

Evaluación Espacio-Temporal de Sequías Usando el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) en el Valle del Mantaro, Perú

Spatio-Temporal Drought Assessment Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) over Mantaro Valley, Peru

Del Piero R. Arana Ruedas^{1,*}, Laura Soto Guerra², Kanchan Popli³, Saadatu Gambo Madaki⁴

Resumen

Perú tiene diversos estudios basados en los Andes Tropicales Peruanos (ATP) y sus efectos en relación al cambio climático. Se ha evidenciado que, debido a las características orográficas, diferentes condiciones de clima son observadas. En ese sentido, los ATP tienen un complejo sistema climático, el cual causa significativa variabilidad mayormente relacionado con el incremento de temperatura y reducción en los patrones de precipitación. Este estudio tuvo como objetivo elaborar la evaluación espacio-temporal de la sequía en el Valle del Mantaro para proporcionar información sobre los eventos locales de cambio climático. Para ello se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI), reconocido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Los resultados han demostrado que casi todas las estaciones tienen clara evidencia de calentamiento a lo largo de los años y solo una disminución de la precipitación en dos de las seis estaciones. Además, el análisis espacio-temporal muestra que alrededor de 30% de los eventos analizados, son sequías, considerando la frecuencia, severidad y duración. En conclusión, se ha demostrado que todas las estaciones analizadas dentro del Valle del Mantaro tienen el mismo comportamiento en cuanto a características de sequía con diferente frecuencia máxima por escala de tiempo. Finalmente, se recomienda mantener el seguimiento a las estaciones con la disponibilidad de datos más baja, realizar análisis de comparación con diferentes métodos de evaluación de sequías y estudiar la correlación entre sequías y eventos ENOS y otros eventos climáticos como inundaciones.

Palabras clave: Cambio climático; Sequía; SPEI; Valle del Mantaro; Andes Tropicales Peruanos.

Abstract

Peru has several studies based on the Peruvian Tropical Andes (PTA) and its effects due to climate change. It has been shown that due to orography characteristics, different kinds of climate conditions are seen. In that sense, the PTA has a very complex climate system, which causes significant variability mostly related to an increase in temperature and a decrease in precipitation patterns. The Mantaro Valley is located in the PTA, Junin region. Where vulnerable farmers are already affected by poverty, practice agriculture based on rain-fed cropping systems. Hence, climate variability causes agricultural vulnerability and water resource scarcity. This study aims to elaborate the Spatio-temporal drought assessment over Mantaro Valley to provide information on local climate change events. In order to do so, the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), recognized by the World Meteorological Organization (WMO), was used. The results have shown that almost every station has clear evidence of warming over the years and only a precipitation decrease in two out of six stations. Furthermore, the Spatio-temporal analysis shows around 30% of drought events from the total data, considering the frequency, severity, and duration. In conclusion, it has been demonstrated that all analyzed stations within Mantaro Valley have the same department regarding drought characteristics with different highest frequency per time scale. Finally, it is recommended to keep tracking stations with the lowest available data, realize comparison analysis with different drought assessment methods, and study the correlation between drought and ENSO events and other climate events such as floods.

Keywords: Climate Change; Drought; SPEI; Mantaro Valley; Peruvian Tropical Andes.

Recibido: 20/01/2023

Aceptado: 07/08/2023

Publicado: 08/08/2023

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: darana@continental.edu.pe

Introducción

Los recursos hídricos son cruciales para satisfacer las necesidades humanas y aumentar la productividad económica; sin embargo, la falta de correlación entre la oferta y la demanda puede hacer retroceder gravemente el desarrollo nacional (T. Wang et al., 2022) y el nivel socioeconómico de una región. Especialmente, aquellos donde se practica mucho la agricultura (Ashraf et al., 2022). Desafortunadamente, un evento natural, como la sequía, amenaza la productividad agrícola. Por ejemplo, los estudios sugieren que la producción agrícola mundial se redujo en un 10 % entre 1964 y 2007 debido a eventos de sequía (Javed et al., 2021), y también se espera que durante el siglo actual, la producción agrícola disminuya

en un 10 % y 20 %. % por la misma razón (Wongchuig et al., 2018). Estos eventos de sequía han incrementado su gravedad debido al cambio climático.

¹Universidad Continental, Campus Huancayo, Av. San Carlos 1980, Urb. San Antonio, Huancayo, Junin, Peru, darana@continental.edu.pe ORCID: [0000-0002-3682-5405](https://orcid.org/0000-0002-3682-5405)

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Prolongación Primavera 2390, Santiago de Surco, Lima, Peru, laurasg.23@hotmail.com ORCID: [0000-0002-1636-6758](https://orcid.org/0000-0002-1636-6758)

³Hallym University, Gangwon-do, Chuncheon-si, Hallimdaehak-gil-1, Republic of Korea; kanchan.popli34@gmail.com ORCID: [0000-0002-0226-2704](https://orcid.org/0000-0002-0226-2704)

⁴National Council on Climate Change, 14 Visitula Close, Panama Street, Maitama, FCT, Nigeria; saadatgam90@gmail.com ORCID: [0000-0003-4508-0473](https://orcid.org/0000-0003-4508-0473)

Como citar: Arana Ruedas, D. P. R., Soto Guerra, L., Popli, K., & Gambo Madaki, S. (2023). Evaluación Espacio-Temporal de Sequías Usando el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) en el Valle del Mantaro, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(3), 159–170. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.525>



Los patrones de precipitación cambian en sus características de frecuencia, severidad y duración, aumentando el riesgo de inundaciones y sequías (Abdulla, 2020; Ezaz et al., 2022; Sarkar & Maity, 2020). Principalmente, la sequía afecta fuertemente las actividades agrícolas y el suministro de agua dulce (Gumbo et al., 2021; Kalair et al., 2019; Lychuk et al., 2021; Mengistu et al., 2021; Qi et al., 2021; Shagega et al., 2020; Zhuang et al., 2018).

Varios estudios se basan en los Andes Tropicales Peruanos (ATP) y sus efectos en relación al cambio climático. Los ATP muestra que los cambios geográficos provocan diversas condiciones climáticas (Zárate Malpica & Miranda Zambrano, 2017). En ese sentido, los ATP tiene un sistema climático muy complejo, lo que provoca una importante variabilidad (Callañaupa Gutierrez et al., 2021). Se menciona (Kronenberg et al., 2016) que estudios recientes en los ATP respecto a patrones de precipitación van a tender a disminuir a niveles sin precedentes versus el último milenio.

Agricultores vulnerables en los ATP, ya afectados por la pobreza, desarrollan principalmente una agricultura de subsistencia basada en sistemas de cultivo de secano (Sanabria et al., 2014). En ese sentido, el impacto más relevante en los ATP se debe a cambios en la temperatura y precipitación, que aumentan la vulnerabilidad agrícola (Lozano-Povis et al., 2021). De acuerdo con (Jurt et al., 2015), la disponibilidad futura de agua para uso humano y riego agrícola representa la preocupación más relevante en comunidades los ATP como el Valle del Mantaro, que está compuesto por cuatro provincias (Jauja, Concepción, Chupaca y Huancayo).

El Valle del Mantaro tiene dos temporadas relevantes (Callañaupa Gutierrez et al., 2021); una de lluvias, principalmente de octubre a marzo, y una seca de abril a septiembre. Sin embargo, se observa un sistema climático muy complejo (Saavedra et al., 2020). Las variables climáticas como la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración (ET), menos estudiadas debido a las dificultades de medición, son cruciales para la agricultura y la planificación del abastecimiento de agua (Callañaupa Gutierrez et al., 2021).

Hay razones sólidas para proporcionar a los agricultores y a los formuladores de políticas información climática oportuna y efectiva en condiciones de cambio climático para garantizar su respuesta adaptativa (Ponce, 2020) en el Valle del Mantaro.

En ese sentido, este estudio tiene como objetivo elaborar la evaluación espacio-temporal de la sequía

en el Valle del Mantaro para proporcionar información sobre el cambio climático local utilizando el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) reconocido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (OMM, 2016).

Métodos

La región Junín está ubicada en la zona central de los Andes Tropicales Peruanos (ATP), con 44,329 km². Representando el 3,4% del territorio peruano involucrando dos de las tres regiones geográficas, Andes y Selva, con 20,821 km² (47%) y 23,508 km² (53%), respectivamente. El Valle del Mantaro está ubicado en la zona de los Andes, dividido en cuatro provincias (Chupaca, Huancayo, Concepción y Jauja) (BCR, 2020).

Los datos se recolectaron de seis estaciones meteorológicas con diferentes períodos de conjuntos de datos debido a la disponibilidad de valores de temperatura y precipitación, quedando de la siguiente manera: Chupaca (Huayao: 1990-2021), Huancayo (Santa Ana: 1996-2021 y Viques: 2003-2021), Concepción (Ingenio: 2002-2021), y Jauja (Jauja: 1990-2021 y Ricran: 2003-2021). La precipitación diaria y la temperatura máxima/mínima diaria fueron proporcionadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Además, los datos faltantes se completaron utilizando el Método de Regresión Lineal (MRL) proporcionado por (Caldera et al., 2016).

Basado en el manual de indicadores e índices de sequía de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2016). Se eligió el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI). Este método combina la precisión del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PSDI) con respecto a la evapotranspiración bajo temperaturas cambiantes con el fácil cálculo y el análisis de diferentes escalas de tiempo del Índice de Precipitación Estándar (SPI).

El análisis de la escala de tiempo es fundamental porque el recurso hídrico utilizable varía considerablemente desde la hora de llegada hasta su uso. En ese sentido, el déficit hídrico acumulado para una determinada escala de tiempo es sustancialmente significativo

Además, SPEI es específicamente adecuado para el presente estudio debido a su precisión, la consideración del calentamiento global y la no necesidad de datos de velocidad del viento, agua del suelo y radiación solar.

En ese sentido, el procedimiento para analizar el SPEI se basó en (Vicente-Serrano et al., 2010). Su cálculo se puede realizar mediante el software RStudio debido a su

disponibilidad de un paquete SPEI. Además, el software proporciona (i) Potencial de Evapotranspiración (PET), (ii) Equilibrio Hídrico (WB) y (iii) escalas de tiempo SPEI para 1, 3, 6, 12, 24 y 48 meses. Posteriormente, los valores y categorías del SPEI se muestran en la Tabla N° 1.

Table 1. Valores de SPEI y categorías de sequía

Grado	Valor SPEI	Categoría de Sequía
1	$-0.50 < \text{SPEI}$	Sin sequía
2	$-1.00 < \text{SPEI} \leq -0.50$	Sequía leve
3	$-1.50 < \text{SPEI} \leq -1.00$	Sequía moderada
4	$-2.00 < \text{SPEI} \leq -1.50$	Sequía severa
5	$\text{SPEI} \leq -2.00$	Sequía extrema

Fuente: (Sun et al., 2021)

Resultados y Discusiones

Representación de Precipitación y Temperatura por Estación

Hay evidencia básica de variabilidad climática a lo largo del tiempo y diferencias espacio-temporales entre estaciones dentro de las cuatro provincias. En la estación Huayao-Chupaca, la temperatura entre 1990 y 2021 ha incrementado en $0,4^{\circ}\text{C}$, al mismo tiempo, ha reducido su patrón de precipitación en un 24%

Además, dentro de la provincia de Huancayo, hay dos escenarios diferentes. Por un lado, la estación de Santa Ana presenta un cambio de temperatura neutral desde 1996 hasta 2021 pero un patrón de precipitaciones reducido en un 16%. Por su parte, la estación de Viques ha registrado un aumento de temperatura de $0,7^{\circ}\text{C}$, y su patrón de precipitaciones aumentó un 2% entre 2003 y 2021.

La provincia de Concepción, con la estación Ingenio, también evidencia un aumento de la temperatura de $0,5^{\circ}\text{C}$, y al mismo tiempo, un patrón ascendente cambia en un 30% la precipitación entre 2002 y 2021.

Por su parte, la provincia de Jauja muestra un cambio de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ en relación a su temperatura y un aumento en el cambio del patrón de precipitaciones en un 2% y 36% en las estaciones de Jauja (1990-2021) y Ricran (2003-2021), respectivamente.

En ese sentido, no todas las estaciones tienen la misma tendencia en cuanto a los valores de precipitación

y temperatura. Por ejemplo, (Kronenberg et al., 2016) explica que estudios recientes en los Andes Tropicales Peruanos (ATP) han revelado una disminución en los patrones de precipitación, lo cual se valida en las estaciones de Huayao y Santa Ana pertenecientes a las provincias de Chupaca y Huancayo a pesar de su diferencia en el conjunto de datos.

Sin embargo, la precipitación ha evidenciado una tendencia positiva en las estaciones Ingenio, Jauja y Ricran dentro de las provincias de Concepción y Jauja. Esta variabilidad climática va de la mano con lo dicho por (Anderson et al., 2012), que refiere que en los valles interandinos centrales del Perú por encima de los 3500 m se ha incrementado recientemente el número de eventos de lluvias intensas y heladas tempranas.

Esta diferencia en los patrones de precipitación dentro de un mismo Valle no es nueva ya que (Saavedra et al., 2020) menciona que los patrones de precipitación pueden estar relacionados con el forzamiento topográfico, el cual varía considerablemente entre montañas y valles. Asimismo, lugares como el ATP pueden estar fuertemente modulados por la topografía, tal como lo expresó (Vuille, 2013).

Por otro lado, (Michelutti et al., 2015) menciona que el valor primario de temperatura del aire en lugares como los ATP actualmente está superando los datos meteorológicos históricos. Coincide con 4 de 6 estaciones donde la temperatura ha aumentado dentro del período de conjunto de datos analizado; sin embargo, solo la estación de Ricran evidenció una temperatura mínima de $-0,3^{\circ}\text{C}$.

Además, los modelos regionales muestran que el calentamiento en los ATP aumenta con la altitud (Anderson et al., 2012; Veetil & Simões, 2019). Sin embargo, en el Valle del Mantaro se ha demostrado que, en cuanto a la altitud de la estación, Viques, con la menor altitud, ha experimentado el mayor calentamiento a $+0,7^{\circ}\text{C}$, y Ricran, con la mayor altitud un enfriamiento a $-0,3^{\circ}\text{C}$.

Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI)

SPEI 1 Mes

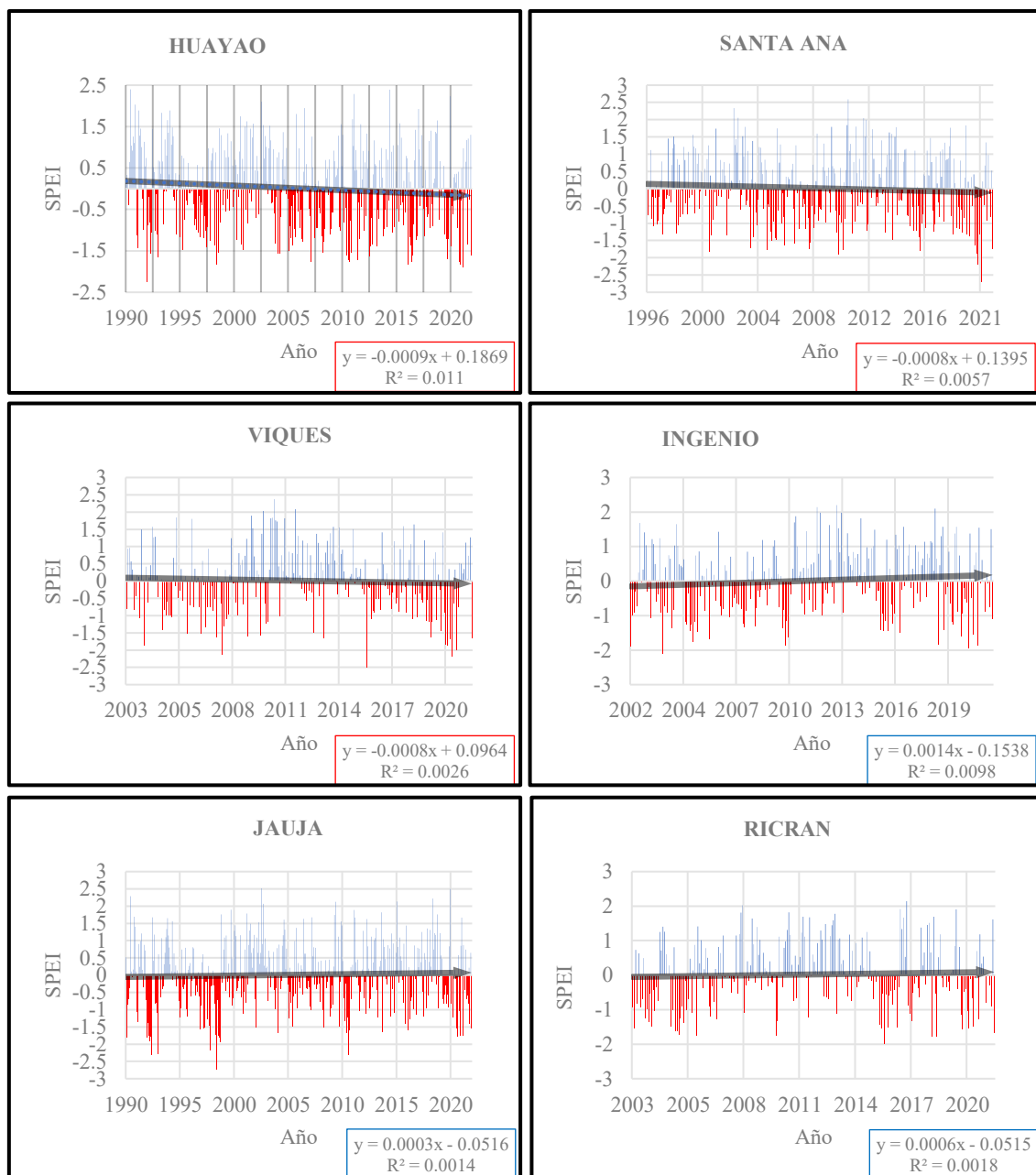


Figura 1: Representación SPEI 1 Mes – Sequía Meteorológica

Hay una tendencia a eventos de sequía en las provincias de Chupaca (Huayao) y Huancayo (Santa Ana - Viques), pero hay un escenario diferente para las provincias de Concepción (Ingenio) y Jauja (Jauja-Rican).

Su porcentaje de ocurrencia por estación, y su total de eventos de sequía es de 30.70%. En tanto, el 69,30% de los eventos están relacionados con “Sin Sequía”.

En base a los eventos de sequía (30,70%), la severidad de la sequía extrema no se evidencia en la estación de Ricran (Jauja) y representa el 2,31% entre las demás. Mientras tanto, la sequía leve, moderada y severa son 48.85%, 31.08% y 17.76%, respectivamente.

Las estaciones con mayor frecuencia de sequía leve, moderada, severa y extrema son Ingenio (Concepción), Huayao (Chupaca), Ricran (Jauja) y Viques (Huancayo), respectivamente. En consecuencia, cada una de estas estaciones tiene un año o años con mayor número de eventos entre el conjunto de datos expresado del 1 al 12 entre enero y diciembre de la siguiente manera: Ingenio (2007) con seis eventos (1, 2, 8, 9, 11, y 12); Huayao (1997, 2005 y 2016) con cuatro eventos (3, 5, 6, 10), (3, 4, 6, 9) y (3, 5, 11, 12) respectivamente; Ricran (2016) con cuatro eventos (1-3-5-11), y Viques (2008, 2016, 2020 y 2021) con un evento (4), (3), (11) y (2), respectivamente.

SPEI 3 Meses

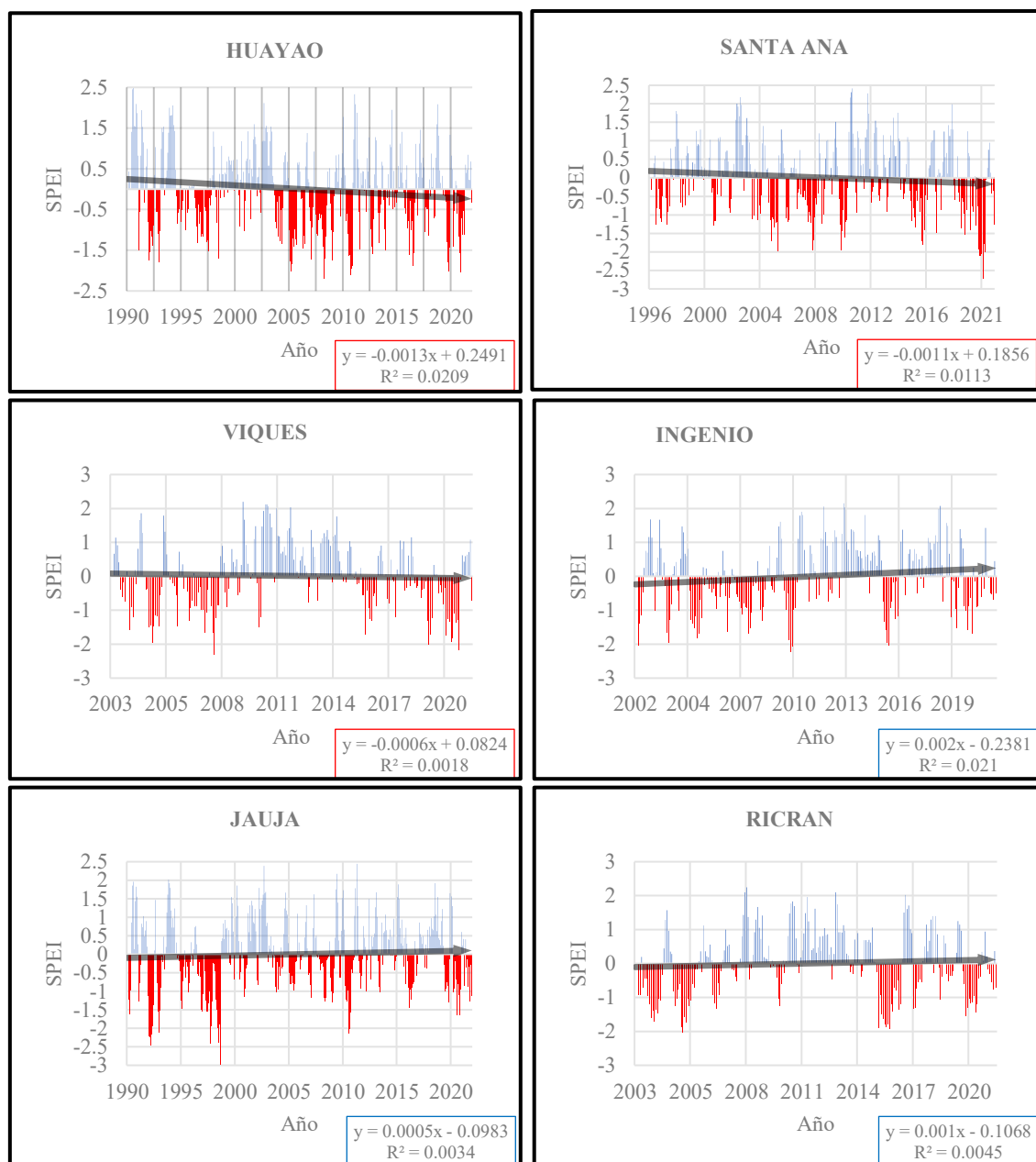


Figura 2: Representación SPEI 3 Meses – Sequía Meteorológica

Hay una tendencia a eventos de sequía en las provincias de Chupaca (Huayao) y Huancayo (Santa Ana - Viques), pero hay un escenario diferente para la provincia de Concepción (Ingenio) y Jauja (Jauja-Ricran).

Su porcentaje de ocurrencia por estación, y su total de eventos de sequía es de 30.69%. En tanto, el 69,31% de los eventos están relacionados con “No Sequía”.

Con base en eventos de sequía (30,69%), su distribución en cuanto a la severidad es la siguiente: leve, moderada, severa y extrema es de 46,61%, 33,39%, 14,86% y 5,14%, respectivamente.

Las estaciones con mayor frecuencia de sequía leve, moderada, severa y extrema son Ingenio (Concepción), Ricran (Jauja), Ingenio (Concepción) y Jauja (Jauja), respectivamente. En consecuencia, cada una de estas estaciones tiene un año con el mayor número de eventos entre el conjunto de datos expresado del 1 al 12 entre enero y diciembre de la siguiente manera: Ingenio (2007) con seis eventos (1, 3, 8, 9, 10 y 11); Ricran (2020) con seis eventos (6, 7, 8, 9, 11 y 12); Ingenio (2005) con tres eventos (4, 6 y 7), y Jauja (1992) con cinco eventos (1,2,3,4 y 12).

SPEI 6 Meses

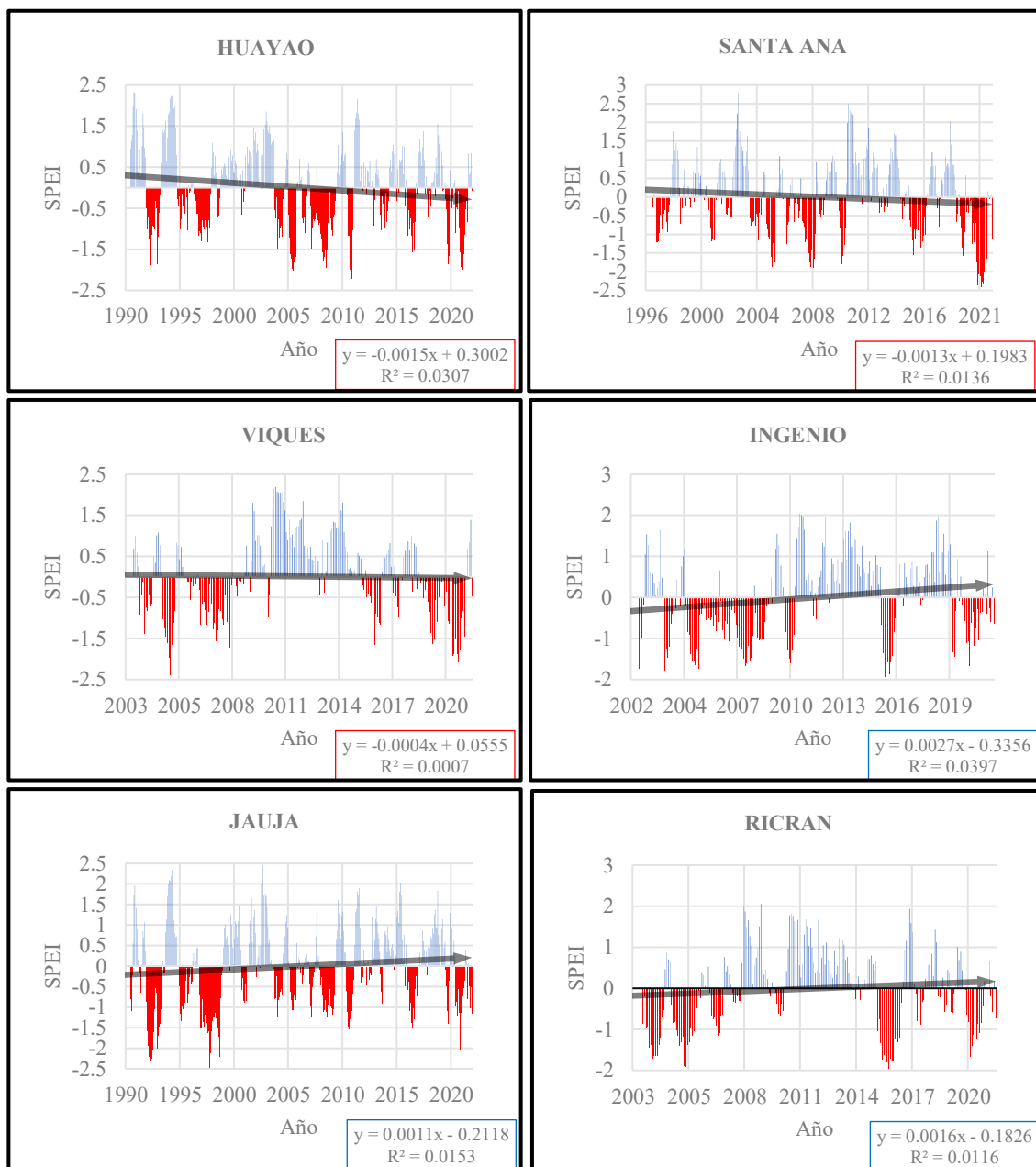


Figura 3: Representación SPEI 6 Meses – Sequía Agrícola

Hay una tendencia a eventos de sequía en las provincias de Chupaca (Huayao) y Huancayo (Santa Ana - Viques), pero hay un escenario diferente para las provincias de Concepción (Ingenio) y Jauja (Jauja-Ricran).

Su porcentaje de ocurrencia por estación, y su total de eventos de sequía es de 31.31%. En tanto, el 68,69% de los eventos están relacionados con “No Sequía”.

En base a los eventos de sequía (31,31%) en total, la severidad de sequía extrema no se evidencia para Ingenio (Concepción) y Ricran (Jauja) pero tiene una representación de 3,78% entre los demás. En tanto, la

sequía leve, moderada y severa son 44.42%, 34.71% y 17.09%, respectivamente.

Las estaciones con mayor frecuencia de sequía leve, moderada, severa y extrema son Huayao (Chupaca), Jauja (Jauja), Ingenio (Concepción) y Jauja (Jauja), respectivamente. En consecuencia, cada una de estas estaciones tiene un año o años con mayor número de eventos entre el conjunto de datos expresado del 1 al 12 entre enero y diciembre de la siguiente manera: Huayao (2007) con ocho eventos (3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 y 11); Jauja (1997 y 1998) con seis eventos (1, 3, 4, 5, 6 y 7) y (1, 2, 3, 4, 5 y 6), respectivamente; Ingenio (2005 y 2006) con cuatro eventos (5, 6, 7 y 9) y (1, 2, 3 y 4),

respectivamente; y Jauja (1992) con cinco eventos (3, 4, 5, 6 y 7).

SPEI 12 Meses

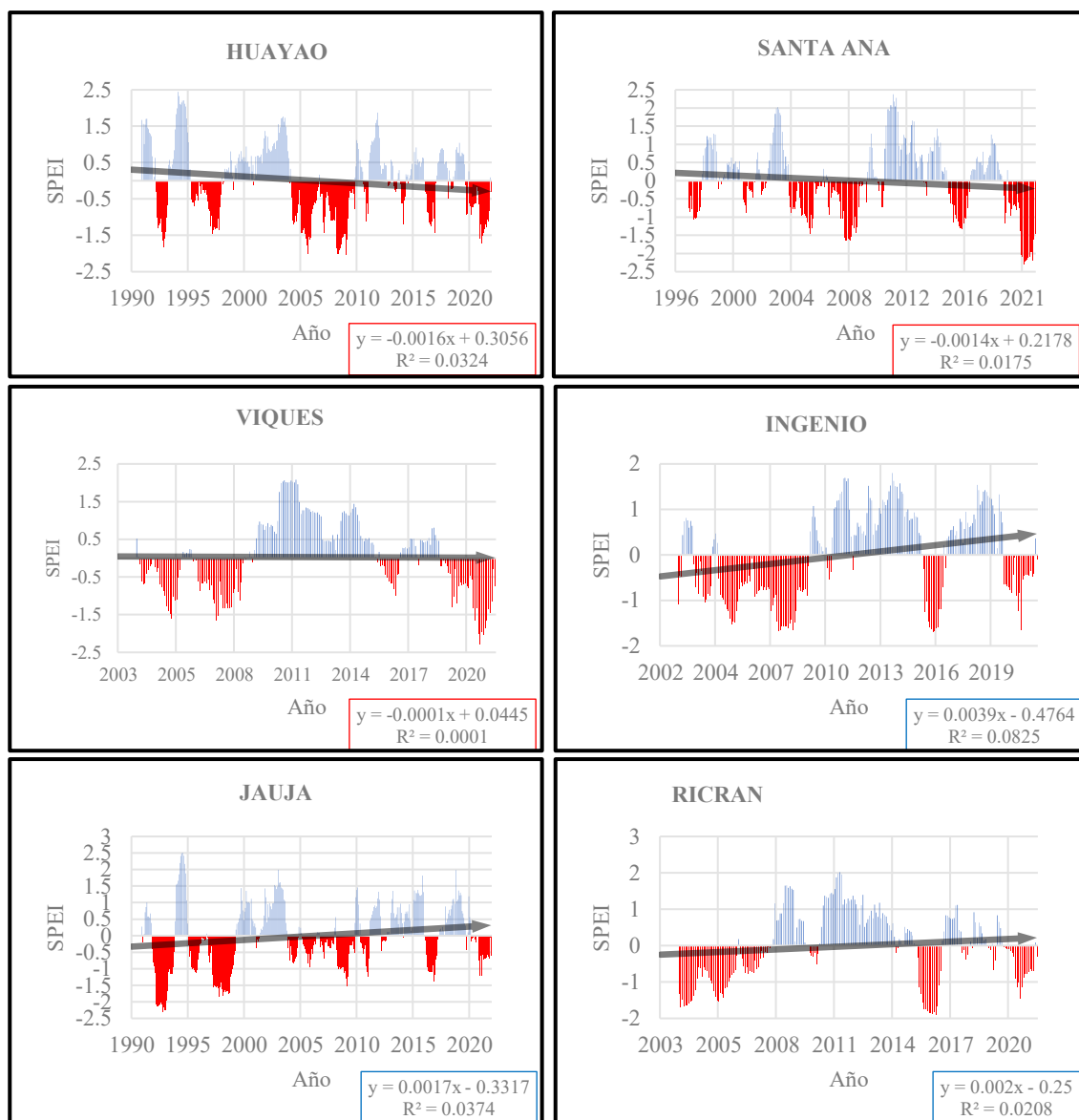


Figura 4: Representación SPEI 12 Meses – Sequía Agrícola

Hay una tendencia a eventos de sequía en las provincias de Chupaca (Huayao) y Huancayo (Santa Ana - Viques), pero hay un escenario diferente para las provincias de Concepción (Ingenio) y Jauja (Jauja-Ricran).

Su porcentaje de ocurrencia por estación, y su total de eventos de sequía es de 31.81%. En tanto, el 68,19% de los eventos están relacionados con “No Sequía”.

En base a los eventos de sequía (31,81%) en total, la severidad de sequía extrema no se evidencia para Ingenio (Concepción) y Ricran (Jauja) pero tiene una representación de 4,42% entre los demás. En tanto, la sequía leve, moderada y severa son 48.14%, 31.50% y 15.93%, respectivamente.

Las estaciones con mayor frecuencia de sequía leve, moderada, severa y extrema son Ingenio (Concepción), Huayao (Chupaca), Ricran (Jauja) y Santa Ana (Huancayo), respectivamente. En consecuencia, cada una de estas estaciones tiene un año con el mayor número de eventos entre el conjunto de datos expresado del 1 al 12 entre enero y diciembre de la siguiente manera: Ingenio (2007) con diez eventos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10); Huayao (1997) con nueve eventos (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10); Ricran (2016) con diez eventos (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12), y Santa Ana (2021) con ocho eventos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 10).

SPEI 24 Meses

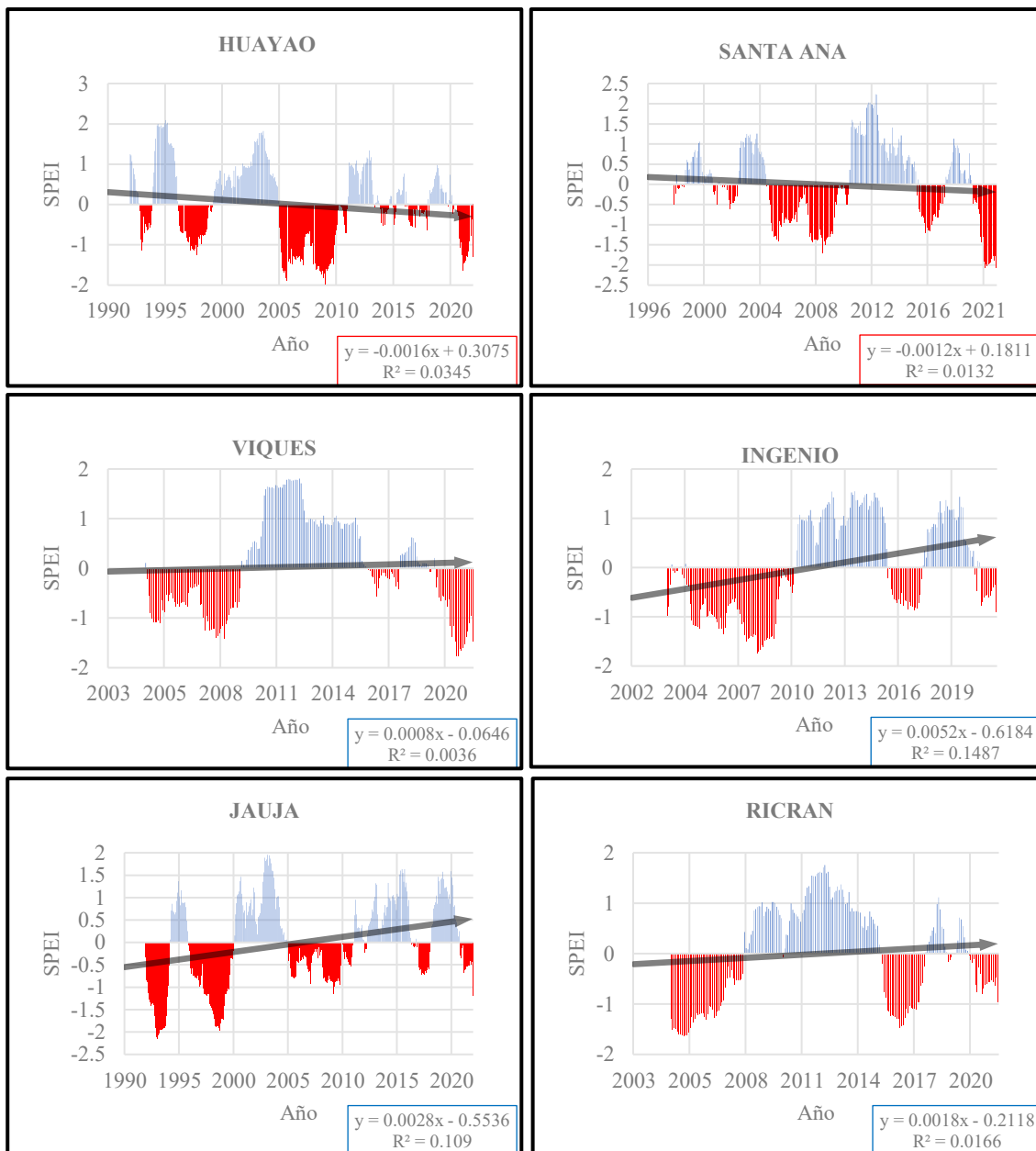


Figura 5: Representación SPEI 24 Meses – Sequía Hidrológica

Hay una tendencia a eventos de sequía en las estaciones de Huayao (Chupaca) y Santa Ana (Huancayo), pero hay un escenario diferente para las de Viques (Huancayo), Ingenio (Concepción) y Jauja-Ricran (Jauja).

Su porcentaje de ocurrencia por estación, y su total de eventos de sequía es de 32.32%. En tanto, el 67,68% de los eventos están relacionados con “No Sequía”.

Con base en eventos de sequía (32.32%) en total, la severidad de sequía extrema no se evidencia para Huayao (Chupaca), Viques (Huancayo), Ingenio (Concepción) y Ricran (Jauja) pero tiene una representación de 1.22% entre los demás. En tanto, la sequía leve, moderada y severa son 49.13%, 36.41% y 13.24%, respectivamente.

Las estaciones con mayor frecuencia de sequía leve, moderada, severa y extrema son Ingenio (Concepción), Ingenio (Concepción), Jauja (Jauja) y Jauja (Jauja), respectivamente. En consecuencia, cada una de estas estaciones tiene un año con el mayor número de eventos entre el conjunto de datos expresado del 1 al 12 entre enero y diciembre de la siguiente manera: Ingenio (2007 y 2017) con diez eventos (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12), y (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10), respectivamente; Ingenio (2008) con diez eventos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10); Jauja (1998) con 12 eventos (todo el año), y Jauja (1993) con tres eventos (1, 2 y 3).

SPEI 48 Meses

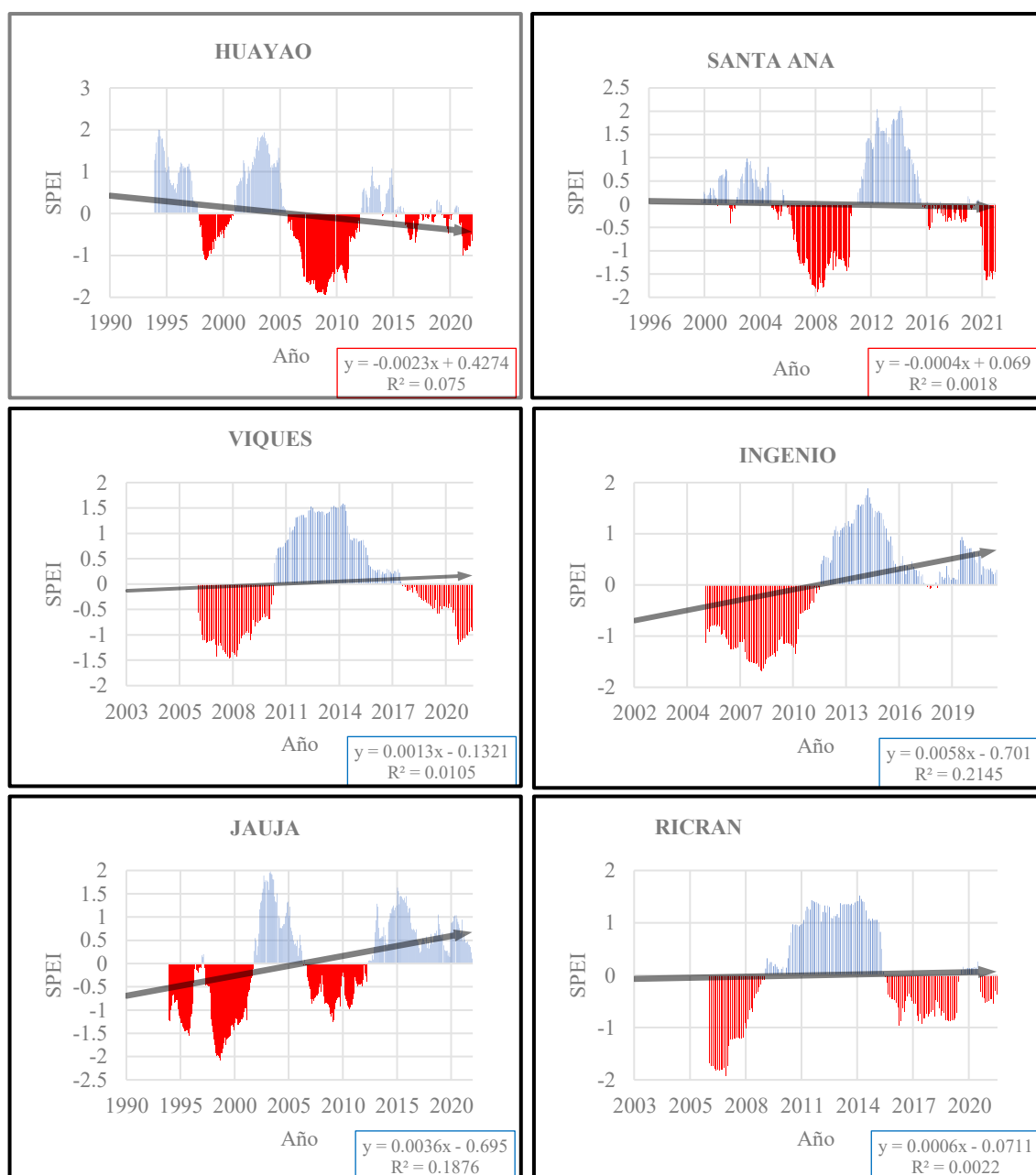


Figura 6: Representación SPEI 48 Meses – Sequía Hidrológica

Hay una tendencia a eventos de sequía en las estaciones de Huayao (Chupaca) y Santa Ana (Huancayo), pero hay un escenario diferente para las de Viques (Huancayo), Ingenio (Concepción) y Jauja-Ricran (Jauja).

Su porcentaje de ocurrencia por estación, y su total de eventos de sequía es de 26.80%. En tanto, el 73,20% de los eventos están relacionados con “No Sequía”.

En base a los eventos de sequía (26,80%), la severidad de la sequía extrema solo se evidencia en la estación de Jauja (Jauja), representando el 0,42%. En tanto, la sequía leve, moderada y severa son 41.39%, 39.08% y 19.12%, respectivamente.

Las estaciones con mayor frecuencia de sequía leve, moderada, severa y extrema son Ricran (Jauja), Ingenio (Concepción), Huayao (Chupaca) y Jauja (Jauja), respectivamente. En consecuencia, cada una de estas estaciones tiene un año con el mayor número de eventos entre el conjunto de datos expresado del 1 al 12 entre enero y diciembre de la siguiente manera: Ricran (2018 y 2019) con 11 eventos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 y 12), y (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11), respectivamente; Ingenio (2007) con 12 eventos (todo el año); Huayao (2008) con 12 eventos (todo el año), y Jauja (1998) con dos eventos (8 y 9).

Además, en relación con todos los análisis de escala de tiempo (SPEI 1-,3-,6-,12-,24- y 48), se menciona por (Callañaupa Gutierrez et al., 2021) que la

evapotranspiración (ET) es menos estudiada debido a las dificultades de medición. Sin embargo, este estudio evidencia resultados sólidos en lugares donde los datos de ET no están disponibles con una metodología sistemática simple.

Además, ha sido mencionado por (Y. Wang et al., 2017) que los gobiernos suelen pasar por alto esta variabilidad espacio-temporal cuando la toma de decisiones se produce por falta de información o desconocimiento. En ese sentido, el análisis de este estudio se puede utilizar para superar las brechas de conocimiento (Sanabria et al., 2014) y desarrollar un enfoque de abajo hacia arriba para la formulación, implementación y monitoreo de políticas efectivas (Arana-Ruedas & Moggiano, 2022).

Conclusiones

Se ha demostrado que no en todos los análisis de provincias dentro del Valle del Mantaro tienen el mismo comportamiento en cuanto a los patrones de temperatura y precipitación. Solo en las estaciones de Huayao (Chupaca) y Santa Ana (Huancayo) se observa una disminución notable de las precipitaciones. Además, 4 de 6 estaciones han aumentado su valor de temperatura; mientras tanto, hay evidencias de enfriamiento para la estación de Ricran (Jauja), ubicada en la cota más alta. En ese sentido, se espera un sistema climático complejo y una variabilidad significativa para los eventos climáticos.

Se calculó el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración para la escala de tiempo de 1, 3, 6, 12, 24 y 48 meses sobre las provincias del Valle del Mantaro con el fin de elaborar los gráficos y matrices de evaluación espacio-temporal y obtener una referencia científica sobre eventos de sequía para formuladores de políticas, académicos, sociedad, entre otros.

Así como las variables de temperatura y precipitación, los valores de SPEI entre diferentes series de escala de tiempo evidencian un comportamiento similar basado en la severidad, frecuencia o duración. Sin embargo, cada estación analizada ha experimentado eventos de sequía a diferentes escalas. Cerca del 30% de sus eventos en cada estación analizada revelan características de sequía.

Indiferentemente en el conjunto de datos de estaciones analizado, cada estación ha experimentado los tres tipos de sequías (meteorológica, agrícola e hidrológica) casi al mismo ritmo cada una. Además, cada estación analizada dentro del Valle del Mantaro evidencia el valor de frecuencia más alto al menos en

una escala de tiempo y valor de severidad diferentes. Además, las frecuencias más altas para sequías leves, moderadas, severas y extremas se dan en el mismo orden en cada estación.

De acuerdo a la severidad en cada escala de tiempo, los mayores eventos dados de sequía leve, moderada, severa y extrema se evidenciaron en los años de la siguiente manera: (2007, 2017, 2018 y 2019), (1997, 1998, 2005, 2007, 2008, 2016 y 2020), (1998, 2005, 2008 y 2016) y (1992, 1993, 2008, 2016, 2020 y 2021), respectivamente.

Además, es muy recomendable seguir rastreando aquellas estaciones con el período establecido de fecha más bajo y analizar sus variables para obtener un resultado más preciso; elaborar el mismo análisis utilizando SPI y PDSI para hacer una comparación con SPEI y analizar sus similitudes y diferencias; complementar la información con una evaluación de inundaciones y buscar de manera crucial una correlación entre El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y eventos climáticos como sequías o inundaciones.

Referencias

- Abdulla, F. (2020). 21st Century Climate Change Projections of Precipitation and Temperature in Jordan. *Procedia Manufacturing*, 44(2019), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.222>
- Anderson, E., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., Gast, F., Jaimes, E., & Ruiz, D. (2012). Consecuencias del cambio climático en los ecosistemas y servicios ecosistémicos de los Andes Tropicales. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*, 410.
- Arana-Ruedas, D. P. R., & Moggiano, N. (2022). Agriculture and water resources: UNFCCC influence on Peruvian adaptation regulations to increase resilience against climate change. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 221–230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.020>
- Ashraf, M., Ullah, K., & Adnan, S. (2022). Satellite based impact assessment of temperature and rainfall variability on drought indices in Southern Pakistan. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 108, 102726. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102726>
- BCR. (2020). *Características Socioeconómicas Del Departamento De Junín*. 17–3. <http://maps.google.com/?ie=UTF8&ll=-11.79208,-75.157471&spn=4.6>

[66206.8.327637&z=71Participaronenlaelaboracióndeesteinforme](https://doi.org/10.327637&z=71Participaronenlaelaboracióndeesteinforme)

- Caldera, H. P. G. M., Piyathisse, V. R. P. C., & Nandalal, K. D. W. (2016). A Comparison of Methods of Estimating Missing Daily Rainfall Data. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 49(4), 1. <https://doi.org/10.4038/engineer.v49i4.7232>
- Callañaupa Gutierrez, S., Segura Cajachagua, H., Saavedra Huanca, M., Flores Rojas, J., Silva Vidal, Y., & Cuxart, J. (2021). Seasonal variability of daily evapotranspiration and energy fluxes in the Central Andes of Peru using eddy covariance techniques and empirical methods. *Atmospheric Research*, 261(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105760>
- Ezaz, G. T., Zhang, K., Li, X., Shalehy, M. H., Hossain, M. A., & Liu, L. (2022). Spatiotemporal changes of precipitation extremes in Bangladesh during 1987–2017 and their connections with climate changes, climate oscillations, and monsoon dynamics. *Global and Planetary Change*, 208(October 2021), 103712. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103712>
- Gumbo, A. D., Kapangaziwiri, E., Chikoore, H., & Pienaar, H. (2021). Assessing water resources availability in headwater sub-catchments of Pungwe River Basin in a changing climate. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 35(April), 100827. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100827>
- Javed, T., Zhang, J., Bhattarai, N., Sha, Z., Rashid, S., Yun, B., Ahmad, S., Henchiri, M., & Kamran, M. (2021). Drought characterization across agricultural regions of China using standardized precipitation and vegetation water supply indices. *Journal of Cleaner Production*, 313(June), 127866. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127866>
- Jurt, C., Burga, M. D., Vicuña, L., Huggel, C., & Orlove, B. (2015). Local perceptions in climate change debates: insights from case studies in the Alps and the Andes. *Climatic Change*, 133(3), 511–523. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1529-5>
- Kalair, A. R., Abas, N., Ul Hasan, Q., Kalair, E., Kalair, A., & Khan, N. (2019). Water, energy and food nexus of Indus Water Treaty: Water governance. *Water-Energy Nexus*, 2(1), 10–24. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2019.04.001>
- Kronenberg, M., Schauwecker, S., Huggel, C., Salzmann, N., Drenkhan, F., Frey, H., Giraáldez, C., Gurgiser, W., Kaser, G., Juen, I., Suarez, W., Hernaández, J. G., Sanmartín, J. F., Ayros, E., Perry, B., & Rohrer, M. (2016). The Projected Precipitation Reduction over the Central Andes may Severely Affect Peruvian Glaciers and Hydropower Production. *Energy Procedia*, 97, 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.072>
- Lozano-Povis, A., Alvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). Climate change in the Andes and its impact on agriculture: a systematic review. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 101–108. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.012>
- Lychuk, T. E., Moulin, A. P., Lemke, R. L., Izaurralde, R. C., Johnson, E. N., Olfert, O. O., & Brandt, S. A. (2021). Modelling the effects of climate change, agricultural inputs, cropping diversity, and environment on soil nitrogen and phosphorus: A case study in Saskatchewan, Canada. *Agricultural Water Management*, 252(3), 106850. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106850>
- Mengistu, D., Bewket, W., Dosio, A., & Panitz, H. J. (2021). Climate change impacts on water resources in the Upper Blue Nile (Abay) River Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 592(September 2020), 125614. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125614>
- Michelutti, N., Cooke, C. A., Hobbs, W. O., & Smol, J. P. (2015). Climate-driven changes in lakes from the Peruvian Andes. *Journal of Paleolimnology*, 54(1), 153–160. <https://doi.org/10.1007/s10933-015-9843-5>
- Ponce, C. (2020). Intra-seasonal climate variability and crop diversification strategies in the Peruvian Andes: A word of caution on the sustainability of adaptation to climate change. *World Development*, 127, 104740. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104740>
- Qi, P., Xia, Z., Zhang, G., Zhang, W., & Chang, Z. (2021). Effects of climate change on agricultural water resource carrying capacity in a high-latitude basin. *Journal of Hydrology*, 597(April), 126328. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126328>
- Saavedra, M., Junquas, C., Espinoza, J. C., & Silva, Y. (2020). Impacts of topography and land use changes on the air surface temperature and precipitation over the central Peruvian Andes. *Atmospheric Research*, 234(April 2019), 104711. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104711>

- Sanabria, J., Calanca, P., Alarcón, C., & Canchari, G. (2014). Potential impacts of early twenty-first century changes in temperature and precipitation on rainfed annual crops in the Central Andes of Peru. *Regional Environmental Change*, 14(4), 1533–1548. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0595-y>
- Sarkar, S., & Maity, R. (2020). Increase in probable maximum precipitation in a changing climate over India. *Journal of Hydrology*, 585(March), 124806. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124806>
- Shagega, F. P., Munishi, S. E., & Kongo, V. M. (2020). Assessment of potential impacts of climate change on water resources in Ngerengere catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 116(April 2019), 102804. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.11.001>
- Sun, C., Zhu, L., Liu, Y., Hao, Z., & Zhang, J. (2021). Changes in the drought condition over northern East Asia and the connections with extreme temperature and precipitation indices. *Global and Planetary Change*, 207(September), 103645. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103645>
- Veettil, B. K., & Simões, J. C. (2019). The 2015/16 El Niño-related glacier changes in the tropical Andes. *Frontiers of Earth Science*, 13(2), 422–429. <https://doi.org/10.1007/s11707-018-0738-4>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Vuille, M. (2013). El cambio climático y los recursos hídricos en los andes tropicales. *Banco Interamericano de Desarrollo*, 21. http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5826/SR2012_VUILLE_FINAL_ESP.pdf?sequence=1
- Wang, T., Tu, X., Singh, V. P., Chen, X., Lin, K., Lai, R., & Zhou, Z. (2022). Socioeconomic drought analysis by standardized water supply and demand index under changing environment. *Journal of Cleaner Production*, 347(March), 131248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131248>
- Wang, Y., Zhou, B., Qin, D., Wu, J., Gao, R., & Song, L. (2017). Changes in mean and extreme temperature and precipitation over the arid region of northwestern China: Observation and projection. *Advances in Atmospheric Sciences*, 34(3), 289–305. <https://doi.org/10.1007/s00376-016-6160-5>
- WMO. (2016). Handbook of Drought Indicators and Indices. In *British Medical Journal* (Vol. 1, Issue 2366). <https://doi.org/10.1136/bmj.1.2366.1068-b>
- Wongchuig, S. C., Mello, C. R., & Chou, S. C. (2018). Projections of the impacts of climate change on the water deficit and on the precipitation erosive indexes in Mantaro River Basin, Peru. *Journal of Mountain Science*, 15(2), 264–279. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4418-8>
- Zárate Malpica, A. H., & Miranda Zambrano, G. A. (2017). Impacto del cambio climático en la seguridad alimentaria en zonas campesinas vulnerables de los Andes del Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(1), 71–82. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i1.371>
- Zhuang, X. W., Li, Y. P., Nie, S., Fan, Y. R., & Huang, G. H. (2018). Analyzing climate change impacts on water resources under uncertainty using an integrated simulation-optimization approach. *Journal of Hydrology*, 556, 523–538. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.016>