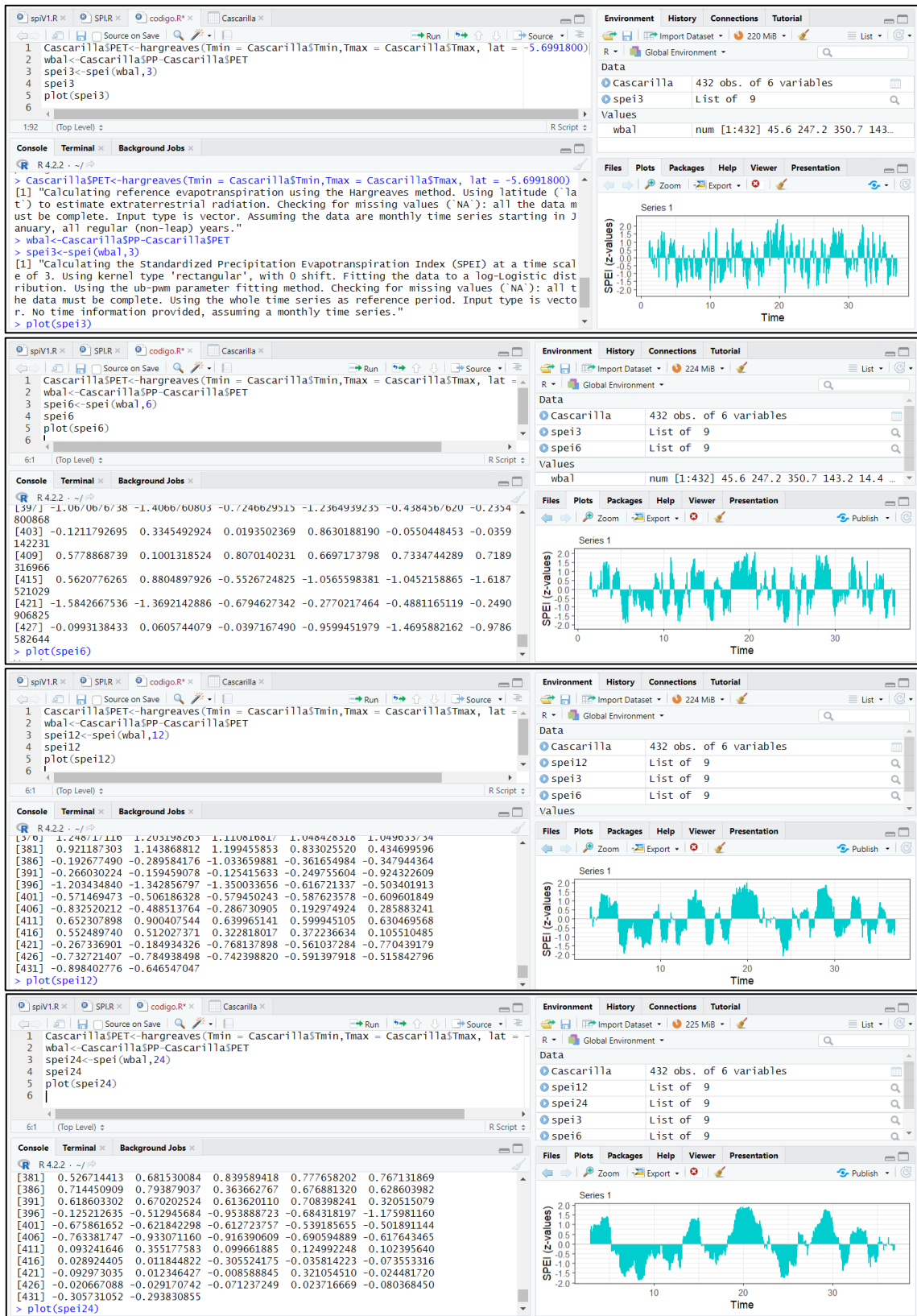


Imagen 07: Cálculo de SPEI, 3, 6, 12 y 24 con data corregida con la estación meteorológica Chontali en R estudio.

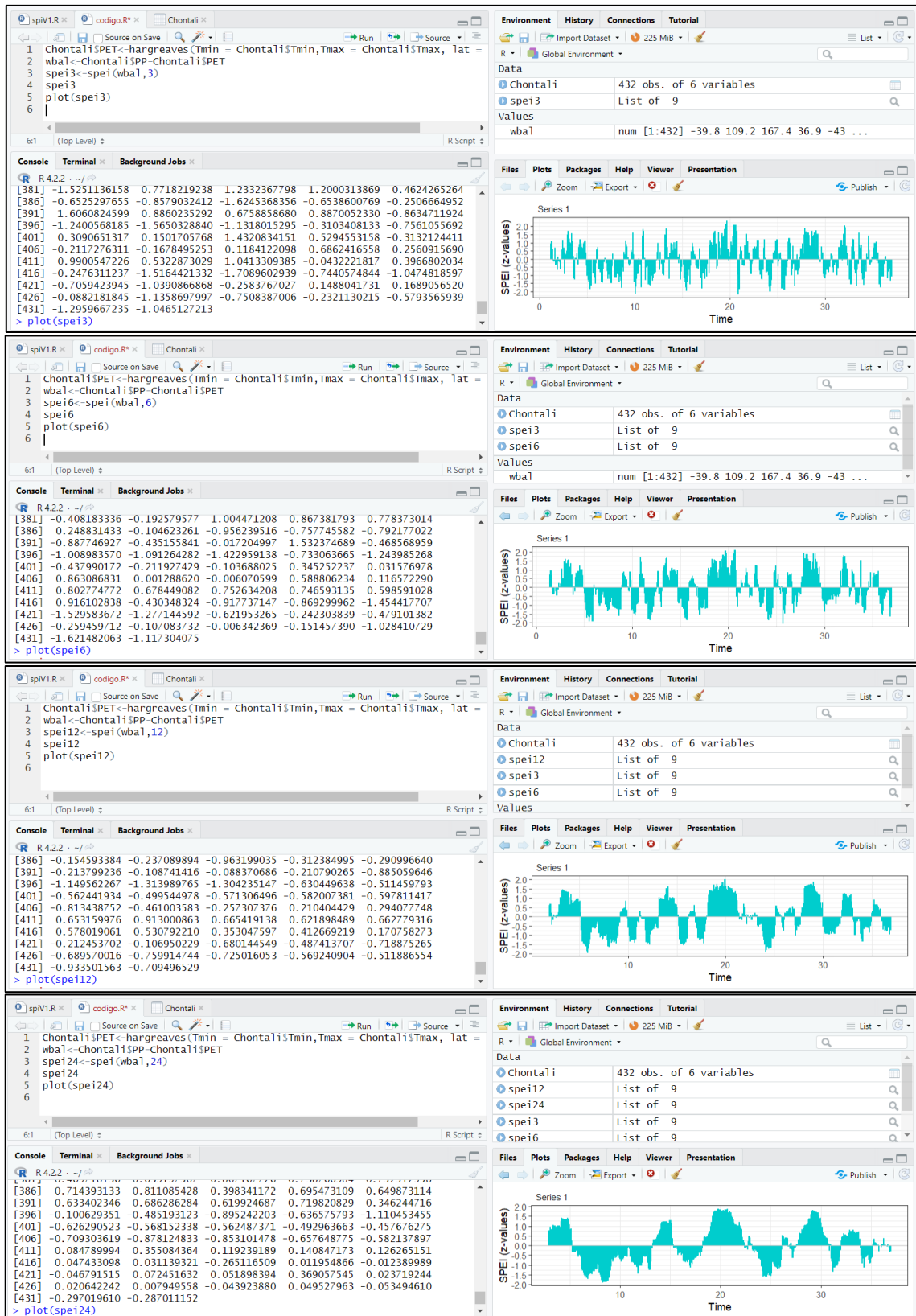


Imagen 08: Cálculo de SPEI,3, 6, 12 y 24 con data corregida con la estación meteorológica Limón en R estudio.

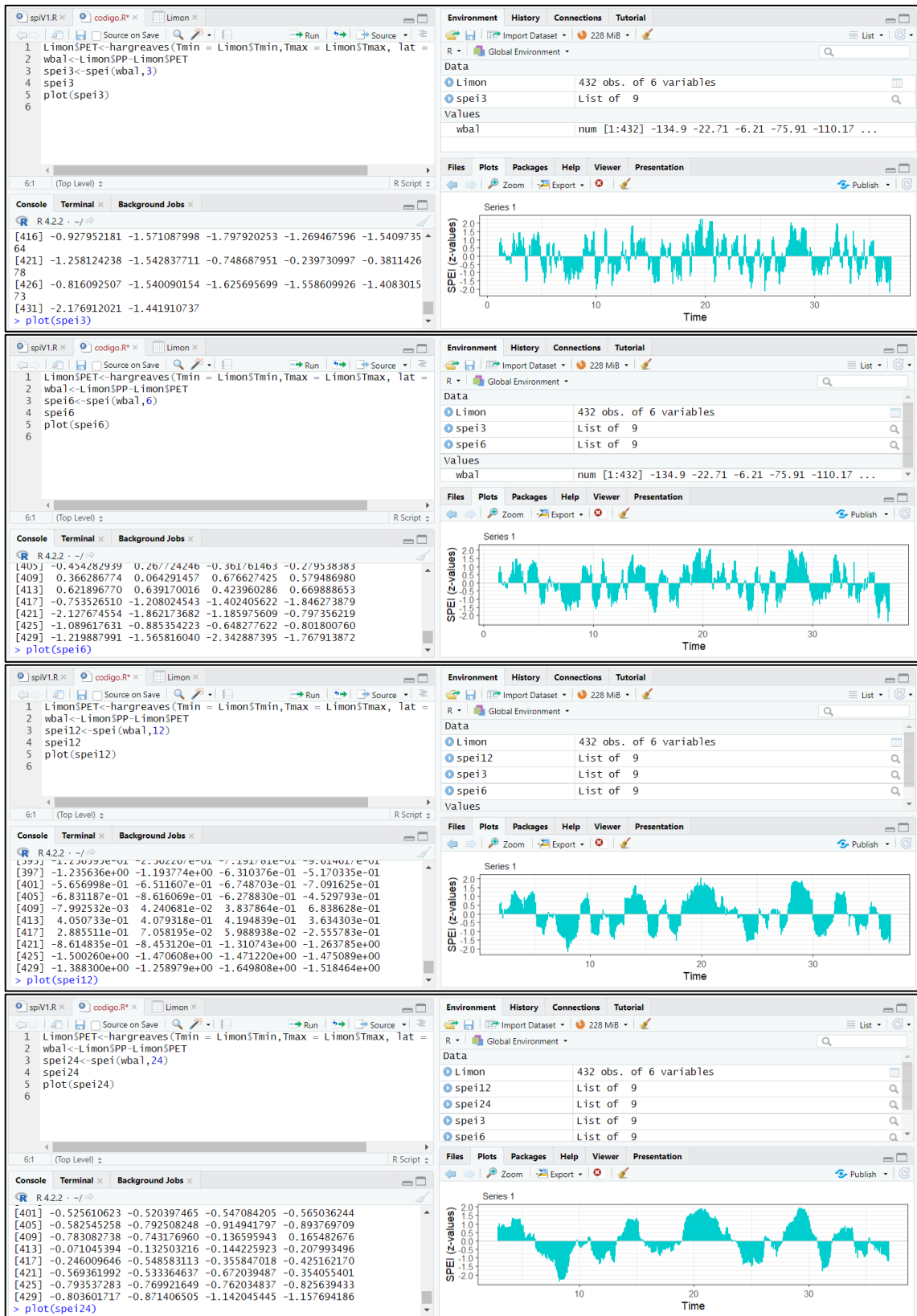


Imagen 09: Cálculo de SPEI,3, 6, 12 y 24 con data corregida con la estación meteorológica Sallique en R estudio.

