

# EL NIÑO Y SU INFLUENCIA SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN EL ECUADOR

Mercy Ilbay-Yupa<sup>1</sup>, Waldo Lavado-Casimiro<sup>2,3</sup>, Pedro Rau<sup>4</sup>, Ricardo Zubieta<sup>2,5</sup> y Fiorela Castellón<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

<sup>3</sup> Servicio Nacional Meteorología e Hidrología, Lima, Perú

<sup>4</sup> Universidad de Ingeniería y Tecnología, Lima, Perú

<sup>5</sup> Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú



Mercy Ilbay-Yupa es investigadora y docente de la Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador). Docente internacional en la Universidad Manuela Beltrán (Colombia) y docente invitada en la maestría de Recursos Hídricos de la Universidad Politécnica Salesiana (Ecuador). Sus investigaciones se centran en ciencias ambientales, eventos hidroclimáticos extremos e impactos del cambio climático en los recursos hídricos.

**Palabras clave:** Regionalización, precipitación, Ecuador, ENOS

Citar como Ilbay-Yupa, M., Lavado-Casimiro, W., Rau, P., Zubieta, R. & Castellón F. (2025). El Niño y su influencia sobre la distribución de las precipitaciones en el Ecuador. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 12 n.º 02, págs. 4-9.

## ¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?\*

La toma de decisiones en la gestión hídrica puede ser implementada a partir de regiones en Ecuador, basándose en las 22 zonas homogéneas de precipitación identificadas. Las regiones costeras y del suroeste andino requieren sistemas de alerta temprana específicos para El Niño, al estar fuertemente vinculadas con este fenómeno. En contraste, las regiones andinas centrales y amazónicas necesitan estrategias diferentes, ya que su relación con ENOS es menos concluyente. Es fundamental desarrollar planes de mitigación diferenciados que consideren la posición geográfica del Ecuador como zona de transición entre los efectos del ENOS en Perú y Colombia.

## Resumen

Se identificaron regiones homogéneas de precipitación en el Ecuador y su relación con el fenómeno de El Niño, utilizando registros de 215 estaciones pluviométricas a escala mensual para el periodo 1968-2014. Los datos se sometieron a un análisis de K-means y, posteriormente, fueron validados con el método del vector regional (MVR).

Los resultados permitieron identificar 22 regiones: siete regiones relacionadas con procesos climáticos regionales en la costa del Pacífico (precipitación unimodal); dos regiones con precipitaciones orográficas significativas en las estribaciones occidentales de los Andes; ocho regiones ubicadas en zona interandina, caracterizadas por una reducción de la precipitación de norte a sur, de variabilidad local y régimen de precipitación

bimodal. En la zona amazónica, se identificaron cinco regiones: tres ubicadas en los flancos externos de la cordillera oriental, una zona subandina y otra en la llanura amazónica, con precipitaciones regulares durante todo el año, influenciadas por la cuenca del Amazonas. A pesar de que la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical tiene una fuerte relación con la precipitación de las regiones de la costa del Ecuador, la influencia de la TSM para todas las regiones es diferente debido a que el Ecuador se encuentra influenciado por los modos de variabilidad de la precipitación de Colombia y Perú.

## 1. Introducción

Las precipitaciones en el Ecuador continental están influenciadas por factores geográficos, atmosféricos y oceánicos (Poveda et al., 2006). La cordillera de los Andes desempeña un rol fundamental en la formación, desplazamiento y aislamiento de las masas de aire, lo que provoca diferentes regímenes climáticos en el Ecuador. La posición de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) determina la entrada de masas de aire con diferentes condiciones de humedad y temperatura (Gerstengarbe & Werner, 2008). La costa del Pacífico y la cordillera occidental de los Andes se ven afectadas por la corriente de Humboldt (Sarmiento 1986). Además de los procesos mencionados anteriormente, hay fenómenos como El Niño-Oscilación Sur (ENOS) que influyen en la variabilidad interanual de las precipitaciones (Trenberth, 2017). Comprender y cuantificar la variabilidad espacial y temporal de la precipitación es fundamental para el desarrollo agropecuario y los procesos ambientales e hidrológicos (Hunink et al., 2014).

La regionalización de la precipitación es el primer paso para el desarrollo de proyectos de gestión del riesgo y modelaciones hidrológicas que mejoren la comprensión de la disponibilidad del agua en un país. Diversos estudios a nivel internacional han utilizado el análisis de clúster para regionalizar zonas con base en la temperatura, precipitación y caudales (Fernández & Murillo, 2010; Meddi et al., 2013; Parracho et al., 2016; Pathberiya et al., 2016). En el Ecuador, a través de un análisis estadístico, se determinaron seis zonas homogéneas que responden a los principales regímenes meteorológicos y oceanográficos (Pourrut, 1995). Rossel et al. (1998) regionalizaron la costa del Pacífico de Ecuador

en trece zonas; los valles interandinos, en cuatro zonas, y la ladera amazónica en una zona, para el periodo 1964 a 1993. Asimismo, Cedeño & Cornejo-Grunauer (2009), mediante análisis de componentes principales, validaron la clasificación anterior para el periodo 1950-2007. Tobar & Wyseure (2018) agruparon, a través del método de Ward, cuatro patrones de precipitación: la costa, con estacionalidad más fuerte; la Amazonía; la sierra y la sierra orográfica de la costa, con estacionalidad moderada. Ballari et al. (2018) regionalizaron cinco zonas de relevancia estacional, producto de datos de precipitación satelital, mediante el análisis de datos funcionales espaciales (ADFE). Ilbay et al. (2019) regionalizaron la agresividad estacional de la precipitación y determinaron zonas homogéneas en la cuenca del río Guayas, principal cuenca del Ecuador. Diversos estudios evidencian la influencia del ENOS en algunas regiones del Ecuador (Tobar & Wyseure, 2018; Rossel et al., 1998); no obstante, la influencia de El Niño sobre la distribución de las precipitaciones en el Ecuador no está totalmente investigada. El objetivo de este estudio es determinar las zonas homogéneas de precipitación y su vínculo con El Niño.

## 2. Datos y metodología

### 2.1 Datos

Se trabajó con datos de precipitación mensual de 215 estaciones meteorológicas provenientes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para el periodo 1968 a 2014. Asimismo, se consideraron datos mensuales de temperatura superficial del mar (TSM) a escala global del conjunto de datos Hadley Center Global Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST), a una cuadrícula de 1 grado de longitud por 1 grado de latitud.

### 2.2 Regionalización de las precipitaciones y su relación con los ENOS

La regionalización de la precipitación se realizó mediante el algoritmo particional k-means (Fernández & Murillo, 2010), considerando variables de precipitación mensual y anual, así como ubicación geográfica (latitud, longitud y altitud); posteriormente, se validó con el MVR (Vauchel, 2005). Para investigar

la relación entre la precipitación y el ENOS, se utilizó la descomposición de valores singulares (DVS), la cual consiste en derivar los vectores propios y los valores propios de la matriz de covarianza —entre las anomalías de la precipitación media de diciembre, enero, febrero, marzo y abril (DEFMA)— sobre el territorio ecuatoriano, y las anomalías de TSM media de diciembre-enero-febrero (DEF) sobre las cuencas oceánicas del Pacífico y el Atlántico que maximizan la fracción de la covarianza cuadrada acumulativa (Yang & Lau, 2004).

### 3. Resultados

#### 3.1 Regionalización de las precipitaciones en el Ecuador

En la costa del Pacífico ecuatoriano se identificaron siete regiones homogéneas (R) (Figura 1). Las R1, R2, R3, R5 y R6 presentaron una marcada estacionalidad de la precipitación, con una distinción clara del

periodo de avenidas (septiembre-mayo) y estiaje. La distribución de las precipitaciones en estas zonas se debe al movimiento de norte a sur de la ZCIT (Hastenrath, 2015). Sin embargo, la R7 se encuentra al norte y se caracteriza por una distribución constante de la precipitación durante todo el año.

Alo largo de la cordillera de los Andes se identificaron 10 regiones (Figura 1). La R8 se desarrolla en las estribaciones noroccidentales de la cordillera; por el contrario, la R9 se ubica en las estribaciones suroccidentales. La R10 se encuentra en la depresión interandina, al sur del país. Asimismo, al sur encontramos la R11, pero con menor precipitación. La distribución de la precipitación en estas cuatro regiones es unimodal; la estación lluviosa ocurre durante el verano austral. La R12 se ubica en las zonas de mayor altura de la cordillera de los Andes. La R13 se ubica en un valle andino al sur del país, enmarcada solo por la cuenca amazónica. Igualmente, la R14, R15, R16 y R17 son valles interandinos, pero rodeados por los ramales oriental y occidental de la cordillera de los Andes, en el centro y norte del Ecuador. La

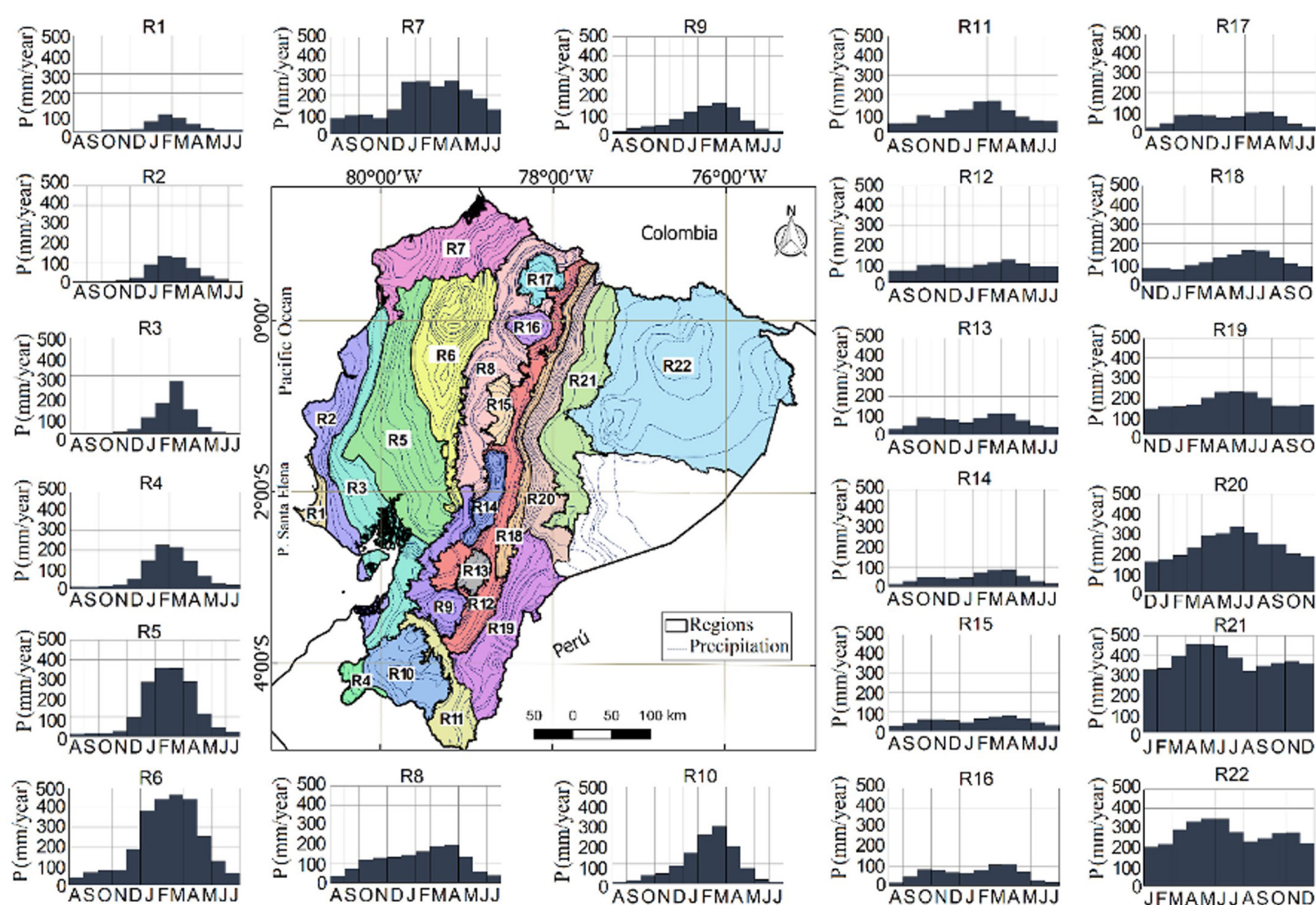


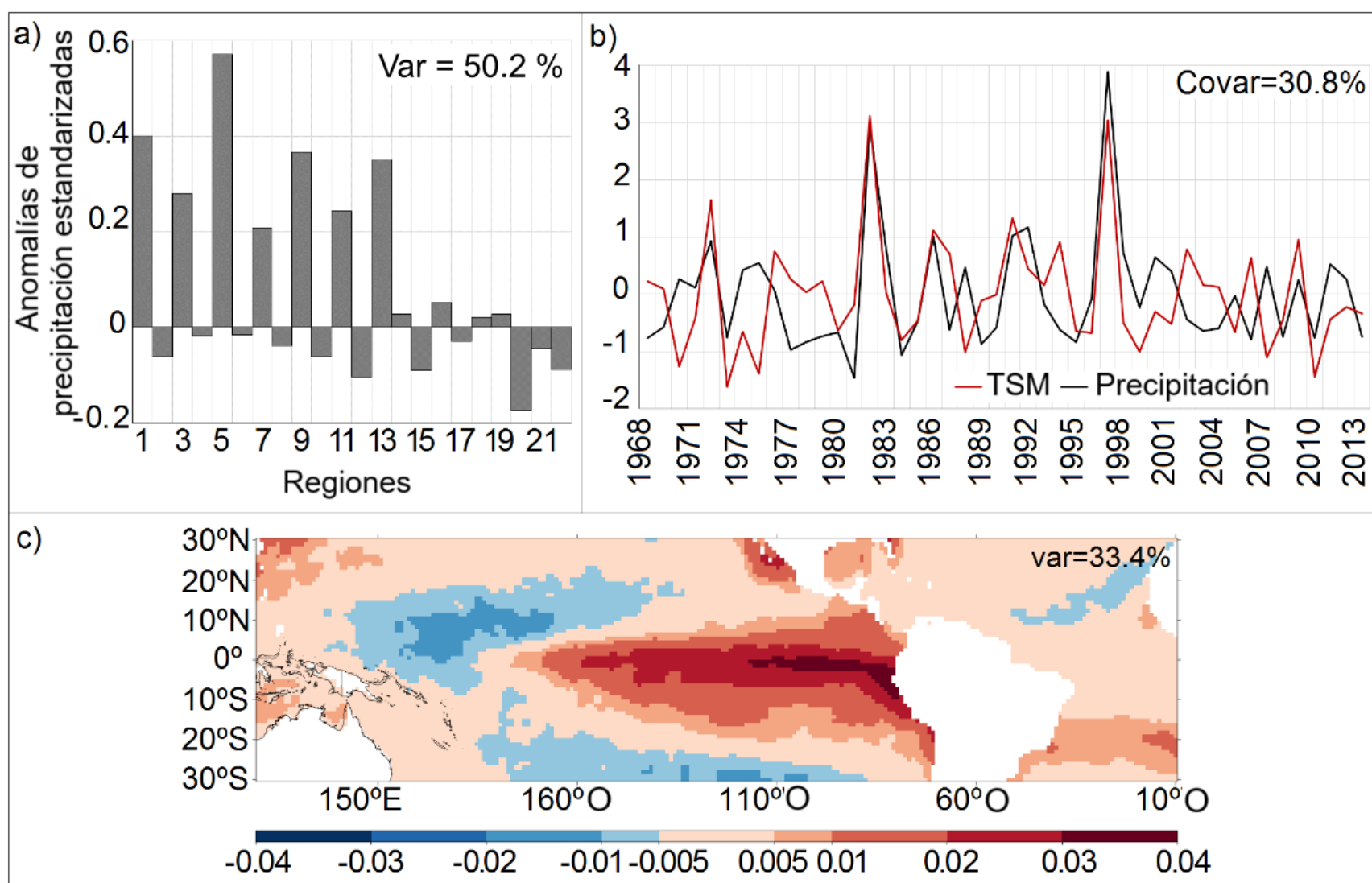
Figura 1. Regímenes de precipitación mensual para el periodo 1968-2014 para las 22 regiones del Ecuador (Ilbay et al., 2021).

precipitación en estas seis regiones es bimodal debido a la influencia alterna de masas de aire del Pacífico entre enero-mayo (Pineda et al., 2013) y del Amazonas de octubre a noviembre (Proaño, 2017). En la Amazonía se identificaron cinco regiones con una distribución de precipitación abundante durante todo el año (Figura 1). La R18, R19 y R20 se ubican a lo largo de los flancos externos de la cordillera de los Andes. El régimen de precipitación es predominantemente regular; sin embargo, la estación húmeda se concentra entre los meses de abril y julio (unimodal). La R21 presenta una mayor precipitación y un régimen bimodal con una temporada lluviosa bien marcada de abril a junio. La R22 se desarrolla en la llanura amazónica (200-500 m s. n. m.), y su régimen de precipitaciones es similar a la R21. Sin embargo, no se logró regionalizar la llanura sur amazónica del Ecuador debido a la escasez de estaciones (Figura 1).

### 3.2 Relación entre precipitación y ENOS

Se identificó la relación de dos modos de variabilidad principales (Figuras 2a, b, c). El modo 1 describe

anomalías negativas (coloración azul) en el Pacífico tropical oeste, con un incremento de anomalías positivas (coloración rojo) en el Pacífico tropical central y un mayor incremento en el Pacífico este (Figura 2c). Este modo explica el 33.4 % de la varianza total de la TSM (Figura 2c) y el 50.2 % de la varianza total en la precipitación en las 22 regiones de Ecuador, de diciembre a abril (Figura 2a). Se tiene un porcentaje de covarianza del 30.8 % y una correlación de 0.57 entre las series de tiempo de DVS asociadas con anomalías de la TSM (color rojo) y precipitación (color negro) (Figura 2b). Esto implica que las regiones de la costa del Pacífico (R1, R3, R5 y R7) y suroeste de la cordillera de los Andes (R9, R11 y R13) están vinculadas a un modo típico del ENOS. Sin embargo, en las regiones ubicadas en la Amazonía (R18, R19, R20, R21 y R22), cordillera oriental (R12, R14 y R15) y occidental (R8, R10, R16 y R17), su efecto no es claro. (Figura 2a). El modo 1 de precipitación en el Ecuador se correlaciona con la TSM en el Pacífico tropical, lo cual sugiere que el ENOS es uno de los principales forzantes en las precipitaciones de diciembre a abril en la mayoría de las regiones costeras del Ecuador.



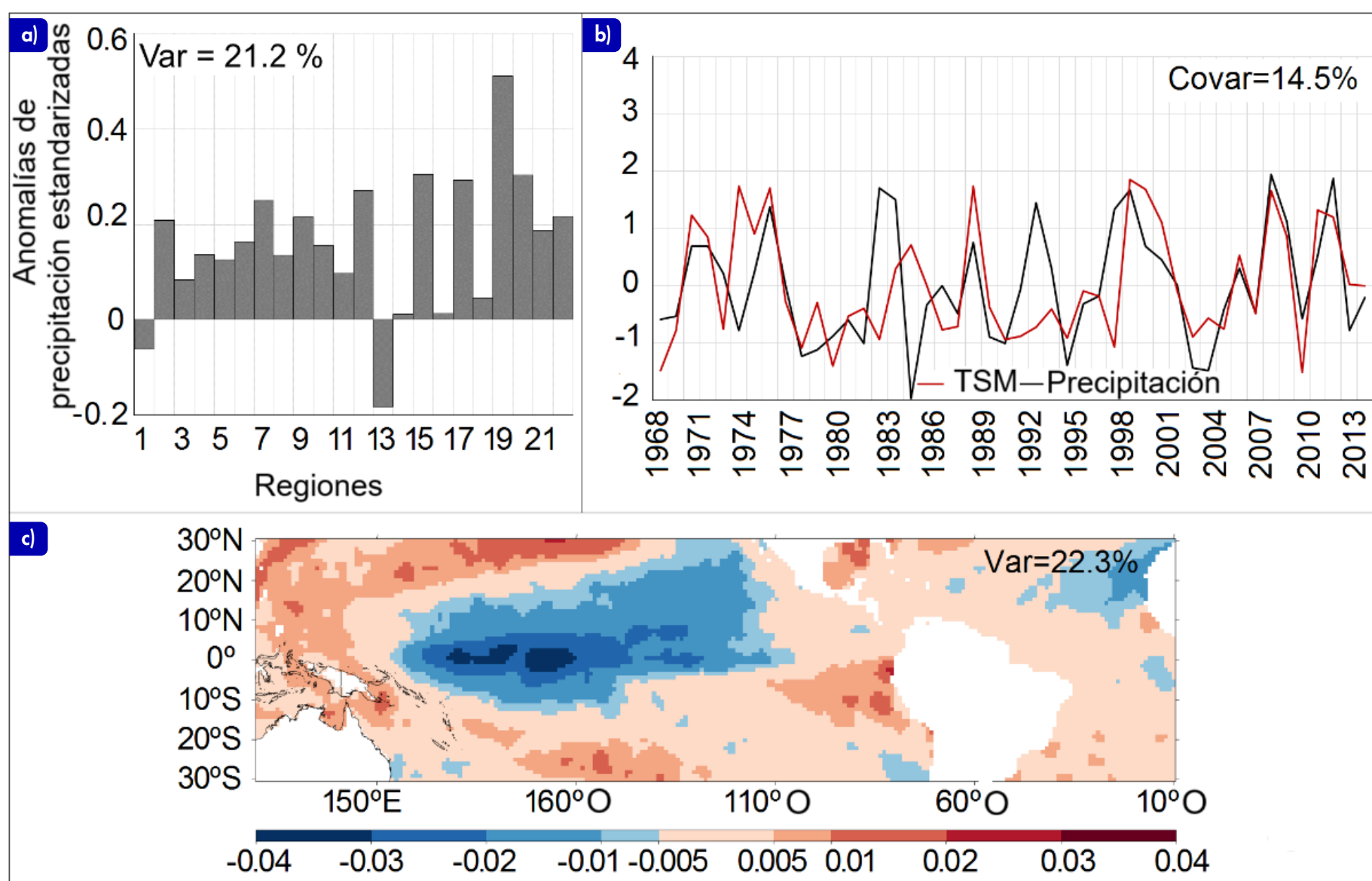
**Figura 2.** Modo 1 de la DVS dominante: a) Patrón del modo 1 para las anomalías estandarizadas de la precipitación. b) Series de tiempo de la DVS asociadas a la TSM y la precipitación. c) Distribución espacial del modo 2 para la TSM.

El modo 2 es menos concluyente y explica solo el 21.2 % de la varianza total de la precipitación para las 22 regiones, de diciembre a abril (Figura 3a), y el 22.3% de la varianza total de la TSM (Figura 3c), con un valor de correlación de 0.49. En general, se obtiene un porcentaje de covarianza del 14.5 % (Figura 3b). Las anomalías positivas en la zona El Niño 1+2 y las negativas en El Niño 4 podrían tener un impacto asociado con un aumento de las precipitaciones para la costa norte (R7) y los valles interandinos del norte (R15 y R17) del país, así como la zona más alta (R12) y estribaciones de los Andes orientales (R19 y R20). Sin embargo, hay un bajo impacto en las regiones de la costa del Pacífico, estribaciones del noroeste (R8) y sur (R9, R10, R11) de los Andes, laderas andinas (R21) y la llanura amazónica (R22). Se puede inferir que, debido a su ubicación geográfica, el Ecuador formaría parte de una zona de transición en cuanto al impacto del ENOS, situándose entre los efectos de este fenómeno en la región subtropical de la costa norte peruana y en la región tropical del sur de Colombia.

## 4. Conclusiones

Se identificaron 22 regiones de precipitación homogénea en el Ecuador. De ellas, siete se ubican en la costa del Pacífico y están relacionadas con procesos climáticos regionales. Dos regiones de los Andes occidentales tienen precipitaciones orográficas significativas. En ocho regiones, a lo largo de los Andes, el régimen de precipitación es principalmente bimodal. Asimismo, hay cinco regiones en la Amazonía: tres en los flancos exteriores de la cordillera oriental, una zona subandina y otra en la llanura amazónica, con lluvias regulares durante todo el año.

Los eventos ENOS y las temporadas de precipitación extrema coinciden solo para las regiones cercanas a la costa del Pacífico y el suroeste de los Andes. El efecto del ENOS sobre la precipitación en los Andes centrales y la Amazonía de Ecuador es mucho menos concluyente, es decir, la relación entre la precipitación y el ENOS no puede explicar completamente las características



**Figura 3.** Modo 2 de la DVS dominante: a) Patrón del modo 2 para las anomalías estandarizadas de la precipitación. b) Series de tiempo de la DVS asociadas a la TSM y la precipitación. c) Distribución espacial del modo 2 para la TSM.

que resultan entre la precipitación en las regiones de Ecuador y las anomalías de TSM en el océano Pacífico tropical.

## Referencias

- Ballari, D., Giraldo, R., Campozano, L., Samaniego, E. (2018). Spatial functional data analysis for regionalizing precipitation seasonality and intensity in a sparsely monitored region: unveiling the spatiotemporal dependencies of precipitation in Ecuador. *International Journal of Climatology*, 38:3337–3354. <https://doi.org/10.1002/joc.5504>
- Cedeño, J., & Cornejo-Grunauer, M. (2009). *Regionalización de la precipitación en el Ecuador usando EOFs*. I Congreso de Oceanografía Física, Meteorología y Clima Concepción-Chile.
- Fernández-Jiménez, F., & Murillo-Fernández, A. (2009). Clasificación automática simbólica por medio de algoritmos genéticos. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.15517/rmta.v16i2.307>
- Gerstengarbe F & Werner P (2008). Climate development in the last century – global and regional. *International Journal of Medical Microbiology* 298:5–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2008.01.00>
- Hastenrath, S. (2015). Tropical meteorology and climate | Tropical Climates. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (pp. 170- 176). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00416-3>
- Ilbay-Yupa, M., Zubieta, R and Lavado-Casimiro W (2019). Regionalization of precipitation, its aggressiveness and concentration in the Guayas River basin, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.06>
- Ilbay-Yupa, M., Lavado-Casimiro, W., Rau, P., Zubieta, R., & Castellón, F. (2021). Updating regionalization of precipitation in Ecuador. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(3), 1513–1528. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03476-x>
- Meddi, M., Meddi, H., Toumi, S., Mehaiguen, M. (2013). Regionalization of rainfall in north-western Algeria. *GeogrTech* 1:56–69. [https://technicalgeography.org/pdf/1\\_2013/07\\_1\\_2013.pdf](https://technicalgeography.org/pdf/1_2013/07_1_2013.pdf)
- Parracho, A., Melo-Gonçalves, P., Rocha, A. (2016). Regionalisation of precipitation for the Iberian Peninsula and climate change. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 94:146–154. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.07.004>
- Pathberiya, H., Liyanage, L., Tilakaratne, C., Lokupitiya, R. (2016). *A comparison of clustering algorithms in categorizing economic events based on the behavior of exchange rates*. 4th Annual International Conference on Operations Research and Statistics [https://doi.org/10.5176/2251-1938\\_OR16.7](https://doi.org/10.5176/2251-1938_OR16.7)
- Pineda, L., Ntegeka, V., Willems, P. (2013). Rainfall variability related to sea surface temperature anomalies in a Pacific–Andean basin into Ecuador and Peru. *Advances in Geosciences* 33:53–62. <https://doi.org/10.5194/adgeo-33-53-2013>
- Pourrut, P. (1995). *El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía*. Colegio de Geógrafos del Ecuador: Corporación Editora Nacional, Quito.
- Proaño, M., (2017). Variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENSO. *CienciaAmérica*, 6(2): 42–47 <https://cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/82>
- Poveda, G., Waylen, P., Pulwarty, R. (2006). Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 234:3–27. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.10.031>
- Sarmiento, J. (1986). On the north and tropical Atlantic heat balance. *Journal of Geophysical Research* 91:11677. <https://doi.org/10.1029/JC091iC10p11677>
- Rossel, F., Mejía, R., Ontaneda, G., Pombosa, R., Roura, J., Goulven, P., Calvez, R. (1998). Régionalisation de l'influence du El Niño sur les précipitations de l'Equateur. *Bull Inst fr études andines* (3), 643-654. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/carton03/010021326.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/carton03/010021326.pdf)
- Trenberth, K.E. (2019). El Niño Southern Oscillation (ENSO). *Encyclopedia of Ocean Sciences* (6) 420-432 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.04082-3>
- Hunink, J., Immerzeel, W., Droogers, P. (2014). A High-resolution Precipitation 2-step mapping Procedure (HiP2P): development and application to a tropical mountainous area. *Remote Sensing of Environment* 140:179–188. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.036>
- Tobar, V., & Wyseur, G. (2018). Seasonal rainfall patterns classification, relationship to ENSO and rainfall trends in Ecuador: seasonal rainfall patterns, relationship to Enso and rainfall trends. *International Journal of Climatology* 38: 1808–1819. <https://doi.org/10.1002/joc.5297>
- Vauchel, P., (2005). *Hydraccess: Logiciel de gestion et traitement de données hydro météorologiques*, version 2.1.4.
- Yang, F., & Lau, K.M. (2004). Trend and variability of China precipitation in spring and summer: Linkage to sea-surface temperatures. *International Journal of Climatology*, 24(13), 1625–1644. <https://doi.org/10.1002/joc.1094>