DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

CAMBIOS EN LA ESTACIONALIDAD DE LAS LLUVIAS EN LOS ANDES CENTRALES PERUANOS Y SU RELACIÓN CON LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA A GRAN ESCALA

Lucy Giráldez [1], Yamina Silva [1], Juan Sulca [1] y Ricardo Zubieta [1]

RESUMEN

Los cambios en las fechas de inicio, finalización y duración de la temporada de lluvias en los Andes centrales del Perú, específicamente en la cuenca del río Mantaro (CRM), afectan gravemente la gestión de los recursos hídricos y las principales actividades económicas de la región (ej. agricultura de secano, ganadería, entre otras). Para evaluarlo, se usan datos diarios de lluvia observada de distintas fuentes durante el período 1965-2013. Para este período, la fecha promedio de inicio de la temporada de lluvias sobre la CRM ocurren entre el 19 y 23 de septiembre (pentada 17), en tanto que la finalización de la temporada de lluvias ocurre entre el 7 y 11 de abril (la pentada 57). La duración de la temporada de lluvias depende principalmente de la fecha de inicio, debido a que esta tiene una mayor variabilidad que la fecha de finalización. Se ha encontrado una reducción de 3 días por década en la duración de la temporada de lluvias sobre la CRM durante las últimas cuatro décadas, debido al retraso en el inicio de la temporada. Además, las condiciones El Niño favorecen el inicio tardío y la finalización temprana de la temporada de lluvias, es decir, una temporada de lluvias más corta. Por otro lado, La Niña favorece el inicio temprano y el final tardío de la temporada de lluvias, es decir una temporada más amplia.

El artículo científico original se encuentra en: https://www.mdpi.com/2225-1154/8/2/23

Palabras clave: *Temporada de lluvias, fecha de inicio de lluvias, fecha de finalización de lluvias; estacionalidad de las lluvias; Andes centrales del Perú; cuenca del río Mantaro.*

AFILIACIÓN:
1- Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Citar como: Giráldez, L., R., Silva, Y., Zubieta, R., y Sulca, J. (2020). Cambios en la estacionalidad de las lluvias en los Andes centrales peruanos y su relación con la circulación atmosférica a gran escala. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N° 01, pag. 4-12.

INTRODUCCIÓN

La estación lluviosa es esencial para el desarrollo de varias actividades económicas en los Andes centrales peruanos como la agricultura, ganadería, generación de energía, agua potable, entre otros (Silva et al., 2008). El inicio de la temporada de lluvias es el factor más decisivo para la agricultura en secano de la cuenca del río Mantaro (CRM) (IGP, 2012; Figura 1). Los agricultores usan el inicio del período de lluvias como un indicador para la siembra. El retraso en el inicio de las lluvias y la intensa radiación existente en la CRM representan una limitación climática significativa para la agricultura, ya que dichas condiciones generan mayor evaporación del agua en el suelo, y, por ende, reducen la disponibilidad del recurso hídrico para las plantas, lo cual resulta, particularmente, perjudicial para la germinación de las semillas. A consecuencia de las condiciones anteriormente mencionadas, se reducen las superficies sembradas, cosechadas, y la producción de cultivos; por lo cual, muchos agricultores locales cambian de actividad económica debido a que no les resulta rentable sembrar con la incertidumbre de no saber si habrá o no lluvias durante la época de siembra.

Existen muchos estudios sobre el inicio de las lluvias en América del Sur, principalmente para la cuenca del río Amazonas. En el centro y sureste de Brasil, durante el período 1984–2004, el inicio de las lluvias fue tardía en un 17 % de los años y temprana en un 11 % (Raia & Cavalcanti, 2008). Las simulaciones realizadas con modelos climáticos globales indican que las fechas de inicio de lluvias se retrasan en algunas pentadas (PENs) (Latinović et al., 2019) y que existirá un acortamiento de las estaciones lluviosas para todo el África tropical y el noreste de Brasil bajo un escenario de calentamiento global de 1.5 °C y 2.0 °C (Saeed et al., 2018). Para los Andes del Perú se han realizado pocos estudios. Entre ellos, Silva y Mosquera (2012) encontraron un retraso de 26,3 días en la temporada de lluvias en la zona central de la CRM durante el período 1921–2010; sin embargo, no se pudo verificar el retraso de la temporada de lluvias para el resto de la CRM.

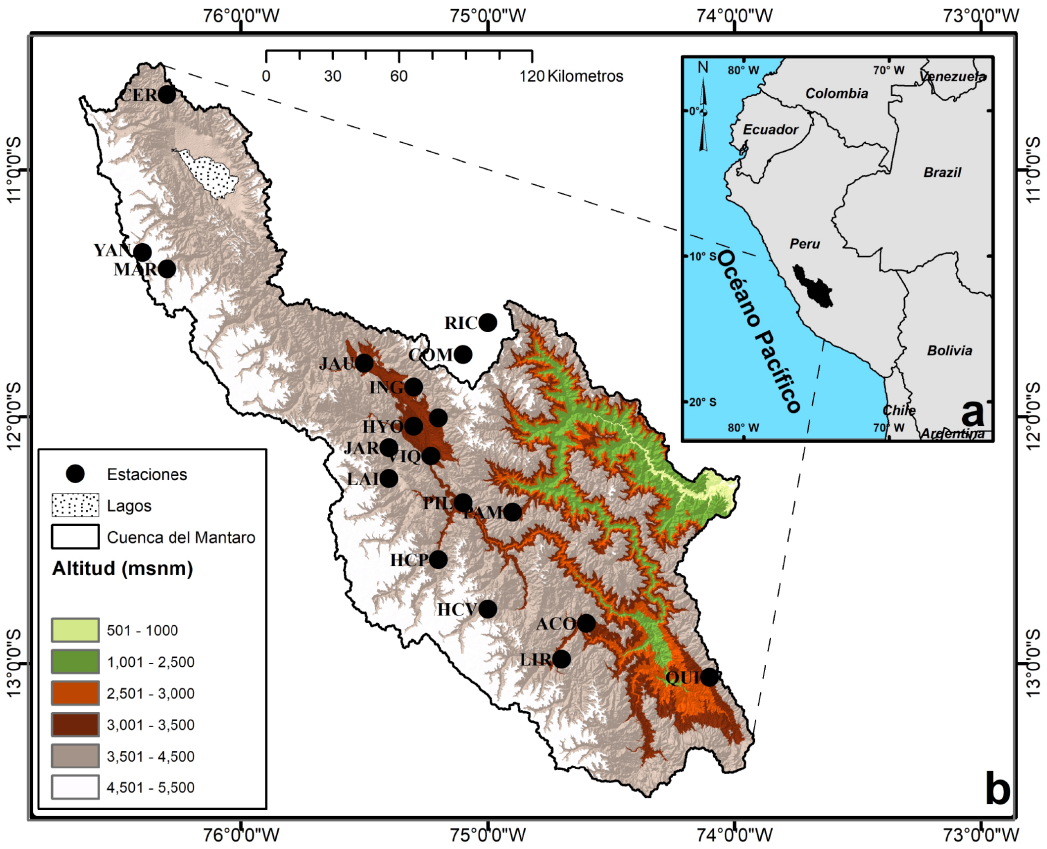

Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Mantaro (CRM). Los puntos negros representan la ubicación de las estaciones utilizadas en este estudio. El sombreado representa la elevación topográfica en la CRM.

Investigar sobre los cambios en la estacionalidad de las lluvias es una prioridad en la región andina debido a los impactos que se generan en diversas actividades, especialmente en las prácticas culturales de la agricultura local. Por lo cual, el objetivo de este estudio es la documentación del cambio de las características climatológicas del ciclo estacional de las lluvias (inicio, finalización y duración) sobre CRM para el período 1965-2013 y su asociación con los patrones regionales de circulación atmosférica.

Este estudio contribuirá a una mejor comprensión de las causas de la variabilidad interanual de las fechas de inicio y finalización de las lluvias en la CRM. Los resultados pueden servir para sensibilizar a las personas y autoridades sobre cómo el cambio climático afecta la estacionalidad de las lluvias y cómo debemos adaptarnos.

DATOS Y METODOLOGÍA

Se han utilizado datos de precipitación diaria de 19 estaciones meteorológicas en la CRM (IGP, SENAMHI y ELECTRO-PERU) durante el período 1965-2013. Otros registros de lluvia usados en este trabajo provienen del producto grillado GPCP (de sus siglas en ingles *Global Precipitation Climatology Project*) con una resolución de 2.5° x 2.5°. Adicionalmente, se utilizaron datos de radiación de onda larga saliente (OLR, de sus siglas en inglés), como trazador de lluvias. Estos datos, proporcionados por el NCEP/NOAA[1] están a una resolución espacial de 2.5° x 2.5° y a 1° x 1° del UMD/ESSIC/CDR/NOAA[2] . Los datos de viento zonal y meridional a escala diaria a 700 hPa, 600 hPa y 200 hPa provienen de ERA-Interim, los cuales poseen una resolución espacial de 0.75° x 0.75°.

Para identificar las fechas de inicio y finalización de las lluvias en la CRM, utilizamos el criterio de las PENs, como lo usó (Marengo et al., 2001) y la línea de promedio móvil (García-Páez & Cruz-Medina, 2008). En este estudio, definimos las fechas de inicio de la temporada de lluvias cuando la primera pentada (PEN) de un conjunto de seis PENs, entre ocho PENs consecutivas, excede un umbral de precipitación previamente identificado, además la línea de promedio móvil de tres PENs debe exceder dicho umbral. Análogamente, la fecha de finalización de la temporada de lluvias se determinó como la PEN anterior a la primera PEN de un conjunto de seis PENs entre ocho PENs sucesivas que no exceden un umbral de precipitación determinado previamente.

Para el análisis de la variabilidad espacio-temporal de la temporada de lluvias sobre CRM, se aplicó una técnica estadística multivariada llamada Análisis de Componentes Principales (ACP). Se empleó el método basado en la matriz de correlaciones como ha sido documentado (Cuadras, 2007; Maćkiewicz & Ratajczak, 1993).

Para estudiar la existencia de cualquier banda de tiempo preferencial (años) del comienzo del día, el final y la duración de la temporada de lluvias en los Andes centrales peruanos para el período 1965–2012, se realizó un análisis de ondeletas para la precipitación y series de tiempo OLR. Los detalles matemáticos del análisis de coherencia Wavelet están documentados por (Grinsted et al., 2004; Torrence & Compo, 1998; Torrence & Webster, 1999).

[1] *https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html*
[2] *https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00875#*

RESULTADOS

La variabilidad espacial y temporal es mayor en las fechas de inicio que en las fechas finales de la temporada de lluvias en la CRM (Figura 2 a, b). La desviación estándar (SD) de las fechas de inicio varía de ±1 a ±5 PENs, mientras que la SD de las fechas finales varía de ±1 a ±3 PENs. Por lo tanto, la duración de la temporada de lluvias está modulada más por las fechas de inicio que las de finales. La variabilidad espacial probablemente se deba a la influencia de un patrón local, como la topografía de la cuenca. La variabilidad temporal probablemente esté relacionada con la influencia de un patrón global, como los sistemas transitorios para iniciar y organizar la convección profunda.

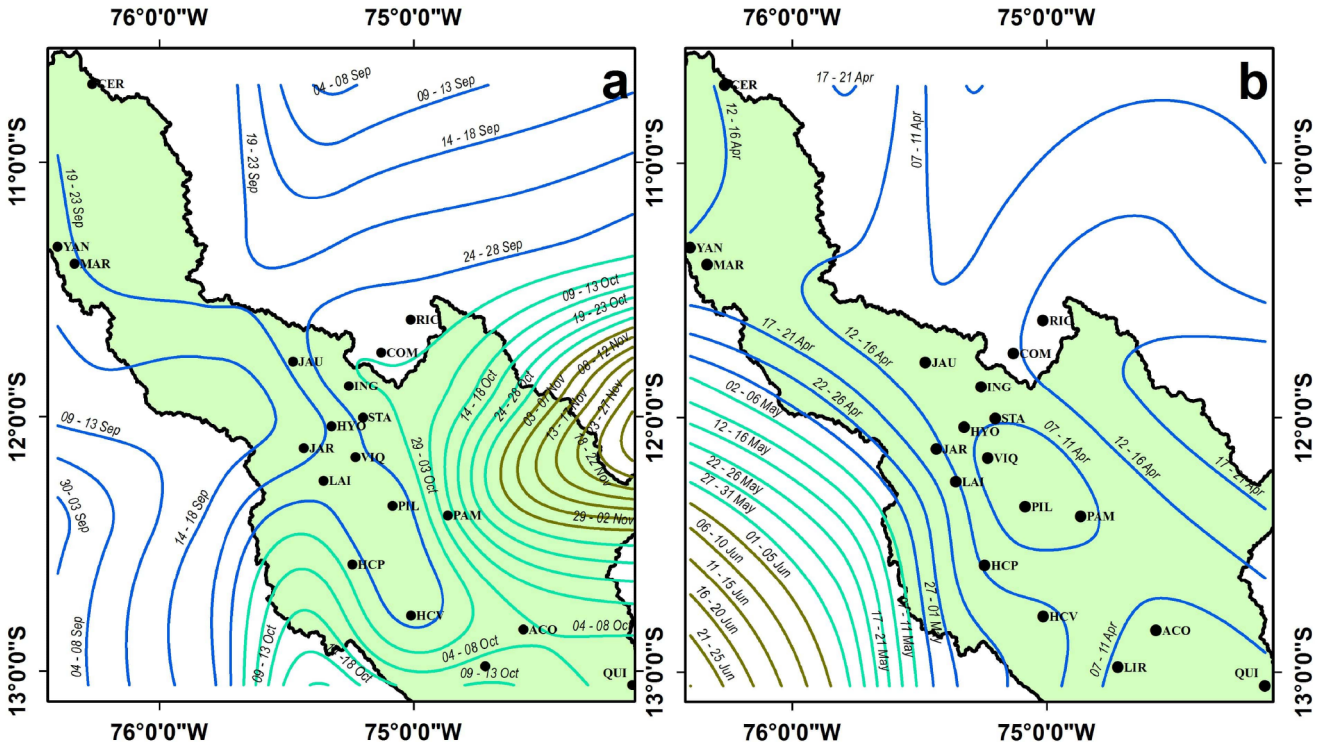

Figura 2. Distribución espacial de las isolíneas de (a) inicio y (b) fechas de finalización de la temporada de lluvias en la CRM para el período 1965-2013. Las líneas azules representan las fechas de inicio en septiembre y las fechas de finalización en abril. Las líneas verdes claras representan las fechas de inicio en octubre y las fechas de finalización en mayo. Las líneas verdes oscuras representan las fechas de inicio en noviembre y las fechas de finalización en junio.

Las fechas de inicio de las lluvias oscilan entre PEN 11 y 24, la PEN 17 (19-23 de septiembre) representa la fecha de inicio promedio de la temporada de lluvias. La fecha de finalización oscila entre PEN 53 y 61, la PEN 57 (7-11 de abril) representa la fecha de finalización promedio de la temporada de lluvias sobre CRM para el período 1965-2013. En comparación, la duración de la temporada de lluvias en la cuenca del Amazonas es más larga que la duración de la temporada de lluvias en la CRM. Según Marengo et al. (2001), la fecha de inicio promedio en la cuenca del Amazonas es la PEN centrada el 25 de septiembre, y la fecha de finalización es la PEN centrada el 2 de junio para el período 1979-1996.

En particular, encontramos que la CRM tiene una duración de la temporada de lluvias (duración 49 PENs) ligeramente más larga que el centro-oeste de Brasil (duración 46 PENs) (Gan et al., 2004). Esto concuerda con los resultados del estudio de Raia y Cavalcanti (2008) quienes indican que la duración del Sistema de Monzones de América del Sur (SAMS) determinada con el índice de flujo de humedad muestra un ciclo de lluvia más corto que el encontrado para la CRM.

Del análisis de ACP, se observa que las características espaciales y temporales asociadas con el primer componente principal (PC1) explican el 55.2 % de la varianza de las fechas de inicio de las lluvias (Figura 3a). La Figura 3a también muestra que todas las cargas de la PC1 son positivas con valores más altos sobre el valle y la parte oriental central de la CRM (> 0.352), lo cual se considera una señal fuerte y significativa de una correlación positiva asociada a un inicio tardío; los valores negativos se asocian al inicio temprano de las lluvias. La Figura 3a muestra que en 18 años, del periodo de estudio, se presentó un inicio tardío, mientras que en 29 años del total corresponden a un inicio temprano.

Del total de años con anomalías positivas (inicios tardíos), el 41.2 %, 35.3 % y 23.5 % ocurrieron durante años Neutral, El Niño y La Niña, respectivamente (Figura 3a). El 30 %, 40 % y 30 % de los años con anomalías negativas (finales tempranos) ocurren durante años Neutral, El Niño y La Niña, respectivamente (Figura 3b). Estos resultados sugieren que El Niño favorece el inicio tardío y el final temprano de la temporada de lluvias en la CRM.

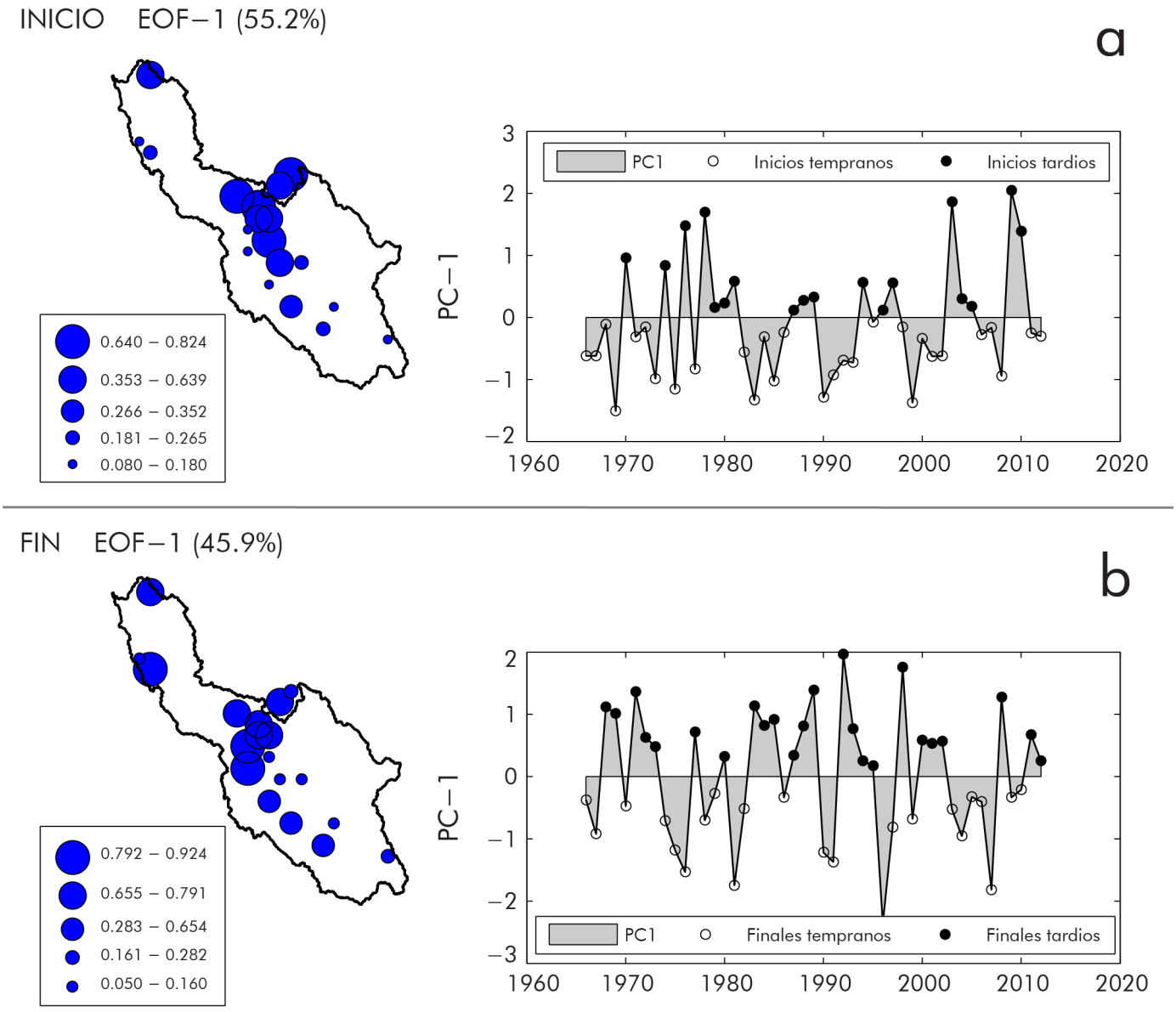

Figura 3. Variación espacial y temporal del primer componente para (a) la fecha de inicio de la lluvia y (b) la fecha de finalización de la temporada de lluvias. Los puntos blancos representan fechas de inicio temprano y finalización temprana. Los puntos negros representan fechas de inicio y finalización tardías. Análisis para el período 1966-2013.

Predominan las tendencias positivas en las fechas de inicio (Figura 4a). Los finales de la temporada de lluvias no presentan tendencias significativas (Figura 4b) y la duración de la temporada de lluvias presenta una tendencia negativa. En general, se evidencia una reducción de la duración de la temporada de lluvias aproximadamente 3 días/década debido al retraso de los días de inicio de las lluvias (Figura 4c). Confirmándose el retraso del inicio de las lluvias y el acortamiento de la temporada de lluvias con el análisis del conjunto de datos de OLR a diferentes resoluciones (2.5° y 1° de latitud-longitud) para el periodo de 1979/80–2012/13 y 1974/75–2012/13.

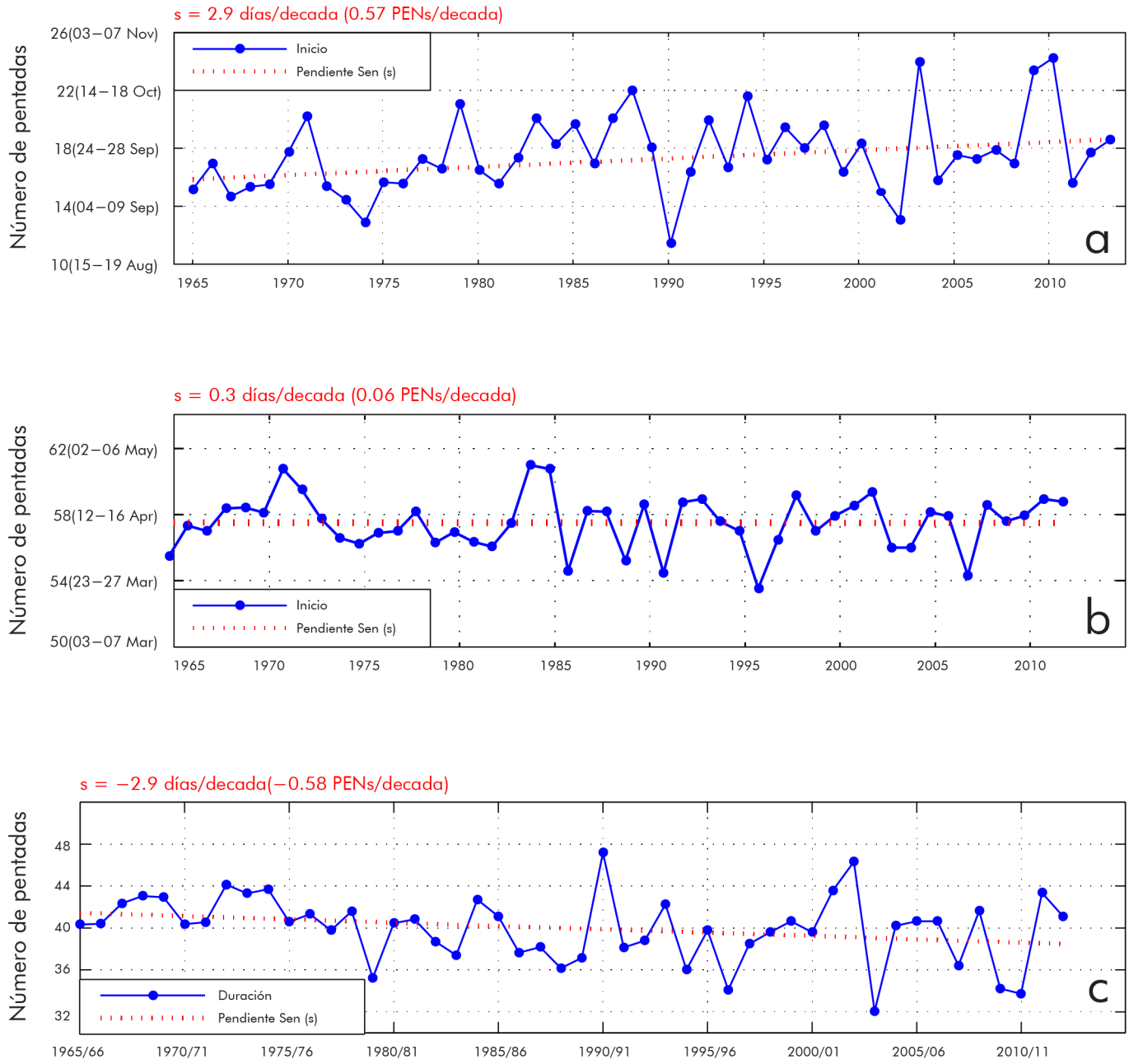

Figura 4. Serie temporal del número de PEN (línea azul) y tendencia por década (línea de puntos rojos) para (a) inicio, (b) final y (c) duración de la temporada de lluvias en la CRM para el período 1965-2013. Solo la tendencia de inicio es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95 %, mientras que la tendencia de la duración de la temporada de lluvias es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 90 %.

El inicio de la temporada de lluvias sobre la CRM es inducido por la propagación hacia el sur de la región convectiva (< 240 W/m^2), desde la región del Caribe (Figura 5a) hacia la cuenca del Amazonas (Figura 5i).

En términos de circulación regional, el inicio temprano (tardío) de las lluvias está asociado con el desplazamiento hacia la migración al sur (norte) de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS).

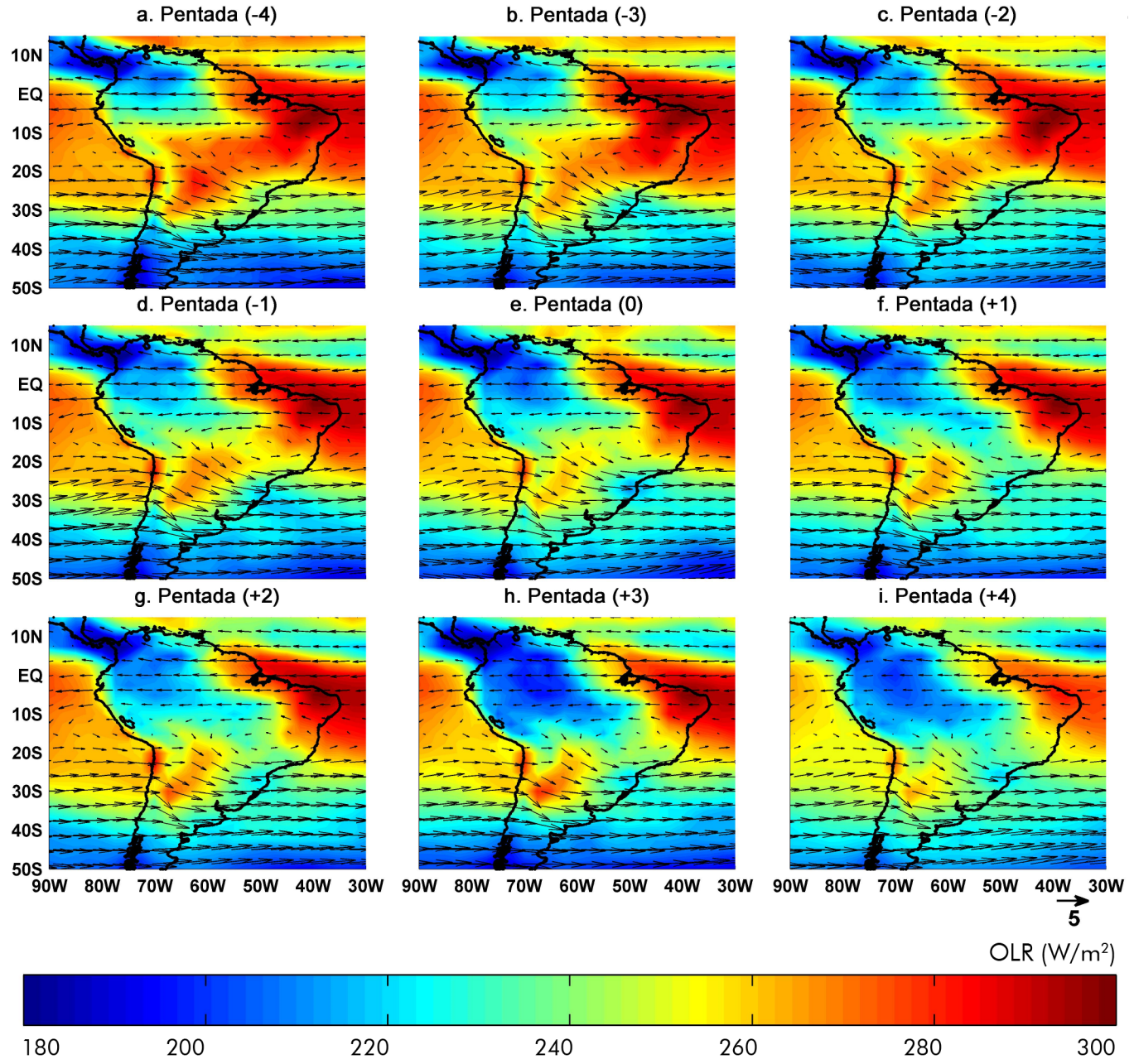

Figura 5. Análisis de época superpuesta para OLR (W/m^2) y vientos de 600 hPa (m/s) para el período anterior (4 PEN antes) e inmediatamente después (4 PEN después) del inicio de la temporada de lluvias (PEN 0: 24-28 de septiembre) en la CRM para el período 1979-2013. Análisis basado en reanalysis ERA-Interim.

CONCLUSIONES

- Las estaciones lluviosas se inducen durante la propagación hacia el sur de las regiones convectivas del SAMS desde la región del Caribe hacia la cuenca central del río Amazonas entre fines de septiembre (19-23 de septiembre, fecha de inicio) y principios de abril (7-11 de abril, fecha de finalización).

- La duración de la temporada de lluvias está modulada principalmente por las fechas de inicio debido a su mayor variabilidad (entre 1 y 5 pentadas, es decir entre 5 a 25 días) frente a la de las fechas de finalización (entre 5 y 15 días).

- Hay una reducción de aproximadamente 3 días/década en la duración de la temporada lluviosa que se ha observado durante las últimas cuatro décadas, debido principalmente al retraso en el inicio de las lluvias.

- El análisis del conjunto de datos de radiación de onda larga a diferentes resoluciones (2.5° y 1° latitud-longitud), confirma la existencia de un retraso en las fechas de inicio; así como, el acortamiento de la temporada de lluvias.

- Los resultados presentados sugieren que El Niño favorece el inicio tardío y el final temprano de la temporada de lluvias acortando el periodo lluvioso; mientras que La Niña favorece el inicio temprano y el final tardío de la temporada de lluvias en la cuenca, en otras palabras, extiende el periodo lluvioso.

- Los días de inicio temprano (tardío) están asociados con un desplazamiento hacia el sur (norte) de la ZCAS.

REFERENCIAS

Cuadras, C. M. (2007). *Nuevos Métodos de Análisis Multivariante (CMC, Vol. 20; C. M. C., ed.)*. Recuperado de http://www.est.uc3m.es/esp/nueva_docencia/getafe/estadistica/analisis_multivariante/doc_generica/archivos/metodos.pdf

Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E.V., Isaksen, L., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137*: 553-597. doi:10.1002/qj.828

Gan, M. A., Kousky, V. E., & Ropelewski, C. F. (2004). The South America Monsoon circulation and its relationship to rainfall over west-central Brazil. *Journal of Climate, 17(1),* 47–66.

García-Páez, F., & Cruz-Medina, I. R. (2008). Fechas de inicios y terminación de la temporada de lluvias en la región Pacífico Norte. *Ingeniería Hidráulica En México, 23(3),* 179–188. Recuperado de http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/142/138

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(5/6),* 561–566. https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004

Instituto Geofísico del Perú. (2012). *Manejo de riesgos de desastres ante eventos meteorológicos extremos en el valle del Mantaro - Tomo II* (IGP, Vol. 2; A. G. Martínez, ed.). Recuperado de http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/2735

Latinović, D., Chou, S. C., Rančić, M., Medeiros, G. S., & Lyra, A. de A. (2019). Seasonal climate and the onset of the rainy season in western-central Brazil simulated by Global Eta Framework model. *International Journal of Climatology, 39(3),* 1429–1445. doi: 10.1002/joc.5892

Maćkiewicz, A., & Ratajczak, W. (1993). Principal components analysis (PCA). *Computers and Geosciences, 19(3),* 303–342. doi:10.1016/0098-3004(93)90090-R

Marengo, J. A., Liebmann, B., Kousky, V. E., Filizola, N. P., & Wainer, I. C. (2001). Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate, 14(5),* 833–852.

Raia, A., & Cavalcanti, I. F. de A. (2008). The life cycle of the South American monsoon system. *Journal of Climate, 21*(23), 6227–6246. doi:10.1175/2008JCLI2249.1

Saeed, F., Bethke, I., Fischer, E., Legutke, S., Shiogama, H., Stone, D. A., & Schleussner, C.-F. (2018). Robust changes in tropical rainy season length at 1.5 °C and 2 °C. *Environmental Research Letters, 13(6),* 064024. doi:10.1088/1748-9326/aab797

Silva, Y., Takahashi, K., & Chavez, R. (2008). Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes). *Advances In Geosciences, 14,* 261–264. doi:10.5194/adgeo-14-261-2008, 2008

Silva, Y., & Mosquera, K. (2012). Inicio de temporada de lluvias en el valle del Mantaro. In M. Villaverde (Ed.), *Eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas, lluvias intensas) en el valle del Mantaro- Tomo I* (IGP, pp. 72–75). Recuperado de http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/740

Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society, 79,* 66–78.

Torrence, C., & Webster, P. J. (1999). Interdecadal Changes in the ENSO-Monsoon System. *Journal of Climate. 12(8):* 2679–2690.