

SIMULACIONES DE LA PRECIPITACIÓN DE VERANO POR MODELOS CLIMÁTICOS REGIONALES DE CORDEX EN LA ZONA DE TRANSICIÓN ANDES-AMAZONÍA

Ricardo A. Gutiérrez², Clémentine Junquas³, Elisa Armijos^{1,2}, Anna A. Sörensson^{4,5,6}, Jhan-Carlo Espinoza³

¹ Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

² Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera, Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

³ Université Grenoble Alpes, IRD, CNRS, Grenoble INP, IGE, 38000 Grenoble, France

⁴ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

⁵ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), Universidad de Buenos Aires-CONICET, Buenos Aires, Argentina

⁶ Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI)

Palabras clave: precipitaciones de verano, modelos climáticos regionales, CORDEX

Citar como Gutiérrez, R., Junquas, C., Armijos, E. & Sörensson, A. (2023). Simulaciones de la precipitación de verano por modelos climáticos regionales de CORDEX en la zona de transición Andes-Amazonía. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 10 n.º 02, págs. 11-15.

Resumen

El presente avance de investigación evalúa el realismo de la climatología histórica (1981-2005) de la precipitación de verano en la zona de transición Andes-Amazonía a partir de las simulaciones del experimento regional coordinado de reducción de escala (CORDEX, por sus siglas en inglés) para Sudamérica. Los resultados preliminares muestran que no habría una relación aparente entre la *performance* del modelo y la resolución espacial en cuanto a la reproducción de las climatologías de precipitación, cuando se esperarían que los modelos tengan un mejor rendimiento, es decir, reproduzcan mejor las precipitaciones al tener una resolución espacial más alta o más fina. En conclusión, será necesaria la aplicación de modelos regionales de resolución espacial más fina y realizar experimentos de sensibilidad con diferentes parametrizaciones físicas para lograr mejorar el realismo de los patrones espaciales de la precipitación orográfica sobre la región de estudio.

1. Introducción

Las presiones ejercidas por los cambios hidroclimáticos actuales y futuros, así como los efectos de la variabilidad inducida por El Niño y otros, constituyen una problemática clave para los frágiles sistemas socioeconómicos y ecológicos sobre la zona de transición Andes-Amazonía (Castellanos et al., 2022). Ello evidencia la necesidad de información de proyecciones climáticas para el diseño de estrategias de adaptación y mitigación. En dicha región, el modelamiento climático constituye una tarea desafiante dada la presencia de la orografía andina y su influencia en la circulación de gran escala, lo que produce una fuerte variabilidad espacio-temporal de regímenes pluviométricos (Junquas et al., 2018; Segura et al., 2019). Los modelos climáticos globales (GCM, por sus siglas en inglés) simulan el comportamiento de las componentes del sistema Tierra como la atmósfera, los océanos, etc. sobre todo el planeta y constituyen las herramientas

principales para el estudio del cambio climático futuro. Sin embargo, la resolución espacial de dichos modelos no es adecuada para aplicaciones en regiones montañosas. Así, los modelos climáticos regionales (RCM) se erigen como una herramienta útil para la reducción de escala de los GCM. Los esfuerzos regionales para la reducción de escala de los GCM, utilizando RCM, está dado por la iniciativa Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX, Giorgi y Gutowski, 2015). La finalidad de los RCM es proveer información climática más detallada a escalas locales dadas sus potencialidades para resolver circulaciones atmosféricas en terreno complejo a escalas más finas (por ejemplo, Torma et al., 2015). En este sentido, una condición mínima para la consideración de un modelo como adecuado para la evaluación de un impacto determinado es la reproducción de las variables climáticas relevantes para dicho impacto en el clima presente. En el presente avance de investigación se evalúa la reproducción de la climatología histórica (1981-2005) de la precipitación de verano en la zona de transición Andes-Amazonía en las simulaciones de CORDEX-Sudamérica.

2. Desarrollo

El área de estudio (Figura 1) comprende la vertiente oriental de los Andes peruanos, uno de los sitios más lluviosos de la cuenca amazónica (conocidos como *hotspots* de precipitación, Espinoza et al., 2015). El monitoreo de la precipitación sobre esta región está limitado por la escasez de registros a largo plazo debido a su complicada orografía, lo que conlleva a incertidumbres observacionales (Cazorla et al., 2022).

Como referencia, y para lidiar con dichas incertidumbres observacionales, se emplearon 4 productos grillados de precipitación, los cuales se basan, principalmente, en combinaciones de registros pluviométricos in situ y de estimaciones satelitales (Tabla 1). Para el presente estudio se emplearon las salidas de 29 simulaciones climáticas de precipitación del experimento "historical" de CORDEX-Sudamérica. Estas fueron obtenidas del "Earth System Grid Federation" (<https://esgf-data.dkrz.de/projects/esgf-dkrz/>). Asimismo, también se obtuvieron los campos de topografía de los RCM. La resolución

espacial, es decir, el espaciamiento de los puntos de grilla de estas simulaciones está comprendida entre los 0.2° y 0.5° (Tabla 2). El periodo de evaluación comprende los meses de verano (noviembre-febrero, NDJF, por sus siglas en inglés) entre los años 1981 y 2005.

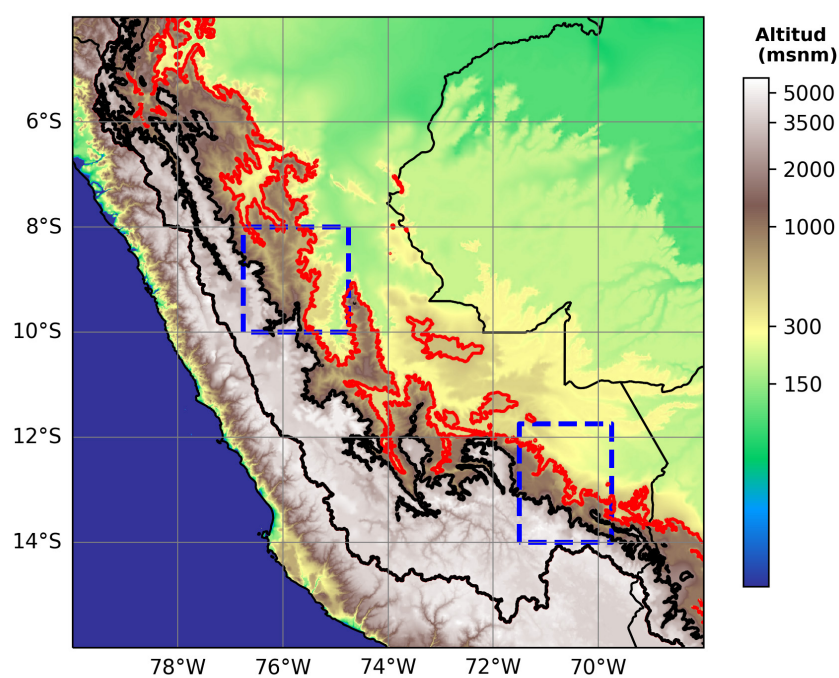


Figura 1. Mapa de la zona de transición Andes-Amazonía. El mapa de colores muestra la topografía del modelo digital de elevación GTOPO30. La línea roja y negra marcan las altitudes de 500 y 2000 m s. n. m., respectivamente, mientras que la línea negra más externa marca el límite de la cuenca amazónica. Las líneas punteadas azules muestran la ubicación de los *hotspots* de Tingo María (al norte) y de Quincemil (al sur).

Tabla 1. Detalles de los conjuntos de datos grillados de precipitación usados en este estudio

Conjunto de datos grillados	Resolución espacial	Referencia
CHIRPS	0.05°x0.05°	Funk et al. (2015)
RAIN4PE	0.1°x0.1°	Fernández-Palomino et al. (2022)
GPCC	0.25°x0.25°	Becker et al. (2013)
PISCO	0.05°x0.05°	Aybar et al. (2020)

3. Resultados preliminares

Generalmente, la precipitación de verano vista por los conjuntos de datos grillados muestra una región de máxima precipitación entre los 500 y

2000 m s. n. m. en la vertiente oriental de los Andes (primera fila de la Figura 1). Todos los conjuntos de datos grillados identifican dos regiones principales de máximas precipitaciones: el *hotspot* de Tingo María, a aproximadamente 9-10° S, y el *hotspot* de Quincemil, a aproximadamente 13° S, con tasas de lluvia por encima de 10 mm/día. Sin embargo, la extensión, intensidad y altitud de los *hotspots* puede variar entre ellos. RAIN4PE, CHIRPS y PISCO muestran una tercera máxima alrededor de los 12° S. Por otro lado, por encima de los 2000 m s. n. m., todos los conjuntos de datos grillados generalmente acuerdan tasas de lluvia por debajo de los 6 mm/día. PISCO muestra tasas de aproximadamente 6-8 mm/día en el valle de Apurímac (entre 13 y 15° S).

Tabla 2. Detalles de las simulaciones de CORDEX utilizadas en este estudio con sus respectivas resoluciones espaciales. Las columnas indican el RCM empleado, mientras que las filas muestran a los GCM que se usaron para forzar el RCM.

RCM y GCM usado como forzante	RCA4	RegCM4.3	RegCM4.7	REMO2015	Eta
CanESM2	0.44° y 0.5°				0.2°
CNRM-CM5	0.44°				
CSIRO Mk3.6	0.44° y 0.5°				
EC-EARTH	0.44° y 0.5°				
GFDL-ESM2M	0.44° y 0.5°	0.44°			
HadGEM2-ES	0.5°	0.44°	0.22°	0.22°	0.2°
IPSL-CM5A-MR	0.44° y 0.5°				
MIROC5	0.44° y 0.5°				0.2°
MPI-ESM	0.44° y 0.5°		0.22°	0.22°	
NorESM1-M	0.44° y 0.5°		0.22°	0.22°	

En cuanto a los conjuntos (también conocidos como *ensembles*) de los RCM (segunda fila de la Figura 2), todos los modelos tienden a producir sobreestimaciones en la parte alta de los Andes (por encima de los 2000 m s. n. m.) en mayor o menor medida. El modelo Eta (resolución espacial de 0.2°) tiende a ubicar adecuadamente la zona de *hotspots* entre los 500 y 2000 m s. n. m., aunque produce una banda continua de tasas de precipitación por encima de los 18 mm/día hasta los 6.5° S. Asimismo, produce un sesgo seco pendiente arriba una vez pasado los 2000 m s. n. m. (tasas por debajo de 1.5 mm/día) hasta aproximadamente los 4000 m s. n. m. Sobre

algunas regiones de la vertiente oriental de los Andes, incluyendo el valle de Apurímac, la precipitación es sobreestimada. Mientras tanto, REMO y RegCM4.7 (resolución espacial de 0.22°) sobreestiman la precipitación por encima de los 2000 m s. n. m., en especial sobre las regiones altoandinas. En particular, RegCM4.7 simula tasas por encima de los 40 mm/día pendiente arriba del *hotspot* de Quincemil (13.5° S), mientras que presenta un sesgo seco muy marcado sobre este *hotspot* entre 500 y 2000 m s. n. m. (tasas por debajo de 4 mm/d). Este modelo también tiende a producir una Amazonía baja (altitud menor a 500 m s. n. m.) muy seca, con tasas de precipitación de entre 4 y 6 mm/día.

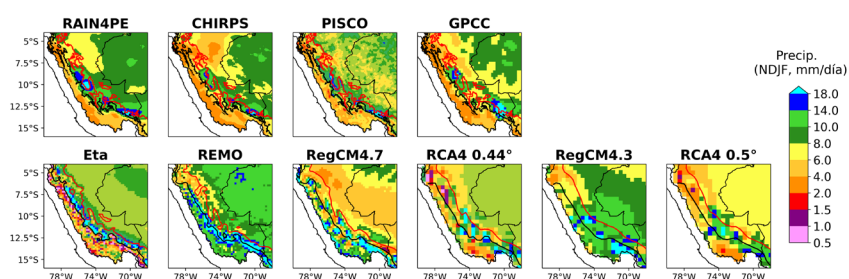


Figura 2. Tasas de precipitación media de verano (NDJF) durante el periodo 1981-2005 para los conjuntos de datos grillados de precipitación (primera fila) y los *ensembles* de RCM de CORDEX-Sudamérica (segunda fila). La línea roja y negra marcan las altitudes de 500 y 2000 m s. n. m., respectivamente, del GTOPO30 (primera fila) y de la topografía de los RCM (segunda fila), mientras que la línea negra más externa marca el límite de la cuenca amazónica.

En cuanto a las simulaciones de menor resolución espacial (0.44° y 0.5°), el modelo RegCM4.3 presenta sesgos parecidos al modelo RegCM4.7 sobre las zonas altas de los Andes. Sin embargo, la tasa de precipitación está sobreestimada sobre la Amazonía baja (valores de hasta 12 mm/día) y ligeramente sobreestimada sobre el *hotspot* de Quincemil. Los modelos RCA4 también tienden a representar una banda de precipitación máxima entre 500 y 2000 m s. n. m., aunque no coinciden con la ubicación de las máximas observadas por los conjuntos de datos grillados. En la región altoandina poseen tasas de precipitación similares a las observadas por los conjuntos de datos grillados. Sin embargo, pendiente arriba del *hotspot* de Quincemil, estos modelos sobreestiman la precipitación con tasas de hasta 18 mm/d. Sobre este sitio, el modelo RCA de resolución de 0.44° sobreestima más la precipitación que el de resolución de 0.5°.

4. Comentarios

Estos resultados indican que parece no haber ninguna relación entre la *performance* del modelo y la resolución espacial en cuanto a la reproducción de las climatologías de precipitación, cuando se esperaría un mejor rendimiento de los modelos de resolución más fina. Ello se evidencia en el pobre rendimiento mostrado por RCM de resolución espacial de 0.22° en comparación con los RCM de resolución 0.44° y 0.5°. Algunos estudios han sugerido resoluciones espaciales de, por lo menos, 0.11° para una mejor reproducción de la precipitación orográfica (Torma et al., 2015; Prein et al., 2016, Junquas et al., 2018). Por tanto, será necesaria la aplicación de RCM de resolución espacial más fina para contar con proyecciones climáticas basadas en modelos que reproduzcan mejor el patrón espacial de la precipitación orográfica sobre la región.

Para ello, pruebas de parametrizaciones físicas y simulaciones numéricas de alta resolución están siendo conducidas con la finalidad de entender mejor los mecanismos físicos asociados a la precipitación en la zona de transición Andes-Amazonía. Además, debido a que la precipitación es una variable parametrizada, es muy dependiente de las parametrizaciones físicas de los procesos convectivos (*cumulus*) y superficie terrestre, las cuales están pobremente calibradas para los Andes (Chou et al., 2014; Rebotta et al., 2022). Por lo tanto, se están realizando simulaciones numéricas de alta resolución y pruebas de parametrizaciones físicas con el fin de obtener simulaciones más realistas de la precipitación y procesos atmosféricos asociados sobre la zona de transición Andes-Amazonía.

Referencias

- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2020). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Becker, A., Finger, P., Meyer-Christoffer, A., Rudolf, B., Schamm, K., Schneider, U., & Ziese, M. (2013). A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901–present. *Earth System Science Data*, 5, 71–99. <https://doi.org/10.5194/essd-5-71-2013>
- Castellanos, E., Lemos, M.F., Astigarraga, L., Chacón, N., Cuvi, N., Huggel, C., Miranda, L., Moncassim Vale, M., Ometto, J.P., Peri, P.L., Postigo, J.C., Ramajo, L., Roco, L., & Rusticucci, M., (2022). Central and South America. En: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama, B. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1689–1816, <https://doi.org/10.1017/9781009325844.014>.
- Cazorla, M., Gallardo, L., & Jimenez, R. (2022). The complex Andes region needs improved efforts to face climate extremes. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 10(1), 00092. <https://doi.org/10.1525/elementa.2022.00092>
- Chou, S., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G., Nobre, P. & Marengo, J. (2014). Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. *American Journal of Climate Change*, 3, 438–454. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35039>.
- Fernández-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lobanova, A., Vega-Jácome, F., Lavado, W., Santini, W., Aybar, C., & Bronstert, A. (2021). A novel high-resolution gridded precipitation dataset for Peruvian and Ecuadorian watersheds – development and hydrological evaluation. *Journal of Hydrometeorology*, 23, 309–336. doi:10.1175/jhm-d-20-0285.1
- Espinoza, J. C., Chavez, S., Ronchail, J., Junquas, C., Takahashi, K., & Lavado, W. (2015). Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation: Rainfall hotspots over the southern tropical Andes. *Water Resources Research*, 51(5), 3459–3475. <https://doi.org/10.1002/2014WR016273>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Giorgi, F., & Gutowski, W. J. (2015). Regional Dynamical Downscaling and the CORDEX Initiative. *Annual Review of Environment and Resources*, 40(1), 467–490. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021217>
- Junquas, C., Takahashi, K., Condom, T., Espinoza, J. C., Chavez, S., Sicart, J.-E., & Lebel, T. (2018). Understanding the influence of orography on the precipitation diurnal cycle and the associated atmospheric processes in the central Andes. *Climate Dynamics*, 50(11–12), 3995–4017. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3858-8>
- Prein, A. F., Gobiet, A., Truhetz, H., Keuler, K., Goergen, K., Teichmann, C., Fox Maule, C., van Meijgaard, E., Déqué, M.,

Nikulin, G., Vautard, R., Colette, A., Kjellström, E., & Jacob, D. (2016). Precipitation in the EURO-CORDEX 0.11° and 0.44° simulations: High resolution, high benefits? *Climate Dynamics*, 46(1–2), 383–412. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2589-y>

Reboita, M.S., da Rocha, R.P., de Souza C.A., Baldoni, T.C., Silva, P.L.L.d.S., & Ferreira G.W.S. (2022) Future projections of extreme precipitation climate indices over South America based on CORDEX-CORE multimodel ensemble. *Atmosphere*, 13(9), 1463. <https://doi.org/10.3390/atmos13091463>

Segura, H., Junquas, C., Espinoza, J. C., Vuille, M., Jauregui, Y. R., Rabatel, A., Condom, T., & Lebel, T. (2019). New insights into the rainfall variability in the tropical Andes on seasonal and interannual time scales. *Climate Dynamics*, 53(1–2), 405–426. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4590-8>

Torma, C., Giorgi, F., & Coppola, E. (2015). Added value of regional climate modeling over areas characterized by complex terrain-Precipitation over the Alps. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(9), 3957–3972. <https://doi.org/10.1002/2014JD022781>