



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BICENTENARIO
PERÚ 2021



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 8 n.º 07 Julio 2021

Impactos del
cambio climático
en diferentes tipos
de sequías en la
cuenca del Titicaca

Pág. 5

Análisis de ondeletas
cruzadas durante un
evento de precipitación
intensa sobre el
Observatorio de Huancayo

Pág. 15

Resumen del informe
técnico de El Niño

Pág. 22

Resumen del
Comunicado ENFEN

Pág. 23



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

Vol. 8 n.º 07 Julio 2021

CRÉDITOS

Gabriel Quijandría Acosta

Ministro del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:

Hernando Tavera Huarache

Presidente Ejecutivo

Edmundo Norabuena Ortiz

Director Científico

Ivonne Montes Torres

Directora

Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Equipo editorial:

James Apaéstegui Campos

Kobi Mosquera Vásquez

Diseño y diagramación

Unidad Funcional de Comunicaciones

Carátula: Vista satelital del lago Titicaca

Foto: NASA Johnson

El boletín científico “El Niño” es generado en el marco del Programa Presupuestal n.º 068 “Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”.

Producto 1: Estudios para la estimación del riesgo de desastres

Actividad 5: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño

Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo, Ate, 15012.

Teléfono: 51-1-3172300

Lima, agosto de 2022

EDITORIAL

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), institución pública adscrita al Ministerio del Ambiente, tiene por finalidad generar, utilizar y transferir conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines. El IGP forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del riesgo de desastres en el Perú, con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico. El IGP, a través del Programa de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático, genera conocimiento científico sobre los componentes del sistema climático (atmósfera, océano, suelo, biósfera y criósfera) y la interacción entre ellos. El Niño - Oscilación del Sur es uno de los principales modos de variabilidad, el cual es objeto de estudio en el programa de investigación, debido a la alta vulnerabilidad del Perú y los impactos negativos asociados.

Desde el 2014, el IGP y otras instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN) participan en el Programa Presupuestal 068: "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres"-PREVAED, contribuyendo con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres". El IGP realiza la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos, además de otros estudios que fortalecen en forma continua la capacidad de monitoreo y pronóstico de El Niño en el Perú.

Con el fin de divulgar el conocimiento científico, el Instituto Geofísico del Perú presenta periódicamente sus investigaciones y avances en temas de variabilidad y cambio climático, a través de su Boletín Científico "El Niño", tratando de presentar la información con un lenguaje sencillo y sintetizando los aspectos más relevantes de dichas investigaciones. El objetivo es que las autoridades y técnicos especialistas en la gestión del riesgo de desastres (GRD) pertenecientes a los tres niveles de gobierno, así como el público en general interesado, puedan tener como fuente de conocimiento a los materiales de investigación que el IGP genera.

El presente ejemplar suma dos artículos de investigación. El primero, titulado "Impactos del cambio climático en diferentes tipos de sequías en la cuenca del Lago Titicaca", evalúa las salidas de los modelos climáticos del CMIP5 bajo el escenario de emisión RCP8.5 para el periodo 2034-2064 y evalúa las posibles sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas para las cuencas del lago Titicaca, río Desaguadero y lago Poopo. Los resultados indican que las sequías serían más intensas, frecuentes y prolongadas en toda la región para el periodo proyectado. Siendo la región sur (Bolivia) más impactada que el norte (Perú) del sistema.



Foto: NASA Johnson

EDITORIAL

El segundo artículo, titulado “Análisis de ondeletas cruzadas durante un evento de precipitación intensa sobre el observatorio de Huancayo” presenta el análisis de ondeletas en las series temporales de humedad específica, temperatura superficial del aire e intensidad del viento horizontal antes, durante y después del evento de precipitación intensa ocurrido sobre el observatorio de Huancayo (OHY) el día 06 de octubre de 2019. Los resultados muestran que existe un desfase entre las variables que difiere en relación al momento de ocurrencia de la máxima intensidad de precipitación.

En este boletín se presenta también el resumen del informe técnico de El Niño, documento que forma parte de los compromisos asumidos por el IGP en el marco del PPR 068. El informe indica que en la actualidad el valor del índice de El Niño costero presenta una condición climática neutra. Por otro lado, en el Pacífico central también se muestran condiciones neutras. Según el promedio de las predicciones numéricas de los seis modelos climáticos de NMME, inicializados con información oceánica y atmosférica del mes de julio de 2021, se indica condiciones climáticas dentro del rango neutral frente a la costa peruana hasta el mes de febrero del 2022. En el Pacífico central los modelos indican condiciones neutras en julio y condiciones frías desde agosto hasta, por lo menos febrero 2022. Según estos resultados, el evento La Niña 2020-2021 habría terminado en mayo; sin embargo, se iniciaría otro evento frío a partir de agosto, el cual, de cumplirse, podría configurarse en un evento La Niña.

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de Alerta “No Activo” debido a que no se observan condiciones favorables para El Niño o La Niña costeros en este momento. El escenario más probable es que las temperaturas del mar en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte y centro del mar peruano, se mantendrían dentro de su rango normal hasta el verano del 2022; así como, el desarrollo de un nuevo evento La Niña en el Pacífico central entre la primavera de 2021 y el verano de 2022. Por lo anterior se recomienda a los tomadores de decisión considerar los escenarios de riesgo asociados a un posible evento La Niña en el Pacífico central. Es importante advertir que, en caso de existir discrepancias con el informe técnico de El Niño emitido por el IGP, prevalecerá lo establecido en el Comunicado Oficial del ENFEN.

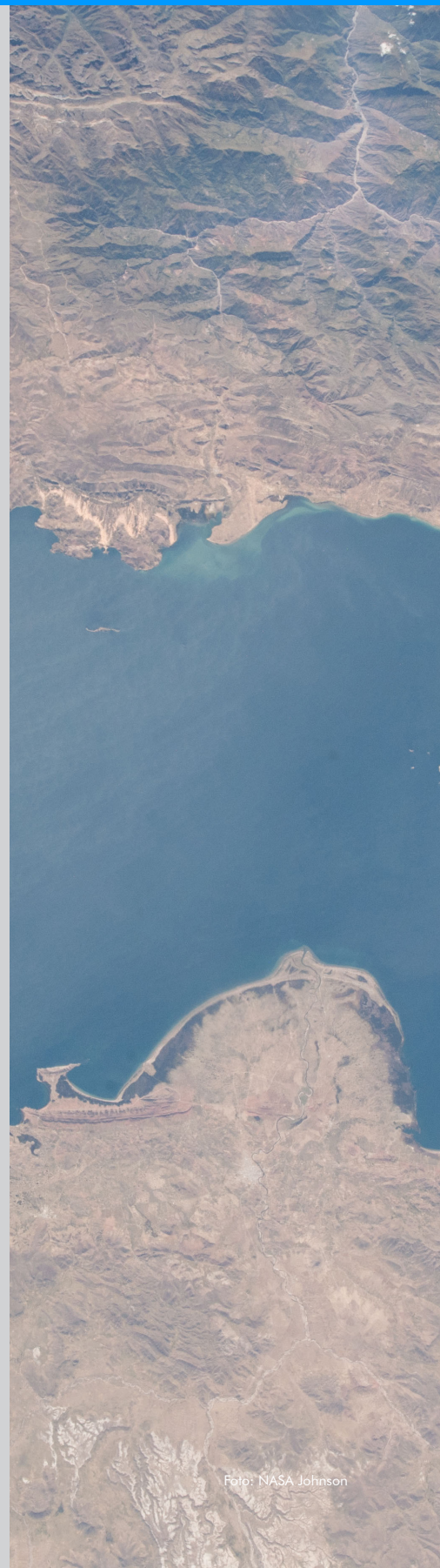


Foto: NASA Johnson

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN DIFERENTES TIPOS DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL LAGO TITICACA

Ricardo Zubieta¹, Jorge Molina-Carpio², Wilber Laqui³, Juan Sulca⁴ y Mercy Ilbay⁵

RESUMEN

El presente trabajo evalúa el impacto del cambio climático en la ocurrencia de sequías para las cuencas del Lago Titicaca, Río Desaguadero y Lago Poopo (Sistema TDPS). Para tal objetivo, se comparan los resultados de los modelos climáticos para el periodo 1984-2014 con los datos observados y se evalúan las proyecciones en el periodo 2034-2064. El estudio utilizó proyecciones climáticas mensuales provenientes del proyecto CMIP5 bajo el escenario de emisión RCP8.5. Se corrigió el sesgo y se analizaron las sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas a partir de los índices estandarizados de precipitación, humedad del suelo y escorrentía, respectivamente. La humedad del suelo y escorrentía fueron estimados a partir del modelo hidrológico GR2M. Ante el aumento de la temperatura regional media de hasta 3 °C y los cambios de intensidad, cantidad y patrón espacial de la precipitación, nuestros resultados indican que las sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas serían más intensas, frecuentes y prolongadas en el sistema TDPS. También se proyecta un aumento en la frecuencia de sequías agrícolas e hidrológicas (duración de 1 a 2 meses). La disminución esperada en la precipitación anual y el mayor aumento de la evapotranspiración en la región sur (Bolivia) de la cuenca producirían aumentos proyectados más grandes que en la región norte (Perú).

Palabras clave: Sequías, Clima, Altiplano, TDPS, CMIP5, Andes.

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú
2. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú
3. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia
4. Universidad Nacional del Altiplano, Perú
5. Autoridad Nacional del Agua, Lima, Perú
6. Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador

Citar como: Zubieta, R., Molina-Carpio, J., Laqui, W., Sulca, J., Ilbay, M. (2021). Impactos del cambio climático en diferentes tipos de sequías en la cuenca del lago Titicaca. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 8 n.º 07, págs. 5-14.

INTRODUCCIÓN

La sequía es una anomalía climática transitoria que se caracteriza por precipitaciones por debajo del promedio (sequía meteorológica). Esto provoca una disminución prolongada de la humedad en el suelo que puede impactar severamente los cultivos (sequía agrícola). De prolongarse en el tiempo, la sequía puede causar disminución de los caudales de los ríos o la menor recarga de acuíferos (sequía hidrológica) (Mishra and Singh, 2010). Cada tipo de sequía puede presentar diferente intensidad, duración y frecuencia; y perjudicar una o varias actividades productivas de la población (p. ej. agricultura de secano, ganadería, almacenamiento en lagos o embalses, etc.), lo que provoca escasez y aumento de la demanda hídrica (Satge et al., 2017).

El Perú es frecuentemente afectado por diferentes fenómenos hidroclimáticos extremos tal como las sequías (Espinoza et al., 2009). Las sequías en Perú (2000-2010) causaron pérdidas de cultivos, mortalidad del ganado, plagas y enfermedades, afectando a pequeños productores agrícolas, poblaciones urbanas y la producción eléctrica (ANA, 2010). Una de las regiones más afectadas por las sequías en el Perú es el Altiplano (Fig. 1). Por ejemplo, la sequía de 1982-83, la cual coincidió con el fenómeno El Niño de magnitud extraordinaria, afectó severamente el rendimiento de la agricultura local (Rocha, 2017). Estas pérdidas económicas en Perú y Bolivia se estimaron en 128 millones de dólares (PNUD, 1996). Asimismo, la desviación de las aguas del río Desaguadero (principal afluente del lago Poopó) para el riego y la creciente evaporación están detrás de la reciente desaparición del lago Poopó en 2015-2016 (Satge et al., 2017).

Se proyecta que la tendencia positiva de la temperatura máxima diaria sea mayor que la tendencia positiva de la temperatura mínima diaria en el Altiplano (López-Moreno et al., 2015). Las proyecciones de los modelos de circulación global (MCG) indican que los cambios en la precipitación y temperatura al 2050 conducirían a un déficit hídrico en Bolivia (Escriba et al., 2014). Por lo tanto, el cambio climático y sus impactos sobre la precipitación y la evapotranspiración sobre el Altiplano requieren particular atención. Principalmente, se deben abordar las sequías, ya que los cambios en la intensidad, duración y frecuencia son muy relevantes para las principales actividades económicas como la agricultura y la ganadería (Vicente-Serrano et al., 2014).

El objetivo de este estudio es investigar los impactos del cambio climático sobre las características climatológicas de las sequías meteorológicas, hidrológicas y agrícolas para las cuencas del lago Titicaca, río Desaguadero y lago Poopó (sistema hídrico llamado TDPS) ubicadas en Perú y Bolivia (145 000 km²) (3600-6550 m s. n. m.).

El lago Titicaca (8500 km²) es el lago navegable más alto (3809 m s. n. m.) del mundo (Figura 1b) y el sistema TDPS está ubicado entre los desiertos costeros de Perú-Chile y la Amazonía boliviana. El sistema TDPS se caracteriza por un clima semiárido, con precipitaciones medias anuales entre los 1000 mm en el norte y los 200 mm en el sur (Zubieta et al., 2018). A escala interanual, se observan deficiencia y exceso de lluvia durante El Niño y La Niña en el Altiplano, respectivamente (Lagos et al., 2008). A escala interdecadal, Segura et al. (2016) encontraron que durante las décadas cálidas del océano Pacífico central-oeste, los vientos del oeste a 200 hPa se han intensificado por encima de los Andes, conduciendo a déficits hidrológicos en el norte del Altiplano.

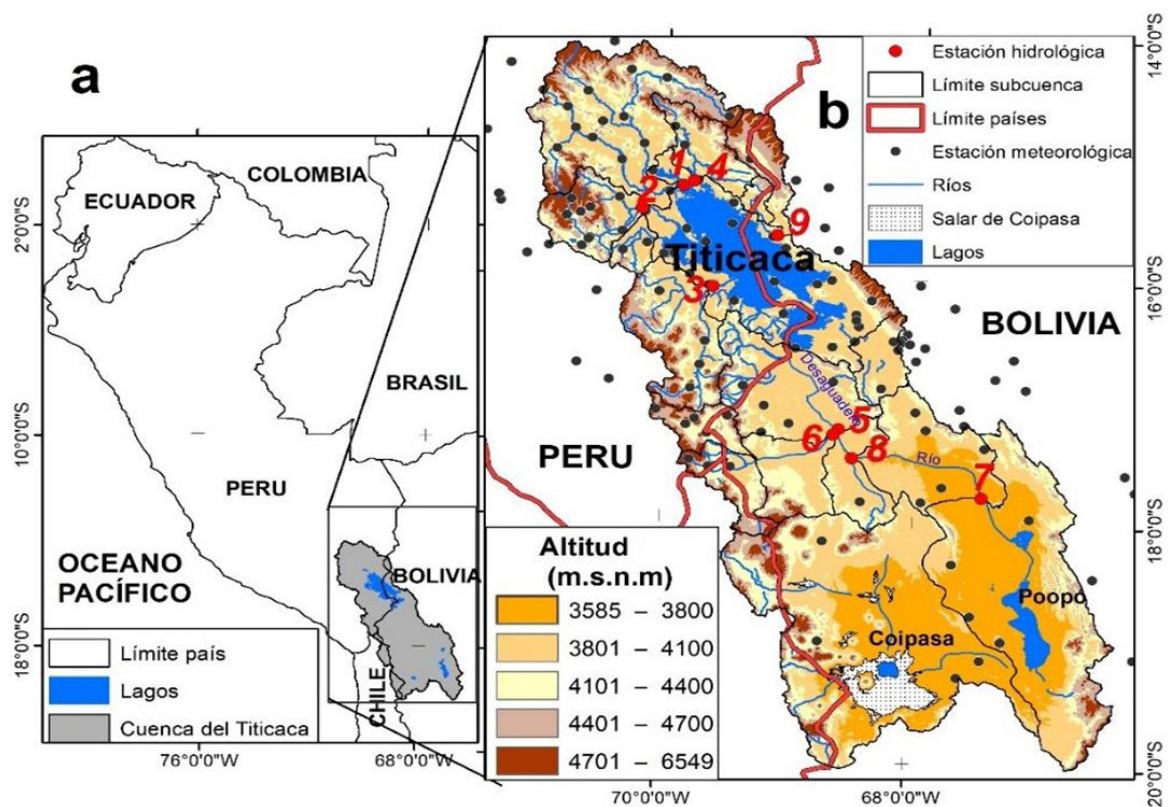


Figura 1. a) Ubicación del sistema hídrico TDPS y b) Modelo de elevación digital y ubicación de estaciones hidrológicas y meteorológicas en el sistema TDPS.

DATOS

Se recopilaron de datos observados, a paso de tiempo mensual, de precipitación, temperaturas máxima y mínima de 121 estaciones (periodo 1964-2014), provenientes de los Servicios Nacionales de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de Perú y Bolivia (Figura 1b). Para la mayor representatividad de datos mensuales, se seleccionó un período común (1984-2014) y se sometieron al método de vector regional (MVR). Este método asume que la precipitación anual en una misma zona climática es proporcional entre todas las estaciones del lugar como resultado de la distribución de lluvia (Brunet-Moret, 1979).

Se recopilaron también datos de caudales medios mensuales de nueve estaciones hidrológicas (Figura 1b). La gestión de los datos del caudal se realizó mediante el software HYDRACCESS. Finalmente, se recopilaron datos de 31 MCG de la fase 5 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) (<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>) bajo el escenario de emisión RCP8.5. Se seleccionó RCP 8.5 ya que proyecta el escenario más extremo causado por el cambio climático (Riahi et al., 2011).

METODOLOGÍA

Inicialmente, se estimaron datos mensuales de evapotranspiración de referencia (ET_0) usando el método Hargreaves-Samani (Hargreaves and Samani, 1985), similar a lo que sería obtenido por el método FAO Penman-Monteith (García et al., 2004).

Los datos de lluvia y ET_0 fueron interpolados para estimar su distribución espacial. Los datos grillados observados (lluvia y ET_0) y también los estimados a partir de MCG (lluvia y ET_0) se interpolaron usando el método *Nearest neighborhood* ($0.20^\circ \times 0.20^\circ$). Este es un algoritmo que almacena datos y clasifica los nuevos en base a una medición de similitud (Parker et al., 1983). Finalmente, se obtuvo una distribución espacial suavizada para la lluvia y la ET_0 .

Se evaluó la incertidumbre de los MCG con respecto a los datos observados mensuales y, posteriormente, se sometieron a un método de corrección de sesgo. Esta corrección se basó en la distribución y conservación de los cambios relativos (Piani et al., 2010). Así, los datos normalizados se utilizaron paramétricamente para ajustar la variabilidad mensual de los datos de los MCG de modo que coincida con la variabilidad de los datos observados (1984-2014). Después se evaluó el rendimiento de cada MCG mediante el método de diagramas de Taylor (Taylor, 2001).

Esto permitió la selección final de cinco MCG: EC-EARTH, HadGEM2-ES, IPSL-C.M5A-LR, MIROC5 y MPI-ESM-LR. Para evaluar la distribución espacial de los cambios en la temperatura, precipitación y ET_0 del periodo observado 1984-2014 con respecto al periodo proyectado 2034-2064 (Figura 2), se calculó previamente una media de los MCG seleccionados. Datos de lluvia observada (P) y ET_0 estimada, tanto para el periodo observado y proyectado, fueron utilizados para realizar el balance hídrico (Niel et al., 2003) con el modelo hidrológico GR2M. Datos de humedad del suelo (S) y escorrentía (Q) fueron estimados mediante esta modelización hidrológica.

Las sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas se evaluaron mediante los índices de precipitación estandarizado (SPI) (McKee, 1993), humedad del suelo estandarizado (SSMI) (Wang et al., 2011) y escorrentía estandarizada (SRI) (Shukla and Wood., 2008). La estimación de SPI, SSMI y SRI fue mediante la utilización de los conjuntos de datos de P, S y Q, respectivamente. Finalmente, los impactos del cambio climático se evaluaron para el período 2034-2064, en comparación al periodo 1984-2014.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2a se observa que el mayor aumento en la temperatura media ocurriría en el sureste (1.5-3.5 °C) y un menor aumento en el noroeste del TDPS (0.5-1.5 °C). La parte central y norte del TDPS experimentarían un ligero aumento de 3 a 6 % de la precipitación anual (Figura 2b), mientras que al sur de TDPS se proyecta una disminución de hasta -3 % (Figura 2b). La distribución espacial de los cambios de ET_0 es similar al de la temperatura, mostrando un aumento de 5 a 8 % en el norte y de 8 a 10 % en el sur (Figura 2c).

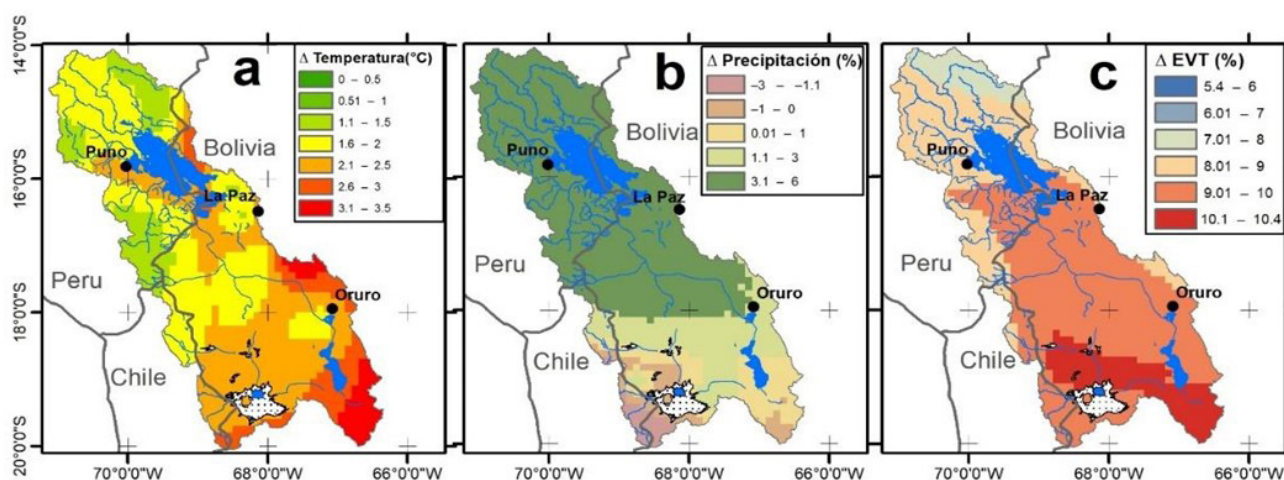


Figura 2. Cambios en (a) temperatura media (°C), (b) precipitación media anual (%) y (c) evapotranspiración media anual (%) para el período 2034-2064, en relación con el período 1984-2014.

El rendimiento del modelo obtenido fue alto para el Altiplano Perú-Bolivia (índice Nash Sutcliffe $\sim 0.60-0.84$). Basado en ello, se estimaron los cambios de SPI, SSMI y SRI para el período 2034-2064, en comparación al período 1984-2014. Nuestros resultados proyectan ligeros cambios (-5 a 5%) en la intensidad de las sequías meteorológicas en las regiones norte y centro del sistema TDPS (Figura 3a). Así también, una disminución de la frecuencia (de 0 a -20%) en la región norte (Figura 3b). En contraste, se proyecta el aumento en la intensidad (5 a 10%) y la frecuencia (10 a 40%) de las sequías en el sur del sistema TDPS (Figuras 3a-b).

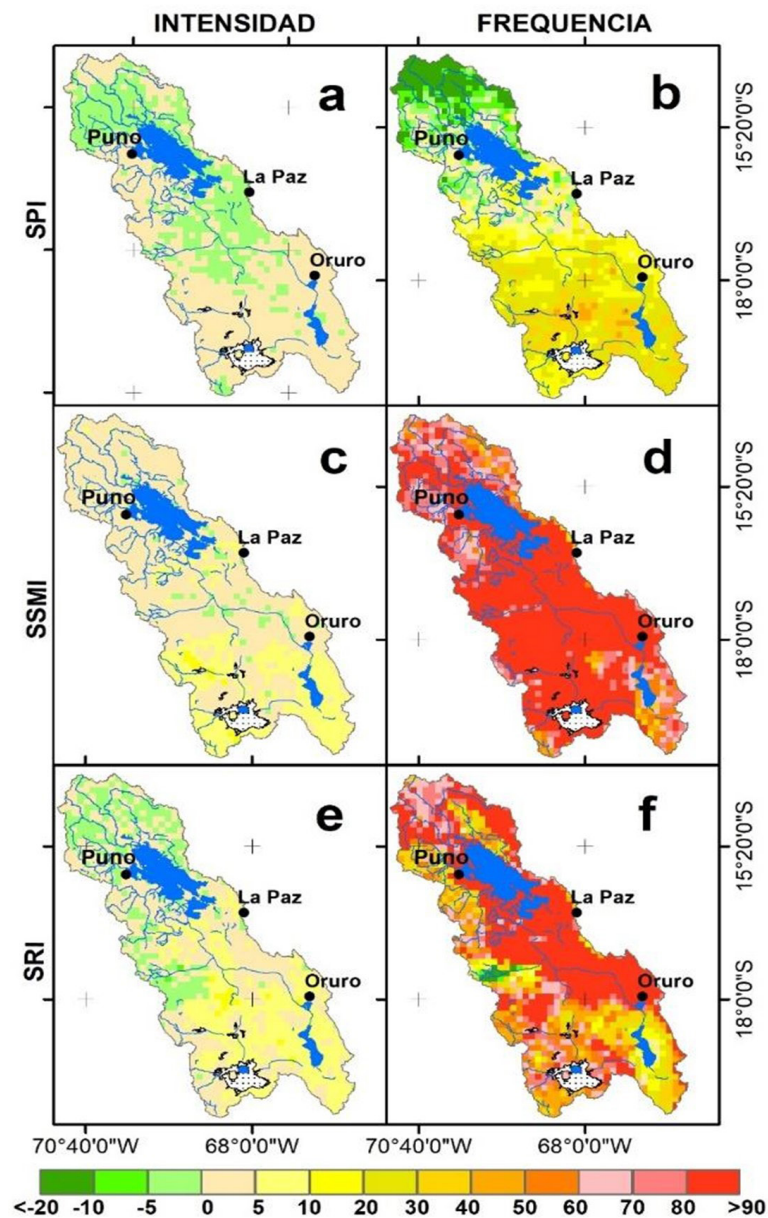


Figura 3. Cambios porcentuales (%) en los promedios de la intensidad y frecuencia de las sequías meteorológicas (SPI) (a-b), sequías agrícolas (SSMI) (c-d) y sequías hidrológicas (SRI) (e-f) para el período 2034-2064, en relación con 1984-2014.

A escala anual, la precipitación no muestra claramente una reducción en el norte del sistema TDPS. En contraste, algunas regiones del suroeste proyectan una disminución predominante (Fig. 2b). El contraste, negativo (descenso) en el norte y positivo (aumento) en el sur, y la magnitud (moderada) de los cambios en la intensidad y frecuencia de las sequías meteorológicas se asocian principalmente a cambios moderados previstos en las precipitaciones, ya que las sequías meteorológicas se definen a través de las anomalías de precipitación usando SPI (Figura 2b).

Se proyecta un aumento en la intensidad (0 a 20 %) y frecuencia (hasta el 90 %) de las sequías agrícolas (Figura 3c-d) para casi todo el sistema TDPS, siendo mayor en el sur (Figuras 3c-d). Esto es de esperar, ya que el índice SSML es estimado usando datos S , obtenidos a partir del balance hídrico con GR2M. Los mayores cambios en el sur del sistema TDPS están relacionados tanto con la reducción de la precipitación (~ 3 %) y el aumento de la evapotranspiración (~ 10 %) proyectados en esta región (Figuras 2b-c). Un mayor aumento de la frecuencia, en comparación a la intensidad, sugiere que la interacción entre el aumento de ET_0 y la variabilidad de la lluvia interanual tienen un rol más sensible en el modelado hidrológico cuando se estima S y Q .

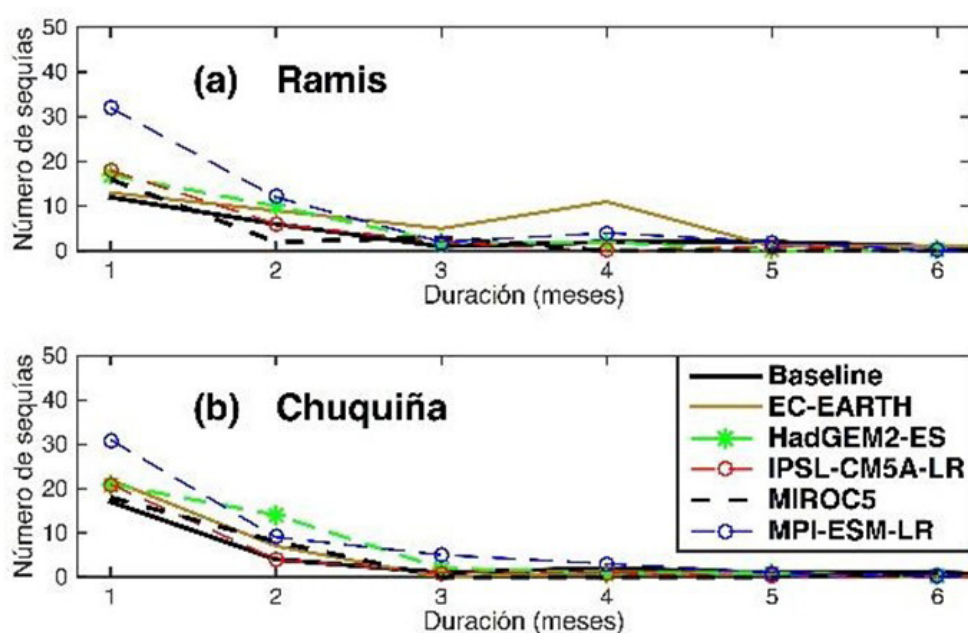


Figura 4. Frecuencia de sequías hidrológicas según su duración para subcuencas monitoreadas en la estación a) Ramis-Perú (1), b) Chuquiña-Bolivia (7). 1 y 7 indican los puntos de control rojo en la Figura 1b.

Para el periodo 2034-2064, la frecuencia de sequías hidrológicas de corta duración (1-2 meses) aumentaría alrededor del 61 % (Figura 4); mientras que la frecuencia de sequías que duran entre 3 y 4 meses aumentaría en un 11 % (Figura 4). Estos resultados son consistentes con los patrones espaciales identificados en la frecuencia de sequías meteorológicas y agrícolas (Figuras 3b-d). De hecho, estos se caracterizarían con menor precipitación y mayor evapotranspiración durante el inicio de la temporada de lluvia (Tabla 1).

Tabla 1. Cambios porcentuales (%) de la precipitación y la evapotranspiración (setiembre-abril) para el periodo 2034-2064, comparado a 1984-2014, para cuencas monitoreadas en la estación Ramis (Perú) y Chuquiña (Bolivia).

Cambios de precipitación (%)	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Ramis	-2.4	-1.8	3.3	8.1	7.3	6.4	6.2	5.4
Chuquiña	-7.4	-7.8	-3.7	3.7	6.0	2.0	1.6	-0.2

Cambios evapotranspiración (%)	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Ramis	8.7	7.9	7.9	7.3	6.8	6.8	7.7	7.7
Chuquiña	10.1	9.6	10.2	9.5	7.7	8.6	8.8	9.2

CONCLUSIONES

Para el periodo de evaluación de las salidas de los modelos (2034-2064), se esperan incrementos de la temperatura y la evapotranspiración, así como la reducción de la lluvia en la región sur en comparación al norte del TDPS. Las proyecciones indican que habrá cambios en la intensidad y duración de las sequías en el TDPS, las que se volverían más intensas y frecuentes en el centro y sur en comparación a la región norte. Se proyecta un aumento de la frecuencia de las sequías meteorológicas de corta duración (1-2 meses) en el Altiplano que se desarrollaría principalmente durante la temporada de inicio de lluvias. Las sequías meteorológicas implicarían que la frecuencia de las sequías agrícolas e hidrológicas se amplifiquen.

REFERENCIAS

- ANA (2010). *Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en el Perú. Informe Nacional del Perú. Autoridad Nacional del Agua.*
- Brunet-Moret, Y (1979). *Homogénéisation des précipitations. Cah. ORSTOM Ser. Hydrology.* 16, 3–4.
- Builes-Jaramillo, A., & Poveda, G. (2018). *Conjoint analysis of surface and atmospheric water balances in the Andes-Amazon system. Water Resources Research,* 54, 3472–3489. <https://doi.org/10.1029/2017WR021338>
- Escurra, J.; Vázquez, V.; Cestti, R.; De Nys, E. (2014). *Climate change impact on countrywide water balance in Bolivia. Regional Environmental Change* 14, 727–742.
- Espinoza, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., De Oliveira, E. (2009). *Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon Basin Countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). International Journal Climatology.* 29:1574–1594.
- García, M.; Raes, D.; Allen, R.G.; Herbas, C. (2004). *Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano). Agricultural Water Management,* 125, 67–82.
- Hargreaves and Samani. (1985). *Reference crop evapotranspiration from temperature. Trans. ASAE,* 2, 96–99.
- Lagos, P.; Silva, Y.; Nickl, E.; Mosquera, K. (2008). *El Niño, Climate Variability and Precipitation Extremes in Perú. Advances in Geosciences,* 14, 231–237.
- López-Moreno et al. (2015). *Recent temperature variability and change in the Altiplano of Bolivia. International Journal of Climatology.* 36: 1773–1796.
- McKee, T.B.; Doesken, N.J.; Kliest, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, Anaheim, CA, USA.*
- Mishra, A. K.; Singh, V.P. (2010). *A review of drought concepts. Journal of Hydrology.* 391, 202–216.
- Niel, H.; Paturel, J.E.; Servat, E. (2003). *Study of parameter stability of a lumped hydrologic model in a context of climatic variability. Journal of Hydrology,* 278, 213–230.
- Piani, C.; Weedon, G.P.; Best, M.; Gomes, S.M.; Viterbo, P.; Hagemann, S.; Haerter, J.O. (2010). *Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. Journal of Hydrology,* 395, 199–215.
- Parker, J.A.; Kenyon, R.V.; Troxel, D.E. (1983). *Comparison of interpolating methods for image resampling. IEEE Transactions on Medical Imaging,* 2, 31–39.
- PNUD (1996). *Diagnostico Ambiental del Sistema Titicaca- Desaguadero- Poopo- Salar de Coipasa (Sistema TDPS) Bolivia-Perú. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.* 2, 12-13.
- Riahi, K.; Krey, V.; Rao, S.; Chirkov, V.; Fischer, G.; Kolp, P.; Kindermann, G.; Nakicenovic, N.; Rafai, P. (2011). *RCP-8.5: exploring the consequence of high emission trajectories. Climatic Change.* 109:33–57.
- Rocha, A. (2007). *El Mega-Niño 1982-83, “La Madre de todos los niños”. Presentation at the Second International Congress on “Obras de Saneamiento, Hidráulica, Hidrología y Medio Ambiente.” HIDRO 2007- ICG. Lima, June 2007.*

Satgé, F., et al. (2017). Role of Climate Variability and Human Activity on Poopó Lake Droughts between 1990 and 2015 Assessed Using Remote Sensing Data, *Remote Sensing*. 9(3), 218.

Segura, H.; Espinoza, J.C.; Junquas, C. (2016). Evidencing decadal and interdecadal hydroclimatic variability over the Central Andes. *Environmental Research Letters*. 11(9).

Shukla, S.; Wood, A.W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, 35, 2.

Taylor, K.E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research* 106, 7183–7192.

Vicente-Serrano, S.; Chura, O.; López-Moreno, J.; Azorin-Molina, C.; Sanchez-Lorenzo, A.; Aguilar, E.; Moran-Tejeda, E.; Trujillo, F.; Martínez, R.; Nieto, J. (2016). Spatio-temporal variability of droughts in Bolivia: 1955–2012. *International Journal of Climatology*, 35, 3024–3040.

Wang, A.; Lettenmaier, D.P.; Sheffield, J. (2011). Soil moisture drought in China, 1950–2006. *Jornal of Climate*. 24, 3257–3271.

Zubieta, R., Laqui, W., y Lavado, W. (2018). Modelación hidrológica de la cuenca del río Ilave a partir de datos de precipitación observada y de satélite, periodo 2011-2015, Puno, Perú. *Tecnología y ciencias del agua*, 9 (5), 85-105.

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS DE ONDELETAS CRUZADAS DURANTE UN EVENTO DE PRECIPITACIÓN INTENSA SOBRE EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO

José Luis Flores-Rojas¹, Wagner Leite dos Santos² y Hugo Abi Karam²

RESUMEN

El objetivo del presente avance de investigación es realizar el análisis espectral de ondeletas cruzadas (TOX) entre la serie temporal de precipitación comparada con las series temporales de humedad específica, temperatura superficial del aire e intensidad del viento horizontal antes, durante y después del evento de precipitación intensa ocurrido sobre el observatorio de Huancayo (OHY) el día 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local. Este evento registró un máximo de precipitación acumulada horaria igual a 6.2 mm h^{-1} . Los resultados del TOX muestran que existe una similitud entre los patrones de periodicidad de todas las series temporales analizadas con un valor mínimo de 0.3 horas (18 minutos) y una periodicidad máxima de 6 horas para la humedad específica y la temperatura del aire y de 8 horas para la intensidad del viento horizontal. En relación a los desfases o retardos temporales, los resultados muestran un desfase mínimo de 180° (9 minutos) y máximo de 90° (1.5 horas) para la humedad específica, mínimo de 180° (9 minutos) y máximo de 230° (3.8 horas) para la temperatura superficial del aire y mínimo de 270° (14 minutos) y máximo de 45° (1 hora) para la intensidad del viento horizontal. Estas diferencias ponen en evidencia el hecho de que los máximos de estas variables ocurren en momentos diferentes dentro de su ciclo diurno y, por lo tanto, tienen un desfase diferente en relación al momento de la ocurrencia de la máxima intensidad de precipitación.

Palabras clave: Ondeletas, análisis espectral, desfase, ciclo diurno.

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú
2. Instituto de Geociencias, Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil

Citar como: Flores-Rojas, J. L., Leite dos Santos, W., Abi Karam, H. (2021). Análisis de ondeletas cruzadas durante un evento de precipitación intensa sobre el observatorio de Huancayo. *Boletín científico EL Niño*, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 8 n.º 06, págs. 15-21.

INTRODUCCIÓN

Diversas investigaciones, enfocadas en el análisis de series temporales de ciertas variables, durante eventos meteorológicos asociados a la convección atmosférica, han utilizado metodologías que permiten la identificación de tendencias (de aumento o disminución) en la precipitación. Desvíos en las tendencias lineales pueden indicar no-estacionalidad en las series temporales que pueden estar asociadas tanto a la variabilidad propia de los datos como a las fluctuaciones climáticas en el periodo de tiempo analizado. La técnica espectral de ondeletas continua (TOC) permite la identificación y cuantificación de la variabilidad de series temporales mediante la descomposición en el dominio del tiempo y de las frecuencias de la señal, permitiendo la identificación de periodicidades intermitentes (Torrence and Compo, 1998; Grinsted et al., 2004). Más aún, cuando se analizan dos series temporales, la técnica espectral de ondeletas cruzadas (TOX) permite la identificación de potencias comunes de ondeletas cruzadas, de la fase relativa y del cambio de fase en el dominio del tiempo y la frecuencia, respectivamente. Por lo tanto, TOX es de gran importancia para explorar periodicidades comunes en dos series de tiempo de variables meteorológicas asociadas a la ocurrencia de precipitaciones intensas (Tomás et al., 2020; Onderka and Chudoba, 2018).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es realizar un análisis de la TOX a las series temporales de precipitación, temperatura del aire, humedad específica e intensidad del viento horizontal, antes, durante y después del evento de precipitación intensa ocurrido sobre el observatorio de Huancayo (OHY) el día 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local.

Este estudio permitirá mejorar el entendimiento de las escalas temporales dominantes entre los flujos de calor y humedad específica del aire que puedan estar asociados al proceso de formación de lluvias intensas en los Andes centrales.

DESARROLLO

Para el presente estudio se utilizaron datos de precipitación obtenidos por el pluviómetro Campbell modelo TE525-L, el cual tiene un colector de 15.4 cm de diámetro y se encuentra configurado con una resolución temporal de un minuto y una precisión igual a 0.254 mm por minuto. También se utilizaron las mediciones de temperatura y humedad relativa de los termohigrómetros de la marca Campbell (HMP60) y datos de intensidad del viento medidos por anemómetros de 3 copas de la marca Campbell (03002Wind Sentry). Todos estos sensores fueron instalados en 4 niveles diferentes (2, 6, 12, 18, 24)

de una torre de gradiente de 30 m de altura, ubicada en el OHY del Instituto Geofísico del Perú, el cual está localizado en los Andes centrales (12°S , 75.3°W).

Por otro lado, se escogió el evento de precipitación intensa ocurrido el 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local sobre el OHY, con un acumulado horario igual a 6.2 mm. Tal como se observa en la Figura 1a, este evento fue el más intenso de octubre del 2019 y fue el primer evento de precipitación intensa ocurrido en la temporada lluviosa 2019-2020 (Figura 1b). El acumulado horario de precipitación excedió considerablemente la desviación estándar del valor medio de la precipitación histórica registrada durante ese mes (Figura 1b).

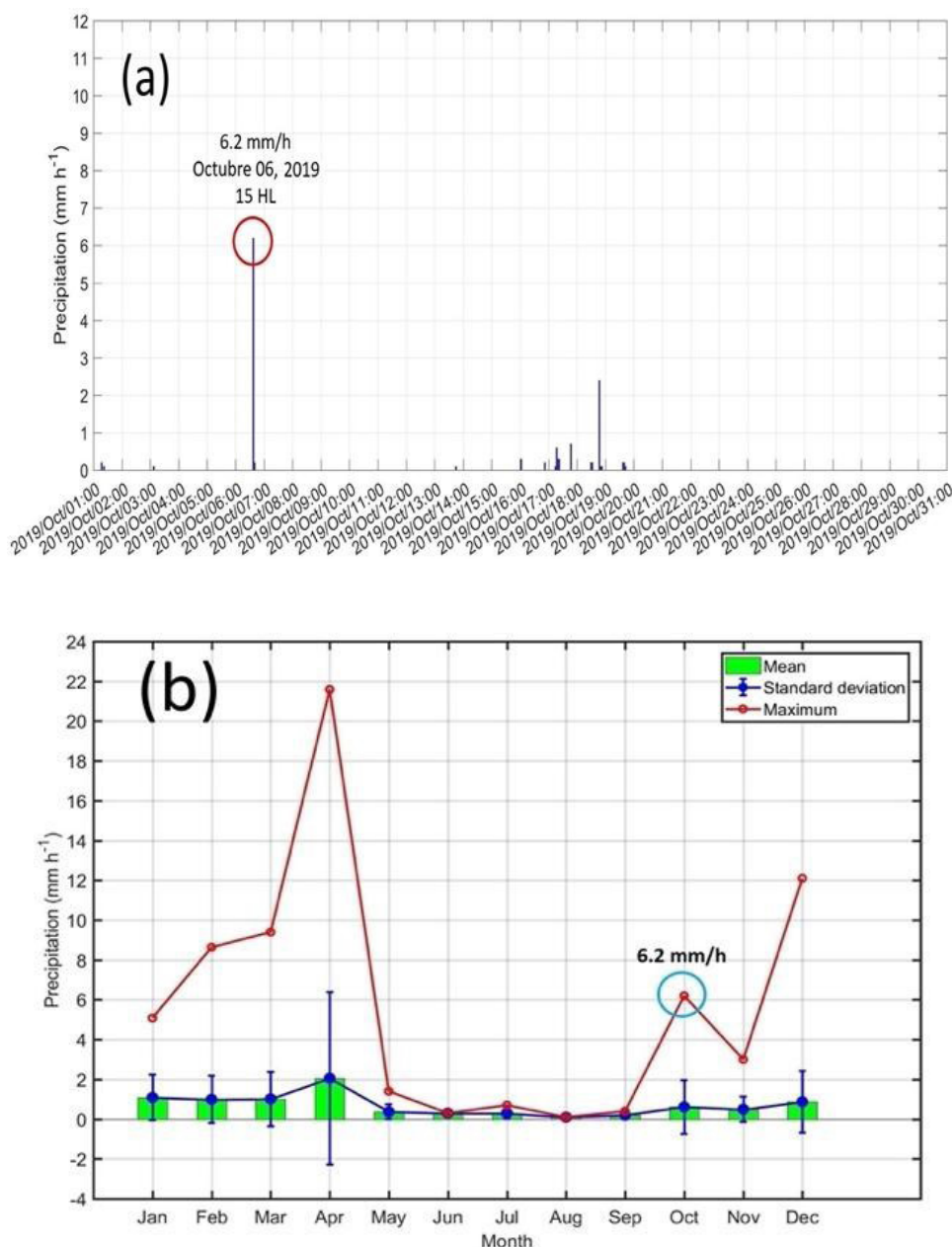


Figura 1. (a) Valores medios con desviaciones estándar y valores máximos de precipitación acumulada horaria mensual durante el año 2019 sobre el OHY. Se resalta el evento de máxima intensidad de precipitación horaria ocurrido en el mes de octubre con 6.2 mm h^{-1} . (b) Serie temporal de precipitación acumulada horaria durante el mes de octubre 2018, se resalta el evento de mayor intensidad ocurrido el 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local con intensidad de 6.2 mm h^{-1} .

Para el análisis de las series temporales de las variables atmosféricas durante el evento del 6 de octubre de 2019 se utilizó la TOC, la cual descompone las series temporales en una imagen de potencias espectrales en el dominio del tiempo y de la frecuencia, donde la potencia de las ondeletas es función de ambas variables. Por lo tanto, la TOC puede ser utilizada para identificar periodicidades relevantes dentro de intervalos de tiempo definidos en una serie de datos. Para este estudio se usó la ondeleta de tipo Morlet, ya que ha sido usada en trabajos similares (Grinsted et al., 2004).

Además, la relación entre dos diferentes series temporales puede ser analizada utilizando la TOX, la cual multiplica la TOC de la serie temporal de una primera variable por la compleja conjugada de la TOC de la serie temporal de otra segunda variable. La TOX calculada a partir de las dos TOCs exhibe regiones con altos valores de potencia de ondeletas cruzadas comunes a ambas series temporales. Adicionalmente, la fase del gráfico TOX indica el retardo temporal (Δt) existente entre ambas series y puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta t = \frac{\Delta \varphi \times T}{2 \pi}$$

Donde T es la periodicidad o el periodo de la onda común a ambas series temporales y $\Delta \varphi$ es la diferencia de fase entre las dos señales medido radianes. En el presente trabajo se realizó un análisis de la TXO aplicada a las series temporales de precipitación y las series temporales de humedad específica, temperatura del aire e intensidad del viento.

RESULTADOS

SERIES TEMPORALES DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

La Figura 1a muestra la serie temporal de la precipitación del evento del día 6 de octubre de 2019, con un acumulado horario máximo igual a 6.2 mm ocurrido a las 15:00 hora local. La Figura 2 muestra la serie temporal de la temperatura superficial del aire, la humedad relativa, la humedad específica y la intensidad de viento dos días antes y dos días después del evento de precipitación intensa, el cual está resaltado por dos líneas verticales y un círculo negro que indica el inicio de la precipitación. En la figura 2a, se observa que el evento de precipitación coincide con un decaimiento significativo de la temperatura desde los 12 °C hasta 0 °C. Este gradiente térmico es mucho más intenso en comparación con otros días sin precipitación. La Figura 2b muestra la serie temporal de la humedad relativa durante el evento de precipitación intensa, donde se observa un aumento significativo de la humedad relativa desde 15 % hasta 86 % en el nivel de 29 m. Al igual que en el caso de la temperatura, este gradiente de humedad relativa es mucho más intenso si se compara con los otros días sin precipitación intensa.

Además, la Figura 2c muestra la serie temporal de la humedad específica en la cual se observa un aumento significativo desde 2 hasta los 6 g kg⁻¹ en el nivel de 29 m durante la ocurrencia del evento. Finalmente, la Figura 2d muestra la serie temporal de la intensidad del viento horizontal durante el evento de precipitación intensa, donde, al igual que en los casos anteriores, se observa un crecimiento significativo de la intensidad del viento desde 0 hasta 17 m s⁻¹ en el nivel de 29 m.

Todas las variaciones de este conjunto de variables atmosféricas se observan antes, aproximadamente entre 10 y 20 minutos, del inicio del evento de precipitación intensa.

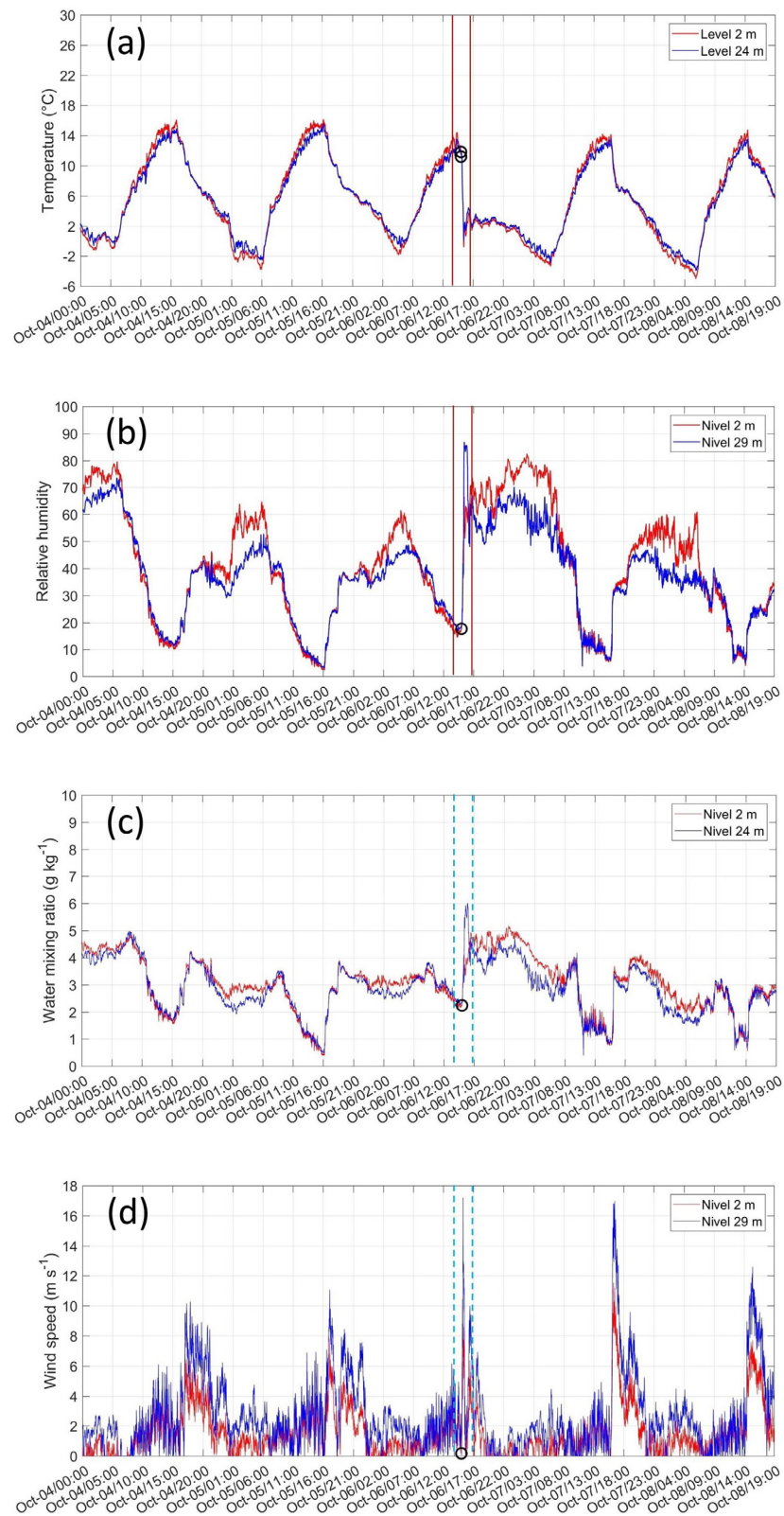


Figura 2. Series temporales de (a) temperatura en superficie ($^{\circ}\text{C}$), (b) humedad relativa (%), (c) razón de mezcla de vapor de agua (g kg^{-1}) y (d) intensidad de viento (m s^{-1}), durante dos días antes y dos días después de la ocurrencia del evento de precipitación intensa ocurrido el 06 de octubre del 2019 a las 15:00 hora local sobre el OHY. El inicio del evento se resalta con un círculo negro y dos líneas verticales.

ESPECTRO DE POTENCIAS DE ONDELETAS CRUZADAS (TOX)

La Figura 3a muestra la evolución temporal del espectro de ondeletas cruzadas entre la serie temporal de la precipitación y la humedad específica, dos días antes y dos días después del evento de precipitación intensa del día 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local. Se observan valores de coherencia estadísticamente relevantes entre ambas señales temporales con valores superiores a 0.7 y con dos intervalos de periodicidades que van desde las 0.3 horas (18 minutos) hasta las 1.20 horas (primer intervalo) y desde las 2.5 hasta las 8 horas (segundo intervalo), con un pico máximo cercano a las 6 horas.

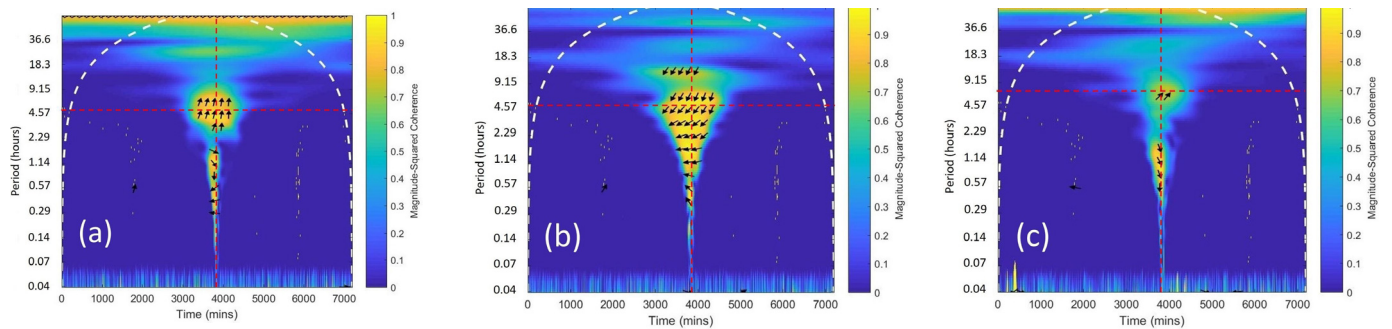


Figura 3. Evolución temporal del espectro de potencia de ondeletas cruzadas (TOX) para las series temporales de (a) razón de mezcla de vapor de agua y precipitación en superficie; (b) temperatura y precipitación en superficie; (c) intensidad del viento y precipitación en superficie, durante dos días antes y dos días después de la ocurrencia del evento de precipitación intensa ocurrido el 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local sobre el OHY. La escala de colores indica la magnitud del espectro de coherencia.

El intervalo de periodos más bajos (primer intervalo) corresponde a periodicidades comunes cercanas al pico de mayor intensidad de precipitación, por el contrario, los periodos más altos (segundo intervalo) corresponden a periodicidades horarias de la serie temporal de la humedad específica. En relación al retardo temporal entre ambas señales (Δt), para el primer intervalo de periodicidades se observa un retardo entre los 180° (9 min) y los 0° (en fase) y para el segundo intervalo, el retardo es de aproximadamente 90° , lo cual indica un retardo de 1.5 horas para un periodo de 6 horas.

Además, la Figura 3b muestra la evolución temporal del espectro de ondeletas cruzadas entre la serie temporal de la precipitación y la temperatura del aire, dos días antes y dos días después del evento de precipitación intensa del día 6 de octubre de 2019 a las 1500 hora local. Al igual que en el caso anterior, se observan dos intervalos de periodicidades con coherencias estadísticamente significativas entre ambas señales. El primer intervalo abarca desde las 0.3 horas (18 minutos) hasta las 1.20 horas, y el segundo intervalo desde las 2.5 horas hasta las 8 horas con un pico máximo cercano a las 6 horas. Para el primer intervalo de periodicidades, el retardo temporal es aproximadamente igual al que se observa en el caso anterior, y se encuentra cercano a los 180° (9 min). Sin embargo, el retardo temporal para el segundo intervalo de periodicidades es diferente al caso anterior, con valores cercanos a los 230° (3.8 horas).

Finalmente, la Figura 3c muestra la evolución temporal del espectro de ondeletas cruzadas entre la serie temporal de la precipitación y la intensidad del viento horizontal, dos días antes y dos días después del evento de precipitación intensa del día 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local. Al igual que en los casos anteriores, se observan dos intervalos de periodicidades con coherencias estadísticamente significativas entre ambas señales. El primer intervalo abarca desde las 0.3 horas (18 minutos) hasta la 1.2 horas, y el segundo intervalo tiene un pico máximo de intensidad alrededor de las 8 horas. Para el primer intervalo, el retardo temporal es aproximadamente igual a 270° (14 minutos). Sin embargo, el retardo temporal para el segundo intervalo es diferente a los casos anteriores, con valores cercanos a los 45° (1 hora).

CONCLUSIONES PRELIMINARES

- El análisis de la TXO entre las series temporales de precipitación y humedad específica muestra la existencia de una periodicidad común mínima de 0.3 horas (18 minutos) con un desfase de 180° (9 minutos) y una periodicidad común máxima de 6 horas con un desfase de 90° (1.5 horas).
- El análisis de la TXO entre las series temporales de precipitación y temperatura superficial del aire muestra que tienen una periodicidad común mínima de 0.3 horas (18 minutos) con un desfase de 180° (9 minutos) y una periodicidad común máxima de 6 horas con un desfase de 230° (3.8 horas).
- El análisis de la TXO entre las series temporales de precipitación e intensidad del viento horizontal muestra que tienen una periodicidad común mínima de 0.3 horas (18 minutos) con un desfase de 270° (14 minutos) y una periodicidad común máxima de 8 horas con un desfase de 45° (1.0 hora).
- A partir de estos resultados, concluimos que existe una similitud entre los patrones de periodicidad de todas las series temporales analizadas durante el evento de precipitación intensa del día 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local. Sin embargo, existe una diferencia notoria en los retardos temporales de cada una de estas variables, lo cual pone en evidencia el hecho de que los picos de humedad específica, temperatura del aire e intensidad del viento horizontal ocurren en momentos diferentes dentro de su ciclo diurno y, por lo tanto, tienen un desfase diferente en relación al momento de ocurrencia de la máxima intensidad de precipitación.

REFERENCIAS

Grinsted, A., Moore, J. C., Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11, pp.561-566.

Torrence, C., Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79 (1), pp. 61-78.

Tomás, R., Pastor, J. L., Béjar-Pizarro, M., Boní, R., Ezquerro, P., Fernández-Merodo, J. A. et. al. (2020). Wavelet analysis of land subsidence time-series: Madrid Tertiary aquifer case study. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 382, pp.353-359.

Onderka, M., Chudoba, V. (2018). The Wavelets show it – the transit time of water varies in time". *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 66(3), pp. 295-302.

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO DE EL NIÑO

PP n.º 068/EL NIÑO-IGP/2021-06

Para el mes de mayo de 2021, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), se presentó la condición climática neutra (-0.59°C), la misma condición climática se observa en los valores temporales del ICEN (ICEN-tmp) de los meses de junio y julio. Por otra parte, para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de mayo (-0.47°C) y los valores temporales del ONI para junio y julio, indican condiciones neutras.

En el mes de junio, la onda de Kelvin cálida continuó afectando el nivel del mar a lo largo de la costa peruana. Por otro lado, en el Pacífico ecuatorial, se observó la presencia de una onda de Kelvin fría débil en la zona oriental y otra cálida en la región central, ambas de magnitud débil. Los modelos numérico de ondas diagnostican la presencia de otra onda de Kelvin fría alrededor de 160°W . Estas ondas deben arribar a la costa americana en los siguientes dos meses y, a la fecha, no se esperan mayores impactos en la costa peruana.

El promedio de las predicciones numéricas de los seis modelos climáticos de NMME, inicializados con la información oceánica y atmosférica de julio, continúan indicando condiciones dentro del rango neutral hasta el mes de febrero de 2022 frente a la costa peruana. Por otro lado, en el Pacífico central, el promedio de los modelos de NMME indican condiciones neutras para el mes de julio, y condiciones de frías desde agosto hasta, por lo pronto, febrero de 2022. Según estos resultados, el evento La Niña 2020-2021 habría terminado en mayo; sin embargo, se iniciaría otro evento frío a partir de agosto, el cual, de cumplirse, podría configurarse en un evento La Niña.

Puede acceder al informe técnico de El Niño 2020-06 en el siguiente link:
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4983>

RESUMEN DEL COMUNICADO OFICIAL ENFEN n.º 07-2021

14 DE JULIO DE 2021

ESTADO DEL SISTEMA DE ALERTA: **NO ACTIVO**¹

La Comisión Multisectorial del ENFEN mantiene el estado del “Sistema de alerta ante El Niño y La Niña Costeros” como “No activo”, debido a que no se observan condiciones favorables para El Niño ó la Niña Costeros en estos momentos. El escenario más probable es que la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte y centro del mar peruano, se mantenga, en promedio, dentro de su rango normal hasta el verano de 2022; así como el desarrollo de un nuevo evento La Niña en el Pacífico central (región Niño 3.4) entre la primavera de 2021 y el verano de 2022.

Por lo anterior se recomienda a los tomadores de decisión considerar los escenarios de riesgo asociados a un posible evento La Niña en el Pacífico central.



Foto: Roman Odintsov

COMISIÓN MULTISECTORIAL
ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL
DEL FENÓMENO “EL NIÑO” (ENFEN)
DECRETO SUPREMO n.º 007-2017-PRODUCE



ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO “EL NIÑO”

¹El Estado del Sistema de Alerta “No Activo” se da en condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costera están próximos a finalizar.

Puede acceder al Comunicado Oficial del ENFEN n.º 07-2021 en el:
<http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-07-2021/>
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4978>

Redes IGP:

<https://www.gob.pe/igp>

 <https://web.facebook.com/igp.peru>

 https://twitter.com/igp_peru

 https://www.youtube.com/c/IGP_videos