DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

CONCENTRACIÓN DE LLUVIA DIARIA Y SU ASOCIACIÓN CON EVENTOS HIDROCLIMÁTICOS EXTREMOS EN LA CUENCA AMAZÓNICA

Ricardo Zubieta [1], Miguel Saavedra [1], Jhan Carlo Espinoza [2], Josyane Ronchail [3], Juan Sulca [1], Guillaume Drapeau [3] y Javier Martin-Vide [4]

RESUMEN

El análisis de datos anuales, estacionales o mensuales de precipitación puede conducir a una interpretación limitada de la distribución espacial y temporal de la lluvia diaria debido a que grandes porcentajes del total anual pueden ocurrir en pocos días. Esta alta concentración de lluvia diaria puede causar erosión de suelos, deslizamientos o inundaciones. La concentración de lluvia diaria para toda la cuenca amazónica (CA) es caracterizada empleando un "Índice de Concentración", el cual es estimado a partir de un producto grillado de precipitación observada para el periodo 1980-2009. Nuestros hallazgos proveen nueva información acerca de la distribución espacial de la lluvia diaria sobre la CA. Los resultados indican que la concentración de lluvia diaria es relativamente baja en Colombia, Ecuador, norte de Perú y los Andes sobre los 1500 m s. n. m., no obstante, es muy alta en regiones del estado de Roraima en el norte de Brasil y la Amazonía boliviana. Esto explica el porqué algunas regiones de Brasil y Bolivia son más frecuentemente afectadas por eventos de lluvia extrema que conllevan a inundaciones. Asimismo, a pesar de la baja concentración de lluvia estimada en los Andes, ello puede contribuir a incrementar la erosión de suelos o deslizamientos, debido a la interrelación con factores como la heterogeneidad de la lluvia, geología, orografía y vegetación andina.

El artículo científico original se encuentra en: https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.6009

Palabras clave: *Andes, Amazonía, lluvia, evento extremo, índice de concentración de lluvias.*

AFILIACIÓN:
1- Instituto Geofísico del Perú (IGP);
2- Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD);
3- Universidad Paris Diderot;
4- Instituto de Investigación del Agua (IdRA) de la Universidad de Barcelona.

Citar como: Zubieta, R., Saavedra, M., Espinoza, J. C., Ronchail, J., Sulca, J., Drapeau, G., y Martin- Vide, J. (2020). Concentración de lluvia diaria y su asociación con eventos hidroclimáticos extremos en la cuenca amazónica. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N° 02, pag. 4-10.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad interanual de las lluvias en el noreste de la cuenca amazónica (CA) y los Andes es caracterizada principalmente por la influencia de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y el gradiente de la temperatura superficial del mar (TSM) sobre el Atlántico tropical (Espinoza et al., 2009). Esta variabilidad espacial y temporal de las lluvias pueden ocasionar eventos hidroclimáticos extremos, tales como inundaciones y sequías. Estos eventos se han observado de manera más frecuente durante las últimas dos décadas, generando grandes pérdidas económicas y ecológicas. Por ejemplo, las sequías de 2005 y 2010, e inundaciones en 2009, 2012 y 2014 (Marengo y Espinoza, 2016).

Un estudio reciente sugiere que la frecuencia de eventos de precipitación extrema está incrementándose (Espinoza et al., 2018). Esto es consistente con el aumento de las precipitaciones que contribuyen al incremento de caudales máximos registrados en el río Amazonas, el cual conlleva a incrementar las áreas inundadas en el Perú (Sorribas et al., 2016). Por otro lado, en las últimas dos décadas, un incremento de la frecuencia de días secos (días sin lluvia) ha sido identificado en el norte del Brasil (Wang et al., 2018). En consecuencia, la variabilidad espacial y temporal de las lluvias en la CA son aspectos importantes del clima que requieren investigación.

Los estudios realizados han empleado predominantemente datos mensuales de lluvia. No obstante, hay incertidumbre acerca del comportamiento de la lluvia diaria y su estructura probabilística, pues el análisis de la lluvia mensual puede conducir a una interpretación limitada de su variabilidad espacial y temporal (Zubieta et al., 2017). Esto adquiere mayor importancia cuando se analizan eventos de lluvia extrema. De hecho, grandes porcentajes del total de lluvia (por ejemplo, en un año) pueden precipitarse concentradamente en muy pocos días, contribuyendo a incrementar el riesgo de erosión del suelo, deslizamientos o inundaciones (Coscarelli y Caloiero, 2012). El objetivo principal de este estudio es analizar la distribución espacial de la concentración de lluvia diaria y su asociación a la ocurrencia de eventos extremos en la CA.

ÁREA DE ESTUDIO

La CA es la cuenca más grande del planeta (6 000 000 km^2), extendiéndose desde los Andes tropicales hasta el océano Atlántico, cubriendo los países de Brasil, Perú, Bolivia, Colombia, Ecuador y Venezuela (Figura 1). La cantidad promedio de precipitación en la CA es 6 mm/día, alcanzando entre 8 y 13 mm/día en la región noroeste (Colombia, norte de la Amazonía ecuatoriana, noreste del Perú y noroeste del Brasil) (Espinoza et al., 2009). En contraste, la región andina en Perú, Bolivia y Ecuador presenta en promedio entre 2 y 3 mm/día (en este estudio la región de los Andes es considerada por encima de los 1500 m s.n.m., ver Figura 1). No obstante, se presentan algunas zonas de transición andino-amazónica (Quincemil-Perú y Chipiriri-Bolivia) que son reportadas como *hotspots* en donde la lluvia promedio puede presentar valores en el orden de 13 mm/día (Espinoza et al., 2015)

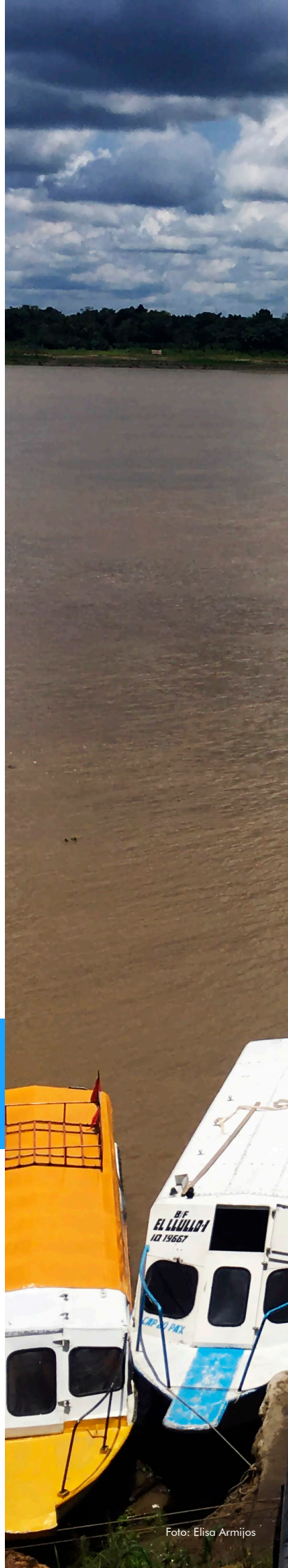

Foto: Elisa Armijos

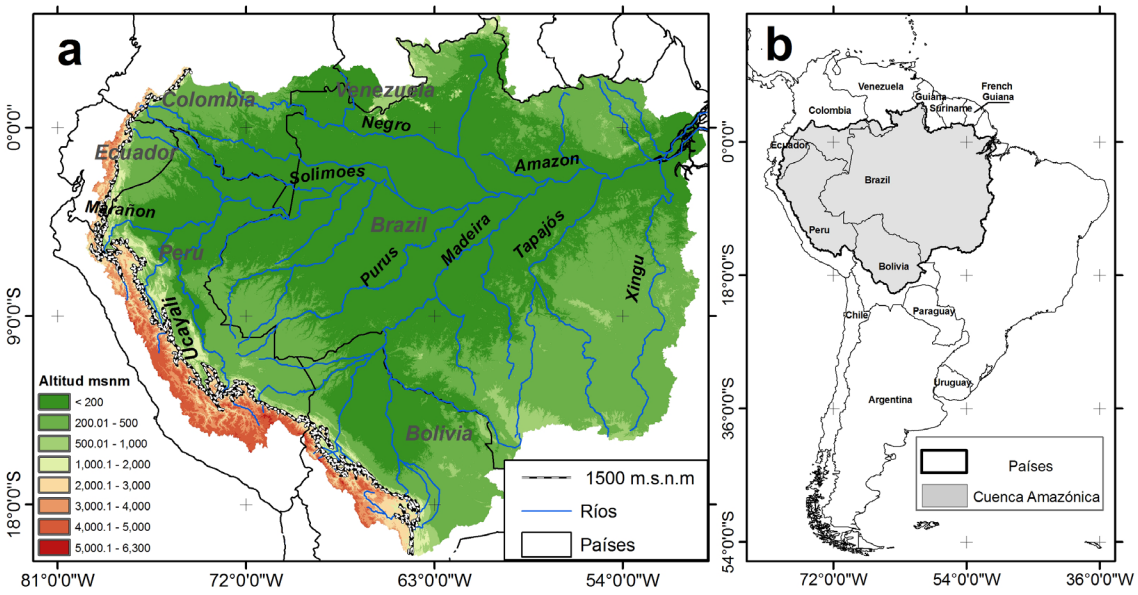

Figura 1. a) Modelo de elevación SRTM de la cuenca amazónica (en este estudio, la isohipsa de 1500 m s.n.m. es considerada divisoria entre los Andes y la Amazonía) y b) mapa de ubicación de la cuenca amazónica en Sudamérica.

DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizó el producto grillado de precipitación diaria HYBAM Observed Precipitation (HOP) (1° de resolución espacial, periodo 1980-2009) propuesto por Guimberteau et al. (2012) y disponible en www.ore-hybam.org. HOP brinda la mejor representación de la distribución temporal de la lluvia en la CA (Paccini et al., 2017; Mayta et al., 2018).

En este estudio, un día con lluvia es considerado cuando la precipitación excede 0.01 mm. Para analizar la concentración de la lluvia diaria, se ajusta la relación de la cantidad de lluvia y el número de días con lluvia a una distribución exponencial. Este ajuste se realiza debido a que en escala diaria hay mayor densidad de días con poca lluvia en comparación a grandes cantidades de precipitación que se presentan en pocos días (Martin-Vide, 2004). Para ejemplificar, una curva de concentración ajustada a la distribución referida, a partir de una serie de datos, es graficada en la Figura 2a. Empleando esta curva se estima un índice de concentración (IC), el cual es referido al área de separación entre la curva exponencial y un bisector que representa la equidistribución (como si todos los días lloviera la misma cantidad en un punto determinado). Para la estimación del área de separación (S) se utiliza una función integral como propuesta por Martin-Vide (2004). La línea de equidistribución es una condición ideal, pues, en casos prácticos, la lluvia diaria tiende a ser representada por una curva variable e identificada por el IC. Asimismo, en otro ejemplo, tres curvas de concentración estimadas a partir de tres series de tiempo de lluvia diaria (Trinidad-Aeropuerto-Bolivia, Cerro de Pasco-Perú, Manaus-Brasil) son evaluadas (Figura 2b). La estación de Manaus-Brasil identifica mayor concentración o irregularidad de lluvia diaria que Cerro de Pasco-Perú, asimismo Trinidad-Aeropuerto-Bolivia identifica mayor concentración o irregularidad de lluvia diaria que Manaus-Brasil (Figura 2b).

Nótese que, en el caso de Trinidad-Aeropuerto-Bolivia, el 10 % de los días más lluviosos representa el 42 % de la cantidad total de lluvia. El 90 % restante de días con lluvia aporta al 58 % del total de lluvia observada para dicha estación. En comparación, la estación de Manaus-Brasil muestra que el 38 % de la lluvia ocurre considerando solo el 10 % de días más

lluviosos (un 90 % de días con lluvia representa 62 % del total observado). El 30 % de la lluvia acumulada en la estación de Cerro de Pasco-Perú ocurre en el 10 % de los días más lluviosos (un 90 % de días con lluvia representa 70 % del total de lluvia). Finalmente, para estimar la distribución espacial del IC se consideró que cada grilla de HOP corresponde a una serie de precipitación diaria (Figura 3).

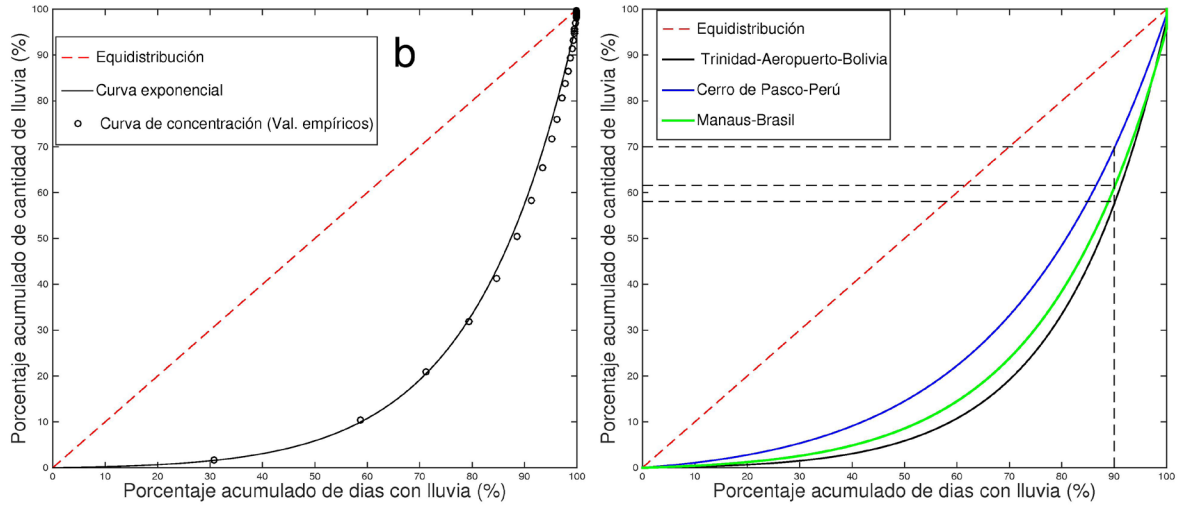

Figura 2. a) Definición del Índice de Concentración (IC) a través del área comprendida entre la línea de equidistribución y la curva exponencial de ajuste de valores empíricos. b) Comparación de curvas de concentración de las estaciones de Trinidad-Aeropuerto-Bolivia, Cerro de Pasco-Perú y Manaus-Brasil, a modo de ejemplificar la variabilidad e interpretación del IC.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

A efectos de comparación con la concentración de lluvia diaria a partir del IC, se presenta en la Figura 3a el cálculo de la lluvia promedio diaria (mm/día) usando HOP para el periodo 1980-2009.

La distribución del IC estacional refleja un patrón espacial similar al del IC anual. De hecho, el IC anual muestra una alta correlación con el IC del periodo seco junio-noviembre ($r = 0.88$, $p < 0.01$) y con el IC del periodo húmedo diciembre-mayo ($r = 0.84$, $p < 0.01$). La distribución espacial del IC anual es mostrada en la Figura 3b. Nuestros resultados indican que la distribución del IC sobre la CA puede ser dividida en cuatro regiones climáticas (Figura 3b).

La primera región está ubicada en el noroeste de la CA, registra los valores más bajos de IC (0.47-0.52), y coincide con las regiones de más alta lluvia promedio diaria (10-13 mm/día). Esta región, de régimen ecuatorial, presenta una distribución de la lluvia diaria que tiende a ser más uniforme durante el año y es caracterizada por una débil estacionalidad. Es decir, los valores más altos de lluvia diaria del promedio anual son consistentes con la mayor regularidad de lluvia diaria y caracterizados por un bajo valor del IC. Esto sugiere que los eventos de precipitación diaria, desarrollados en esta región, son predominantemente caracterizados por lluvias más uniformes y continuas. Asimismo, los valores muy bajos del IC también fueron encontrados sobre los Andes centrales del Perú. Estos bajos valores concuerdan con los resultados de Zubieta et al. (2017) quienes encontraron valores similares de IC (0.44-0.56) para el mismo análisis realizado en la cuenca del río Mantaro.

La segunda región observada y que presenta los máximos valores de IC están en la Amazonía boliviana y el estado de Roraima (Brasil) (Figura 3b). Ambas regiones con índices entre 0.6 y 0.71 indican que la mayoría de la lluvia cae en pocos días durante las lluvias extremas (Figura 3b). Los valores identificados con altos IC coinciden con las regiones que presentan grandes inundaciones en la CA (Ronchail et al., 2005; Ovando et al., 2015). Una tercera región está ubicada en el sur del Brasil, la cual está caracterizada por valores de IC entre 0.52 y 0.60 (Figura 3b). Por ejemplo, un IC =0.56 significa que el 25 % de los días más lluviosos contribuye aproximadamente el 64 % del total de cantidad de lluvia, condición que caracteriza principalmente regiones localizadas en las zonas centrales y sureste de la CA.

Finalmente, es importante considerar una cuarta región, que está asociada con las zonas de máxima precipitación denominadas *hotspot* (Espinoza et al., 2015). La Figura 3a ilustra que las regiones *hotspot*, localizadas en el sureste de Perú y suroeste de Bolivia, presentan una lluvia promedio de 13 mm/día. No obstante el IC promedio, ambas regiones presentan valores diferentes (0.5 en Perú y 0.65 en Bolivia), lo que sugiere una mayor irregularidad de lluvia en Bolivia.

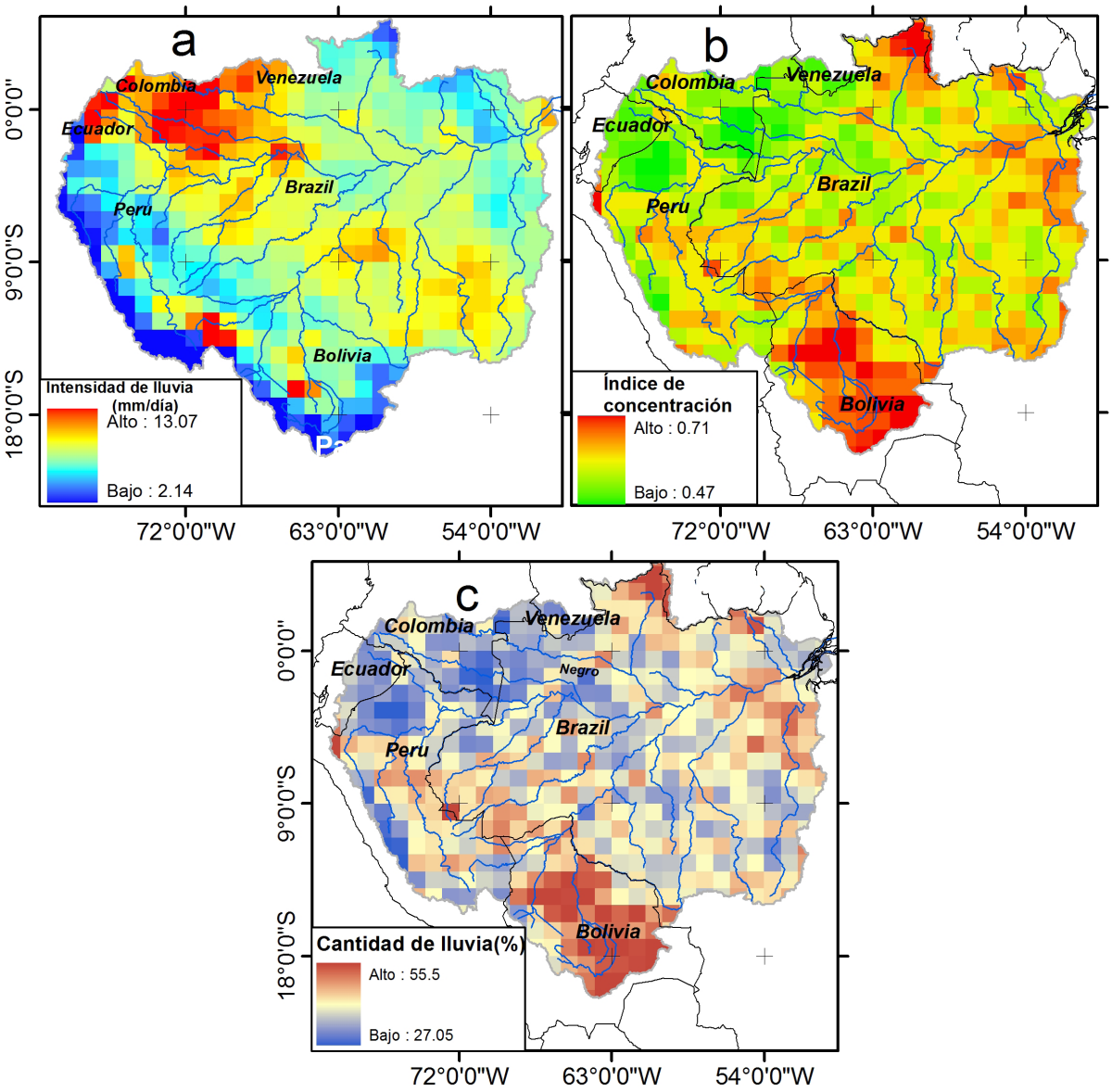

Figura 3. a) Distribución espacial de la precipitación promedio (mm/día). b) Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (IC). c) Contribución de cantidad de lluvia para eventos extremos (%) (días con lluvia mayor al percentil 90).

En la Figura 3c se presenta un mapa de la distribución espacial de la contribución de los eventos de lluvia extrema (día en que llueve por encima del percentil 90). Los resultados presentados aportan evidencias asociadas a la ocurrencia de inundaciones intempestivas y fuerte erosión del suelo sobre la CA, dado que un gran porcentaje de lluvia cae en pocos días. Eventos de precipitación extrema contribuyen entre 27 % y 55 % del total de lluvia (Figura 3c). El porcentaje de contribución de lluvia para eventos extremos presenta un patrón similar al del IC ($r = 0.96$, $p < 0.01$) (Figura 3b-c). Esto corrobora la mayor relevancia de las lluvias extremas en la Amazonía boliviana y el estado de Roraima (Brasil), en contraposición a la baja influencia de los eventos extremos en la región noroeste de la CA y en los Andes peruanos. Cabe mencionar que la concentración de lluvia a partir de eventos de lluvia extrema muestra un comportamiento relativamente inverso a la lluvia promedio diaria ($r = -0.46$, $p < 0.01$).

CONCLUSIONES

- En este estudio exploramos un índice de concentración (IC) de lluvia diaria empleando datos grillados para toda la cuenca amazónica.
- Los resultados proporcionan nueva información sobre la distribución espacial de la concentración de la lluvia. Los IC en la parte sur-central de la CA (Amazonía boliviana) y norte del Brasil (región de Roraima) son predominantemente altos (IC>0.60), lo que indica que una mayor contribución (~55 %) de lluvia se presenta durante eventos de precipitación extrema.
- Esto explica el por qué algunas regiones de la cuenca amazónica son frecuentemente afectadas por inundaciones.
- En contraste, los valores más bajos son encontrados sobre la parte noroeste de la cuenca (noreste del Perú) y los Andes (IC < 0.52), lo cual indica que la precipitación diaria es más regular, es decir, tiende a ser más estacionalmente distribuida.
- A pesar de esta regularidad y la contribución de lluvia (20 %) durante eventos de precipitación extrema en los Andes, esta baja contribución puede ser considerada un detonante para incrementar la probabilidad de ocurrencia de erosión de suelos o deslizamientos, debido a la interrelación con factores como la geología, morfología y vegetación andina.

REFERENCIAS

Coscarelli, R. and Caloiero, T. (2012). Analysis of daily and monthly rainfall concentration in southern Italy (Calabria region). *Journal of Hydrology, 416–417,* 145–156. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.047.

Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guyot, J.L., Cocheneau, G., Filizola, N., Lavado, W., de Oliveira, E., Pombosa, R. and Vauchel, P. (2009). Spatiotemporal rainfall variability in the Amazon Basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). *International Journal of Climatology, 29,*1574–1594. https://doi.org/10.1002/joc.1791.

Espinoza, J.C., Chavez, S., Ronchail, J., Junquas, C., Takahashi, K. and Lavado, W. (2015). Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation. *Water Resources Research, 51,* 3456–3475. https://doi.org/10.1002/2014WR016273.

Espinoza, J.C., Ronchail, J., Marengo, J.A. and Segura, H. (2018). Contrasting north–south changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics 52,* 5413–5430 (2019). https://doi.org/10.1007/s00382-018-4462-2

Guimberteau, M., Drapeau, G., Ronchail, J., Sultan, B., Polcher, J., Martinez, J. M., Prigent, C., Guyot, J.L., Cochonneau, G., Espinoza, J.C., Filizola, N., Fraizy, P., Lavado, W., De Oliveira, E., Pombosa, R., Noriega, L. and Vauchel, P. (2012). Discharge simulation in the sub-basins of the Amazon using ORCHIDEE forced by new datasets. *Hydrology and Earth System Sciences, 16,* 911–935. https://doi.org/10.5194/hess-16-911-2012.

Marengo, J.A. and Espinoza, J.C. (2016). Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology, 36,* 1033–1050. https://doi.org/10.1002/joc.4420.

Martin-Vide, J. (2004). Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology, 24,* 959–971. https://doi.org/10.1002/joc.1030.

Mayta, V.C., Ambrizzi, T., Espinoza, J.C. and Silva Dias, P.L. (2018). The role of the Madden–Julian oscillation on the Amazon Basin intraseasonal rainfall variability. *International Journal of Climatology, 39,* 343–360. https://doi.org/10.1002/joc.5810.

Ovando, A., Tomasella, J., Rodriguez, D.A., Martinez, J.M., Siqueira-Junior, J.L., Pinto, G.L.N., Passy, P., Vauchel, P., Noriega, L. and von Randow, C. (2015). Extreme flood events in the Bolivian Amazon wetlands. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 5,* 293–308. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.004.

Paccini, L., Espinoza, J.C., Ronchail, J. and Segura, H. (2017). Intraseasonal rainfall variability in the Amazon basin related to large-scale circulation patterns: a focus on western Amazon–Andes transition region. *International Journal of Climatology, 38,* 2386–2399. https://doi.org/10.1002/joc.5341.

Ronchail, J., Bourrel, L., Cochonneau, G., Vauchel, P., Phillips, L., Castro, A., Guyot, J.L. and de Oliveira, E. (2005). Inundations in the Mamoré basin (south-western Amazon–Bolivia) and sea-surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *Journal of Hydrology, 302,* 223–238. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.07.005.

Sorribas, M.V., Paiva, R., Melack, J.M., Bravo, J.M., Jones, C., Carvalho, L., Beighley, E., Forsberg, B. and Costa, M.H. (2016). Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. *Climate Change, 136,* 1–16. https://doi.org/10.1007/s10584-016-1640-2.

Wang, X., Li, X., Zhu, J. and Tanajura, C. (2018) The strengthening of Amazonian precipitation during the wet season driven by tropical sea surface temperature forcing. *Environmental Research Letters, 13,* 9. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aadbb9

Zubieta, R., Saavedra, M., Silva, Y. and Giraldez, L. (2017). Spatial analysis and temporal trends of daily precipitation concentration in the Mantaro River basin-central Andes of Peru. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 31,* 1305–1318. https://doi.org/10.1007/s00477-016-1235-5