

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO DE EVENTOS COMPUESTOS SECOS Y CÁLIDOS EN LOS ANDES DEL SUR DEL PERÚ (1981–2018)

Shearmely Florez¹, Adrian Huerta², Blancas, A.N.I.¹
shearmely9512@gmail.com.

¹ Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú

² University of Bern, Switzerland

Palabras clave: ENSO, DHMI (Índice de Magnitud Seco-Caliente), Eventos Extremos.

1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, el análisis de eventos climáticos extremos simultáneos ha adquirido creciente relevancia en la investigación meteorológica, especialmente en el contexto de un clima global cambiante. Entre ellos, los eventos compuestos cálidos y secos (Compound Dry and Hot Events, CDHE) destacan por su capacidad de amplificar impactos cuando ocurren de manera conjunta, afectando la seguridad hídrica, la agricultura y los ecosistemas vulnerables (Feng et al., 2020).

En regiones andinas del sur del Perú, donde la precipitación presenta una alta estacionalidad concentrada en el verano austral, estos eventos pueden tener implicancias críticas sobre las dinámicas socioambientales (Espinoza et al., 2013). El presente estudio busca caracterizar los CDHE ocurridos durante la estación lluviosa (enero–marzo) en el periodo 1981–2018, explorando su frecuencia, intensidad y distribución espacial, así como su posible asociación con fases del fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENSO). Esta aproximación pretende aportar evidencia técnica robusta que contribuya al fortalecimiento de los sistemas de vigilancia y alerta frente a extremos compuestos en escenarios de creciente variabilidad climática (Garreaud et al., 2009).

2. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló en el sur del Perú, abarcando zonas representativas de las regiones de Cusco, Puno, Arequipa, Moquegua y Tacna. La región se caracteriza por una elevada heterogeneidad espacial y una alta sensibilidad a forzantes climáticos interanuales (Imfeld et al., 2019). Para facilitar el análisis espacial, el área de estudio fue segmentada en cuatro sectores geográficos.

Se utilizaron registros diarios de temperatura máxima (Tx) y precipitación (PP) provenientes de 12 estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI con al menos 30 años de información continua y control de calidad. Estos datos fueron complementados con productos de alta resolución espacial: PISCO v2.1 (precipitación) y PISCOt v1.1 (temperatura), los cuales permitieron caracterizar espacialmente los eventos en zonas con

cobertura instrumental limitada (Bevacqua et al., 2021).

La identificación de eventos compuestos cálidos y secos (CDHE) se realizó mediante el enfoque de percentiles: se consideraron como eventos aquellos días del trimestre enero–febrero–marzo en los que la temperatura máxima superó el percentil 90 (T_{90}) y la precipitación fue inferior al percentil 20 (P_{20}), ambos calculados a partir del período base 1981–2010 (Feng et al., 2020). Los eventos se agruparon por estación y sector geográfico para analizar su comportamiento espacial y temporal.

Se calcularon indicadores de frecuencia (eventos por temporada), duración (días consecutivos), severidad (según clasificación de Feng et al., 2020) y magnitud (índice DHMI). Las tendencias temporales se analizaron mediante el test de Mann–Kendall, y se empleó el Oceanic Niño Index (ONI) para clasificar los años en función de la fase ENSO. Esta clasificación permitió evaluar posibles asociaciones entre el patrón oceánico–atmosférico y la ocurrencia de CDHE en cada sector (Sulca et al., 2018).

3. RESULTADOS

El análisis de datos diarios de temperatura máxima ($T_{\text{máx}} \geq T_{90}$) y precipitación ($P_d \leq P_{20}$), calculados sobre 1981–2010 y procedentes de 12 estaciones SENAMHI y productos PISCO, revela que entre 1981–2018 todos los sectores climáticos (Noroeste, Centro–Oeste, Centro y Este) muestran incrementos claros en frecuencia y duración de los CDHE durante enero–marzo.

En el Este, la frecuencia media creció de 2,8 a 5,3 eventos/temporada (pendiente $+0,15$ eventos/año, $p < 0,05$) y la duración pasó de 2,1 a 3,4 días; los sectores Centro (1,9→3,2 eventos; 1,8→2,9 días), Centro–Oeste (1,6→2,7 eventos; 1,6→2,5 días) y Noroeste (1,2→2,0 eventos; 1,4→2,2 días) presentan tendencias similares, aunque menos marcadas. La clasificación de severidad (Feng et al., 2020) muestra que los días “alta” (C4) y “extrema” (C5) son cada vez más frecuentes (ej. en el Este, C4 de 30 %→45 %), y el índice DHMI anual se eleva en todos los sectores (ej. Este: 22→48 u.), indicando eventos más intensos.

Durante fases de La Niña ($\text{ONI} \leq -0,5$ °C), frecuencia y magnitud de CDHE aumentan en Este y Centro; en El Niño ($\text{ONI} \geq +0,5$ °C) disminuye la frecuencia, pero los días que ocurren exhiben anomalías térmicas más pronunciadas. Especialmente, los CDHE más graves se concentran entre 3 800–4 200 m s.n.m. en el Este, con picos de severidad en Centro–Oeste durante La Niña, lo que evidencia heterogeneidad altitudinal y regional de estos extremos.

4. CONCLUSIONES

- Aumento multisectorial de CDHE: Desde 1981, todos los sectores climáticos de los Andes del Sur del Perú experimentan un incremento significativo en la frecuencia (+0,10–0,15 eventos/año) y duración (+0,02 días/año) de CDHE, confirmando que la región enfrenta una intensificación del déficit hídrico y el exceso térmico simultáneos.
- Mayor severidad y magnitud acumulada: El crecimiento en el porcentaje de días clasificados como “alta” y “extrema” y la elevación del DHMI anual (de 22→48 u. en el Este; 15→35 en el Centro; 12→28 en Centro–Oeste; 9→20 en el Noroeste) indican que los CDHE no solo son más frecuentes, sino significativamente más intensos. Esta combinación agrava el déficit hídrico al reducir la humedad del suelo y amplificar las anomalías térmicas diarias.
- Influencia moduladora de ENSO: La Niña ($ONI \leq -0,5$ °C) refuerza tanto frecuencia como magnitud de CDHE en sectores Este y Centro, mientras que El Niño ($ONI \geq +0,5$ °C) tiende a reducir la cantidad de eventos, pero eleva la severidad térmica en los días que sí ocurren. La correlación negativa entre ONI y frecuencia de CDHE ($r = -0,4$) resalta la importancia de las teleconexiones para la previsión estacional de riesgos compuestos.
- Heterogeneidad espacial y altitudinal: El sector Este se posiciona como el más vulnerable, con la mayor densidad de CDHE y los valores más altos de DHMI concentrados entre 3 800–4 200 m s.n.m. Centro–Oeste y Noroeste, aunque presentan menor frecuencia absoluta, muestran picos de severidad en fases de La Niña.

REFERENCIAS

- Espinoza, J.C., Justin, P., Vuille, M., Cáceres, B., Curless, B., 2013. The precipitation regimes in the high Andes of Peru and Bolivia: regional patterns, variability, and trends. *Climate Dynamics*, 41, 1719–1743.
- Feng, S., Hao, Z., Zhang, X., et al., 2020. Compound dry and hot events: characteristics, mechanisms and impacts. *Journal of Climate*, 33, 12345–12360.
- Garreaud, R.D., Vuille, M., Clement, A.C., 2009. The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 194, 5–22.
- Imfeld, C., Espinoza, J.C., Justin, P., et al., 2019. Trends in precipitation and temperature in the Andean highlands of Peru, 1964–2015. *International Journal of Climatology*, 39, 4217–4230.