

# CAMBIOS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL CENTRO DEL PERÚ POR EFECTOS DE LA DEFORESTACIÓN AMAZÓNICA

**Miguel Saavedra<sup>1</sup>, Clementine Junquas<sup>2</sup>, Jhan-Carlo Espinoza<sup>2</sup>, Yamina Silva<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú

<sup>2</sup> Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD)

<sup>3</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Lima, Perú

**Palabras clave:** Modelo atmosférico WRF, Andes, deforestación amazónica, precipitación, cuenca del río Mantaro

Citar como Saavedra, M., Junquas, C., Espinoza, J-C., Silva, Y. (2023). Cambios de la precipitación por efecto de la deforestación amazónica. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 10 n.º 07, págs. 10-13.

## Resumen

Este trabajo analiza el impacto de la deforestación amazónica en la precipitación de los Andes centrales del Perú durante la temporada húmeda, haciendo uso del modelo atmosférico Weather Research and Forecasting Model (WRF, por sus siglas en inglés). La región de estudio abarca la ciudad de Lima y localidades ubicadas en la cuenca del río Mantaro, de suma importancia debido a su elevada densidad poblacional. En tal sentido, se configuró el modelo WRF para la región de estudio bajo dos escenarios: uno con la Amazonía sin deforestación y otro con un 40 % de deforestación. Debido a la compleja topografía de la región se utilizaron múltiples dominios de alta resolución en el modelo. Los resultados preliminares muestran que, como consecuencia de la deforestación del 40 % en la Amazonía, se prevén cambios relativos netos en la precipitación en la cuenca del río Mantaro y en las zonas altas de la pendiente oeste de los Andes que podrían alcanzar una reducción de 5 % y un aumento de 5 %, respectivamente. En el futuro, estos cambios podrían tener relevancia para la gestión del agua en la región.

## 1. Introducción

La precipitación sobre los Andes del centro del Perú

presenta un régimen unimodal, siendo los meses del verano austral los de mayor precipitación (p. ej., Espinoza-Villar et al., 2009; Segura et al., 2019). Esta región se caracteriza por un gradiente muy notorio de precipitación, desde casi cero mm/año en la costa central peruana hasta más de 6000 mm/año en el flanco oriental de los Andes (Rau et al., 2017; Chávez y Takahashi, 2017). Sobre esta zona, varios estudios han demostrado que la precipitación en Perú está asociada con la advección de humedad desde la Amazonía y la subsiguiente generación de inestabilidad atmosférica. Ambos procesos están vinculados con la intensificación del Chorro de Bajos Niveles junto a la cara oriental de los Andes y el fortalecimiento de los vientos del este en niveles altos, estrechamente relacionados con la Alta de Bolivia sobre el sur de Perú (p. ej., Garreaud, 1999; 2009).

Gracias a sus grandes recursos forestales, la Amazonía es una de las fuentes más importantes de humedad atmosférica, donde entre el 25 % y el 35 % del agua precipitable local vuelve a la atmósfera como vapor de agua en un proceso llamado "reciclaje de precipitación" (Eltahir y Bras, 1994; Burde et al., 2006). Respecto a la importancia de los procesos en la cuenca amazónica, estudios como los de Staal et al. (2018) y Dirmeyer et al. (2009) han calculado que entre el 30 % y el 50 % del agua precipitable cerca de los Andes peruanos proviene de la evapotranspiración

de los árboles amazónicos. Recientemente, Sierra et al. (2021), en un experimento de modelado con un escenario de deforestación amazónica al 2050 (Soares-Filho et al., 2006), ha encontrado que la reducción de la lluvia sobre el borde de los valles de los Andes bolivianos podría alcanzar hasta un 30 % durante el verano austral. De esta manera, los procesos que afectan la generación de humedad en la Amazonía son claves y pueden alterar el régimen de precipitación en las zonas andinas. Además, muchos otros estudios demuestran que la liberación de agua en la atmósfera tiene una dependencia bien definida según el tipo de cobertura terrestre (bosque, tierras de cultivo, sabana, pastizales, etc.) (p. ej., Liu, 2008).

Actualmente, se considera que la cuenca del río Amazonas está en proceso de transición debido, principalmente, a una prolongación de la estación seca en el sur de la Amazonía y al aumento de áreas deforestadas (p. ej., Davidson et al., 2012). La deforestación en la Amazonía, impulsada principalmente por la expansión agrícola y ganadera, ha estado ocurriendo desde hace muchos años y, aunque disminuyó rápidamente hasta el año 2012, ha aumentado nuevamente desde entonces (Silva Junior et al., 2021). Como consecuencia de ello, se pueden proponer algunos escenarios como el sugerido por Soares-Filho et al. (2006), el cual estima una reducción en 40 % del bosque amazónico para el año 2050.

Este artículo mostrará un avance de la investigación sobre el impacto que la deforestación amazónica puede tener sobre la precipitación durante la temporada húmeda (diciembre-enero-febrero) desde el año 2001-2002 al 2005-2006 en los Andes centrales del Perú. Los impactos se cuantifican con base en simulaciones realizadas con el modelo numérico WRF que permite, por ejemplo, estudiar los cambios en la intensidad y los patrones espaciales de la precipitación. Este tipo de estudio sobre los Andes centrales del Perú es importante debido a que alberga la tercera parte de la población del Perú (aproximadamente 10 millones de personas) todas ellas localizadas en su gran mayoría dentro de la zona de estudio de este trabajo: la ciudad capital de Lima y las ciudades de los Andes del centro del Perú enmarcadas en la cuenca del río Mantaro, entre los 10° S y 13.5° S y 78° O y 73.5° O.

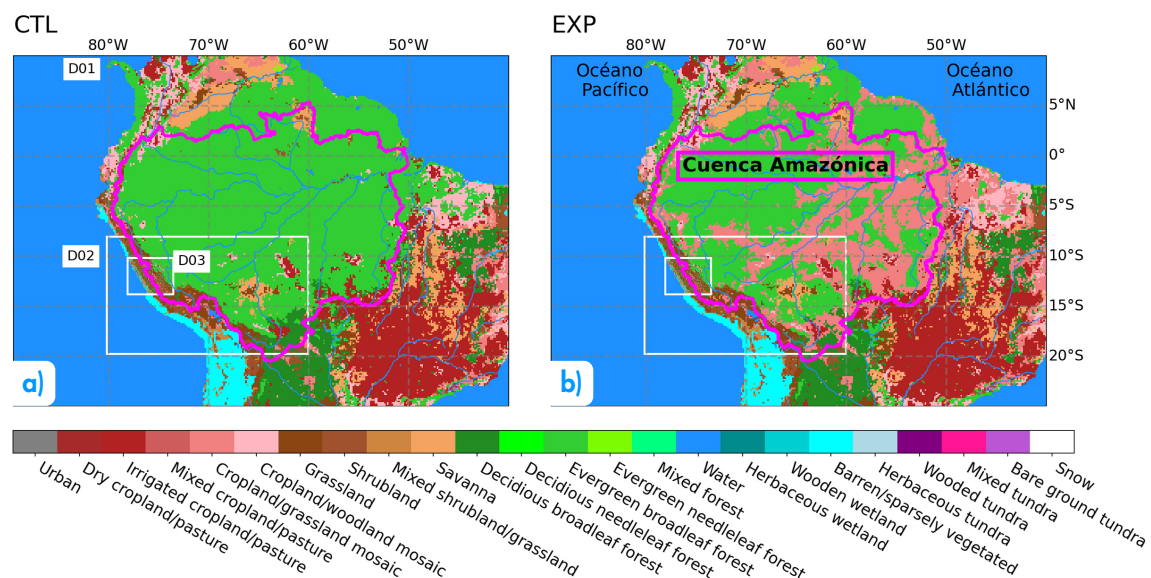
## 2. Metodología

Para simular los procesos físicos en la atmósfera y la precipitación en la zona de interés, se utilizó el modelo atmosférico WRF. Se consideraron dos simulaciones: un escenario de control, denominado CTL, donde se considera la Amazonía sin deforestar, y un escenario experimental, denominado EXP, donde se considera la Amazonía deforestada. El escenario no deforestado toma en cuenta una Amazonía con cobertura de tipo bosque en casi toda la cuenca amazónica (Figura 1a), según el producto generado por Eva et al. (2004). El otro escenario presenta una deforestación del 40 % (Figura 1b), según las proyecciones realizadas por Soares-Filho et al. (2006).

Debido a que la región de estudio (Andes centrales del Perú) presenta un terreno de topografía compleja (con montañas), se requiere reproducir los procesos dinámicos sobre la cuenca del Mantaro en alta resolución. Por esta razón, el modelo se configura con un dominio principal (en adelante denominado D01) y dos subdominios anidados (en adelante denominados D02 y D03). D01 abarca el norte y centro de Sudamérica, mientras que D02 y D03 abarcan el centro-sur del Perú y la zona de estudio, respectivamente (Figura 1a). El modelo utiliza datos de ERA5 (reanálisis atmosférico de quinta generación del ECMWF, Hersbach et al. [2020]) de 31 km-6 h de resolución espacio-temporal como condiciones de frontera para forzar el D01. Luego, las simulaciones en D02 y D03 son forzadas en sus fronteras por las simulaciones realizadas en D01 y D02, respectivamente. Las salidas de las simulaciones D01, D02 y D03 consideran resoluciones espaciales de 15 km, 5 km y 1 km, respectivamente. Las simulaciones en D01 y D02 fueron obtenidas previamente por Sierra et al. (2022).

## 3. Resultados preliminares

La Figura 2 muestra cómo la precipitación promedio estimada por el modelo WRF cambia debido a la deforestación. En otras palabras, muestra las diferencias absolutas (Figura 2a) y relativas (Figura 2b) de la precipitación entre lo que ocurre en el escenario de deforestación (EXP) y el escenario sin deforestación (CTL). De esta manera, los cambios



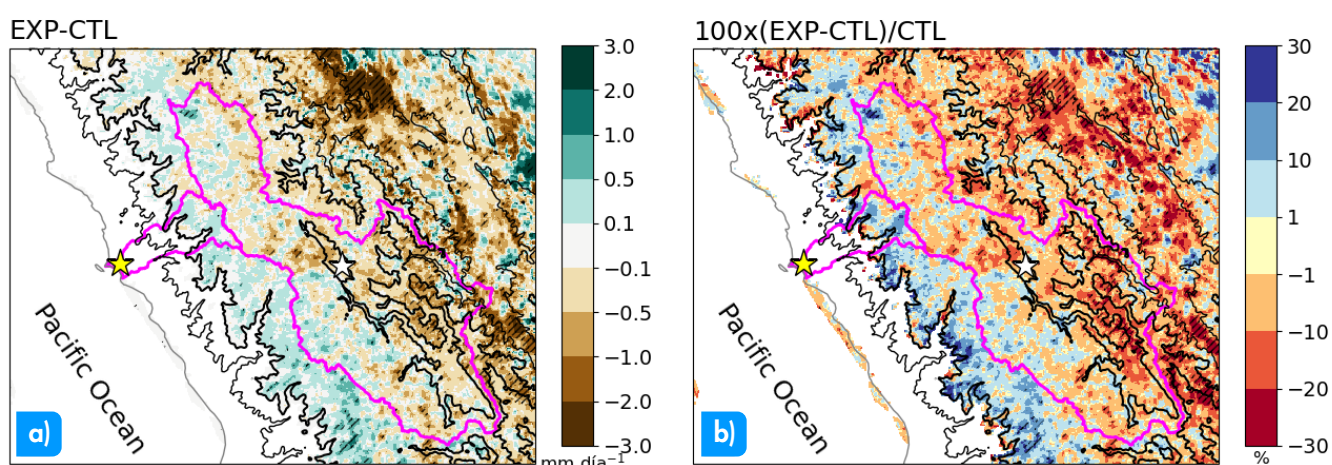
**Figura 1.** Uso de suelo utilizado por el modelo WRF para realizar dos experimentos: CTL (a), considerando una Amazonía sin deforestar según Eva et al. (2004), y EXP (b), con deforestación amazónica según Soares-Filho et al. (2006). Se utiliza la nomenclatura del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) con 24 categorías de uso de suelo. La figura muestra también el dominio principal (D01) y los subdominios anidados D02 y D03.

absolutos muestran que, en un escenario de deforestación amazónica, la precipitación sobre el borde este es la que puede sufrir una mayor reducción. Esta reducción puede alcanzar valores superiores a  $3 \text{ mm.día}^{-1}$ , lo que representa hasta un 20 % menos que el valor promedio en CTL. Reducciones relativas similares a las anteriores se pueden encontrar más al oeste, sobre la zona centro y sur de la cuenca del río Mantaro, donde la disminución de la lluvia puede llegar a alcanzar valores de hasta  $1 \text{ mm.día}^{-1}$ .

Sobre la pendiente oeste de los Andes se da un efecto contrario al hallado en las zonas ubicadas al este (Figura 2). Se puede apreciar que hay un incremento de la precipitación que, por lo general, alcanza valores entre  $0.1$  y  $0.5 \text{ mm.día}^{-1}$ . Estos valores pueden ser relativamente altos debido a que la precipitación

suele presentarse por encima de los  $3500 \text{ m s. n. m.}$ , con valores por encima de  $0.2 \text{ mm.día}^{-1}$ , y menor a  $3 \text{ mm.día}^{-1}$  con los valores más bajos sobre los valles (no mostrado). De esta manera, los cambios relativos pueden alcanzar incrementos de hasta 20 % sobre los valles por encima de los  $3500 \text{ m s. n. m.}$

En resumen, se puede señalar que, en un escenario de deforestación de 40 % de la Amazonía, habrían cambios relativos netos de -5 % (reducción) y +5 % (aumento) sobre la región de la cuenca del río Mantaro (zona sur y centro) y sobre las zonas altas de la pendiente oeste de los Andes, respectivamente. Estos valores pueden ser relevantes al momento de determinar la distribución y el uso de agua en los próximos años (mediados de siglo XXI) ante un escenario de deforestación de la Amazonía.



**Figura 2.** a) Diferencia absoluta entre la precipitación promedio bajo el escenario de deforestación (EXP) y de control (CTL) para la región de estudio. b) Cambio relativo de la precipitación promedio de EXP respecto de CTL en porcentaje. Los promedios consideran el periodo diciembre-enero-febrero de los años 2001-2002 al 2005-2006 del dominio D03. Las cuencas de los ríos Rímac y Mantaro se indican en magenta. Las líneas delgada y gruesa de color negro indican los niveles de  $1500$  y  $3500 \text{ m s. n. m.}$ , respectivamente.

## Referencias

Burde, G. I., Gandush, C., & Bayarjargal, Y. (2006). Bulk recycling models with incomplete vertical mixing. Part II: Precipitation recycling in the Amazon basin. *Journal of Climate*, 19(8). <https://doi.org/10.1175/JCLI3688.1>

Chavez, S. P., & Takahashi, K. (2017). Orographic rainfall hot spots in the Andes-Amazon transition according to the TRMM precipitation radar and in situ data. *Journal of Geophysical Research*, 122(11), 5870–5882. <https://doi.org/10.1002/2016JD026282>

Davidson, E. A., de Araújo, A. C., Artaxo, P., Balch, J. K., Brown, I. F., C. Bustamante, M. M., ... Wofsy, S. C. (2012). The Amazon basin in transition. *Nature*, 481(7381), 321–328. doi:10.1038/nature10717

Espinoza-Villar, J. C. E., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., Oliveira, E. de, Pombosa, R., & Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, 29(11), 1574–1594. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.1791>

Dirmeyer, P. A., Brubaker, K. L., & DelSole, T. (2009). Import and export of atmospheric water vapor between nations. *Journal of Hydrology*, 365(1–2), 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.11.016>

Eltahir, E. A., & Bras, R. L. (1994). Precipitation recycling in the Amazon basin. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 120(518), 861–880. <https://doi.org/10.1002/qj.49712051806>

Garreaud, R. D. (1999). Multiscale Analysis of the Summertime Precipitation over the Central Andes. *Monthly Weather Review*, 127(5), 901–921. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1999\)127<0901:MAOTSP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1999)127<0901:MAOTSP>2.0.CO;2)

Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences*, 22, 3–11. <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-3-2009>

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P. et al (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

Liu, M., Tian, H., Chen, G., Ren, W., Zhang, C., & Liu, J. (2008). Effects of Land-Use and Land-Cover Change on Evapotranspiration and Water Yield in China During 1900–2000. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 44(5), 1193–1207. doi:10.1111/j.1752-1688.2008.00243.x

Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Melo, P., Dewitte, B., Frappart, F., Lavado, W., & Felipe, O. (2017). Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast. *International Journal of Climatology*, 37(1), 143–158. <https://doi.org/10.1002/joc.4693>

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*. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4590-8>

Staal, A., Tuinenburg, O. A., Bosmans, J. H. C., Holmgren, M., van Nes, E. H., Scheffer, M., Zemp, D. C., & Dekker, S. C. (2018). Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nature Climate Change*, 8(6), 539–543. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0177-y>

Sierra, J. P., Junquas, C., Espinoza, J. C., Segura, H., Condom, T., Andrade, M., Molina-Carpio, J., Ticona, L., Mardoñez, V., Blacutt, L., Polcher, J., Rabatel, A., & Sicart, J. E. (2022). Deforestation impacts on Amazon-Andes hydroclimatic connectivity. *Climate Dynamics*, 58(9–10), 2609–2636. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-06025-y>

Soares-Filho, B. S., Nepstad, D. C., Curran, L. M., Cerqueira, G. C., Garcia, R. A., Ramos, C. A., Voll, E., McDonald, A., Lefebvre, P., & Schlesinger, P. (2006). Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440(7083), 520–523. <https://doi.org/10.1038/nature04389>

Silva Junior, C. H. L., Pessôa, A. C. M., Carvalho, N. S., Reis, J. B. C., Anderson, L. O., & Aragão, L. E. O. C. (2021). The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade. *In Nature Ecology and Evolution*, 5(2), 144–145. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01368-x>