

Importancia de la representación del uso de suelos en la simulación de la precipitación en los Andes centrales del Perú



MS.c. Miguel Saavedra Huanca
AGREGADO DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO
GEOFÍSICO DEL PERÚ (IGP)

MS.c en Geofísica por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y físico graduado en la misma universidad. Actualmente tiene un puesto permanente como agregado de investigación en el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Viene desarrollando investigaciones sobre el comportamiento de la precipitación y temperaturas en los Andes del Perú mediante el uso de herramientas estadísticas y modelos numéricos. También, ha publicado artículos científicos como primer autor y en colaboración con científicos del Perú y extranjero.



Dra. Yamina Silva
INVESTIGADORA CIENTÍFICA
PRINCIPAL DEL INSTITUTO
GEOFÍSICO DEL PERÚ (IGP)

INTRODUCCIÓN

Una de las herramientas importantes para el estudio del tiempo y clima son los modelos numéricos. Aunque una red de estaciones meteorológicas es determinante en la validación de estos, su ventaja radica en abarcar mayor cobertura espacial, inclusive temporal. Aun así, los modelos son sensibles a otros parámetros tales como la representación de la orografía y el uso de suelos (UdS) de una región específica. Por ejemplo, la orografía puede inducir la generación de precipitación tras facilitar la formación de nubes por enfriamiento de la humedad que asciende por las pendientes. Por otro lado, el UdS también juega un papel importante, ya que además de regular la temperatura del aire según el tipo de cobertura (p.e., asfalto → mayor temperatura; grass → menor temperatura), también puede controlar el flujo de humedad y calor entre la biosfera y la atmósfera (Mahmood y Hubbard, 2003; Zhang et al., 2001). Esto puede ser determinante en la generación de precipitación, ya que las zonas con abundante cobertura vegetal suelen generar climas capaces de reciclar la humedad (Van Der Ent & Savenije, 2011; Keys, 2016).

Aunque sobre el territorio del Perú, principalmente sobre los Andes, ya se han desarrollado trabajos de investigación resaltantes respecto al modelado de alta resolución espacial

(Junquas, et al., 2018; Moya-Álvarez et al., 2018a, 2018b, 2019), aún no se ha hecho hincapié en cómo un cambio en el UdS puede impactar en variables como la precipitación. Basados en el trabajo desarrollado por Saavedra et al., (2020), que evalúa las diferencias existentes en precipitación simuladas por el modelo Weather Research and Forecasting Model (WRF) utilizando cambios de UdS, en este artículo se hace hincapié en los puntos más resaltantes y, además, se complementa con comentarios adicionales. La zona de estudio estuvo limitada a la región central del Perú (Figura 1) y se consideró el mes de enero de los años que van de 2004 al 2008.

METODOLOGÍA

Se usó la versión 3.7.1 del modelo WRF. Este resuelve las ecuaciones físicas del sistema suelo-atmósfera mediante la discretización de dichas ecuaciones y/o parametrización de los procesos físicos (para más detalles revisar Skamarock, 2008). Debido a que la zona de estudio cubre la región costera, los Andes y parte de la Amazonía, las simulaciones se realizaron usando dominios anidados de 9 y 3 km sobre un dominio regional de 27 km (ver Figura 1) para, finalmente, realizar el análisis en función de las salidas con menor resolución. Para las condiciones iniciales y de frontera de

las simulaciones se consideró el producto Final Operational Global Analysis data (FNL) proveído por el National Center

for Environmental Prediction (NCEP), con una resolución espacial de 1-grado x 1-grado, y temporal de 6 horas.

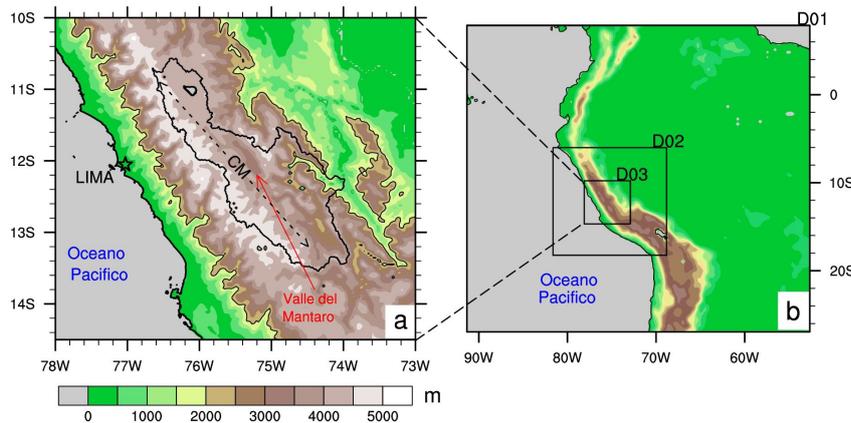


Figura 1. (a) Área de estudio. Se indica la cuenca del Mantaro (CM) y valle del Mantaro. La topografía corresponde al producto SRTM. (b) Ubicación de la zona de estudio en Sudamérica y dentro del dominio de 3km de resolución espacial (D03), anidado dentro de un dominio de 9km (D02) y 27 km (D01).

Para evaluar la sensibilidad del modelo WRF a los cambios de UdS se usaron dos bases de datos: la información por defecto del modelo proveniente de United States Geological Survey (us_USGS) y el producto generado por Eva et al. (2004) (us_EVA). Como se puede apreciar en la Figura 2, las principales diferencias de us_EVA con respecto a us_USGS son: Lima metropolitana se representa con una mayor área, se incrementa el área boscosa por encima y cerca a los 2000 msnm, se reduce (incrementa) el área de pastos (cultivos) en la cuenca del río Mantaro y, finalmente, se incrementan las áreas boscosas en la parte amazónica y alrededor de 12°S.

manera se puede analizar los impactos por cambio de UdS mediante la diferencia entre EXP y CTL de las variables tales como el índice de área foliar (LAI por sus siglas en inglés), albedo y la precipitación. El LAI y el albedo serán las variables que caracterizan el tipo de UdS según us_USGS y us_EVA. LAI cuantifica la superficie vegetada mediante el área cubierta por las hojas por unidad de superficie de terreno, mientras que el albedo indica el porcentaje de energía solar que no es absorbida por la cobertura del suelo. Estos dos parámetros juegan un papel importante en la disponibilidad de humedad en la atmósfera, ya que intervienen directamente en la evapotranspiración que luego puede culminar en precipitación. Por ejemplo, valores bajos del albedo sobre una superficie cubierta por vegetación involucra mayor disponibilidad de energía solar a ser invertida en la evaporación del agua.

En base a este conjunto de datos se diseñaron dos experimentos (ver Tabla 1): el primero considerando us_USGS y al que se denominó CTL, y el segundo utilizando us_EVA para obtener la simulación llamada EXP. De esta

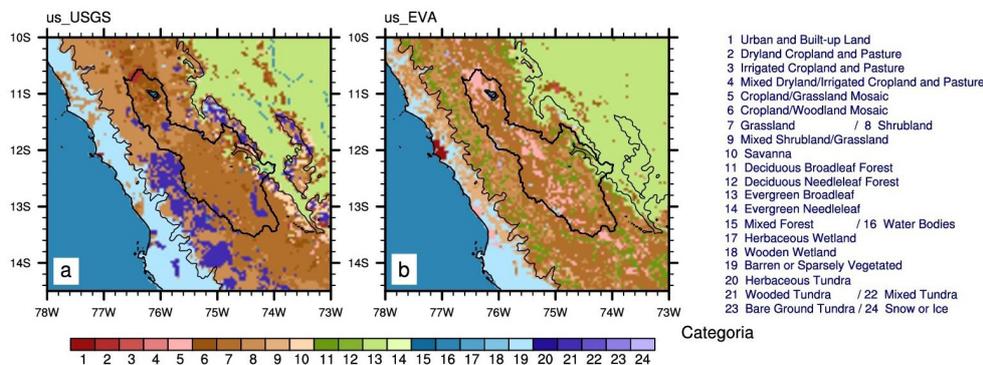


Figura 2. UdS según (a) us_USGS y (b) us_EVA. (Derecha) 24 categorías según la clasificación USGS para la versión WRF3.7.1. Se muestra con línea negra, el nivel de los 2000 msnm.

Simulación	Orografía	UdS
CTL	h_SRTM	us_USGS
EXP	h_SRTM	us_USGS

Tabla 1. Simulaciones con el modelo WRF3.7.1 en base al uso de suelos según us_USGS y us_EVA.

RESULTADOS

El LAI en la simulación CTL presenta un incremento en dirección oeste-este, que responde a la aparición de vegetación (gras, bosques, etc.; Figura 2) desde la costa hacia la Amazonía (Figura 3a). Por el contrario, el incremento de LAI en esa dirección, conlleva a la reducción del albedo en la misma dirección (Figura 3c). Respecto a las diferencias que conlleva la modificación del nuevo UdS en la simulación

EXP, se observa en general, en las Figuras 3b y 3d, un claro incremento de LAI y reducción del albedo, respectivamente, lo cual se debería al incremento de vegetación por bosque y cultivos. Esto es notorio sobre los 2000 msnm en la vertiente este y oeste de los Andes, sobre la cuenca y, en especial, en el valle del río Mantaro.

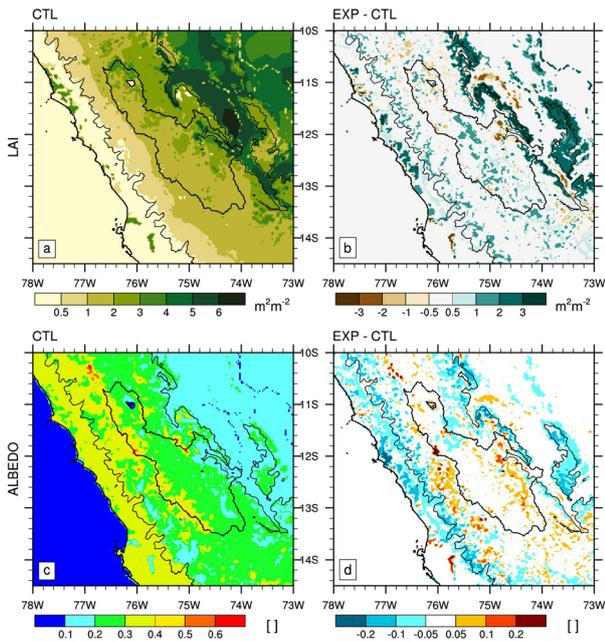


Figura 3. (a) LAI en la simulación CTL. (b) Cambios de LAI producidos por la consideración de us_EVA en lugar de us_USGS (EXP-CTL). (b) y (c) análogo a (a) y (b), pero para albedo. Además del área que limita la cuenca del Mantaro, se muestra la línea de 2000 msnm.

La Figura 4a muestra la precipitación en la simulación CTL y se observa en general un incremento de la lluvia desde la costa hacia la Amazonía, es decir desde la zona costera seca hasta la amazónica húmeda con valores bajos de 5 mm/día y extremos mayores a 30 mm/día, en particular alrededor de los 2000 msnm. Los máximos de precipitación sobre la pendiente oeste de los Andes se presentan en las cimas de los valles interandinos con valores de hasta 10 mm/día. Sobre la cuenca del río Mantaro, las áreas más lluviosas se encuentran en los bordes de este con valores de hasta 10 mm/día, mientras sobre los valles, como el valle del río Mantaro, los valores no superan los 3 mm/día. Estos patrones de lluvia son consistentes con valores observados en trabajos previos (Silva et al., 2008; Chavez & Takahashi, 2017; Saavedra & Takahashi, 2017; Moya-Alvarez, 2019, entre otros).

La precipitación en la simulación EXP es en general mayor que la generada en CTL. Esto se muestra en la Figura 4b y 4c, donde se observan los cambios absolutos (en mm/día) y relativos (en %) que introduce la lluvia en EXP con respecto a CTL. Se muestra un incremento de hasta 4 mm/día, o 50% sobre los 2000 msnm en la pendiente oeste de los Andes. Sobre la cuenca del Mantaro, los incrementos en EXP llegan hasta 2 mm/día o 30% de la lluvia en CTL. Por último, en la zona de transición Andes–Amazonía se muestran: un cambio asociado a un dipolo con incremento en la parte sureste y una reducción en la parte noroeste que llega hasta los 15 mm/día, o 50%.

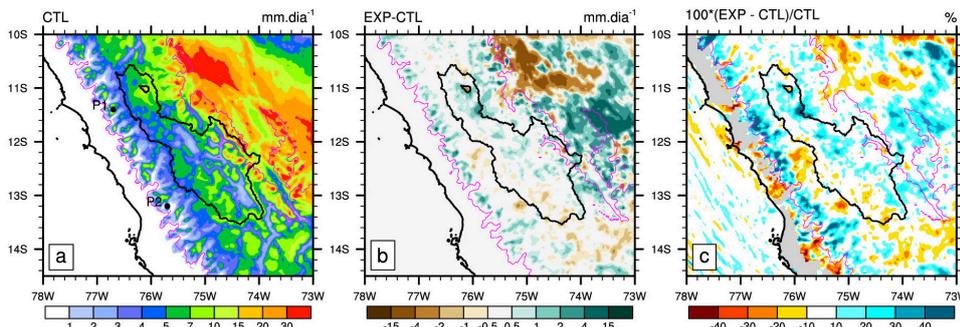


Figura 4. (a) Precipitación dada por CTL. (b) Incremento absoluto de la precipitación generada por EXP con respecto de CTL. (c) Como en (b), pero en valores relativos. P1 y P2 representan en (a) puntos entre los cuales se ha hecho un corte transversal (ver Figura 5).

Para determinar mejor la diferencia entre la precipitación en EXP y CTL, veamos la Figura 5. Esta muestra la precipitación de ambas simulaciones (arriba), así como la orografía (abajo) entre los puntos P1 y P2 mostrados en la Figura 4a. Se observa que la mayor precipitación se da sobre la cima

de las montañas y se ve más claramente cómo sobre estas cumbres (valles) la lluvia en EXP supera sustancialmente (ligeramente) a la de CTL en cantidades mayores (menores) a 2 mm/día (0.5mm/día).

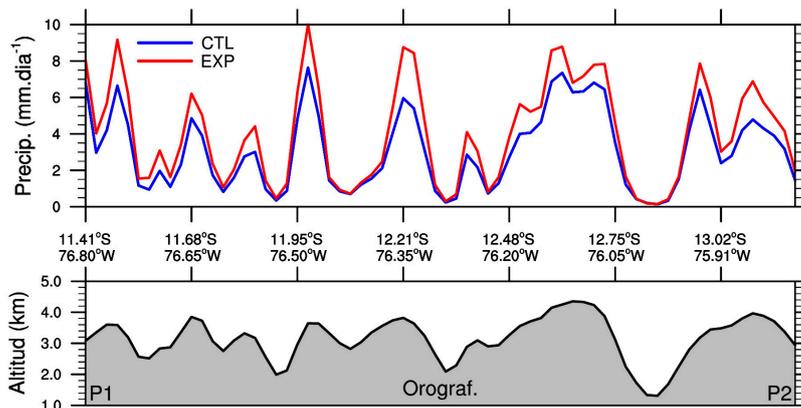


Figura 5. Precipitación en CTL y EXP (arriba), y orografía (abajo) entre los puntos P1 y P2 de la Figura 5a.

COMENTARIOS FINALES

Mediante la simulación numérica de dos escenarios, uno con mayor cantidad de vegetación que la otra, se ha determinado que sobre zonas donde se incrementan las áreas con bosque o vegetación hay también un incremento de la precipitación. Esta relación puede ser explicada por los nexos entre la evapotranspiración, que sirve de insumo para el crecimiento de las gotas de lluvia, y la vegetación que previamente ha absorbido el agua proveniente de ríos para riego o por reciclaje de la misma precipitación. En especial, el reciclaje parece más notorio en la parte de la vertiente del Pacífico o pendiente oeste de los Andes, donde el incremento de vegetación (LAI) está asociado al incremento de la precipitación en zonas muy contiguas; es decir, durante eventos fuertes de lluvia esto podría generar un reforzamiento de la misma. Este reforzamiento es poco probable de ocurrir durante eventos como El Niño, ya que se conoce que durante este periodo se induce a un déficit de precipitación en la zona central del Perú (vertiente del Pacífico y cuenca del Mantaro. Silva et al., 2008; Lagos et al., 2008; Lavado & Espinoza, 2014). Por el contrario, eventos como La Niña serían favorables para esta retroalimentación, debido a que la lluvia tiende a incrementarse durante estos periodos.

Un trabajo futuro y complementario sería cuantificar qué cantidad del agua precipitada es reciclada durante los periodos de lluvias en la pendiente oeste de los Andes, en especial durante periodos de lluvia intensas o durante eventos como La Niña. Esto es de importancia, ya que se conoce que las crecidas en ríos pueden desencadenar deslizamientos, huaycos e inundaciones en la parte baja de las cuencas del lado del Pacífico.

REFERENCIAS

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. *J. Geophys. Res.* 122, 5870–5882. doi:10.1002/2016JD026282

Eva, H.D., Belward, A.S., De Miranda, E.E., Di Bella, C.M., Gond, V., Huber, O., Jones, S., Sgrenzaroli, M., Fritz, S., (2004). A land cover map of South America. *Glob. Chang. Biol.* 10, 731–744. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00774.x>

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. *Clim. Dyn.* 50, 3995–4017 doi:10.1007/s00382-017-3858-8

Keys, P.W., Wang-Erlandsson, L., Gordon, L.J. (2016). Revealing invisible water: moisture recycling as an ecosystem service. *PloS one*, 11(3).

Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., Mosquera, K. (2008). El Niño-related precipitation variability in Peru. *Adv Geosci* 14: 231–237. HAL Id: hal-00297103.

Lavado-Casimiro, W., Espinoza, J.C. (2014). Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(2), 171-182.

Mahmood, R., Hubbard, K.G. (2003). Simulating sensitivity of soil moisture and evapotranspiration under heterogeneous soils and land uses. *Journal of hydrology*, 280(1-4), 72-90.

Moya-Álvarez, A.S., Gálvez, J., Holguín, A., Estevan, R., Kumar, S., Villalobos, E., Martínez-Castro, D. Silva, Y. (2018a). Extreme rainfall forecast with the WRF-ARW model in the Central Andes of Peru. *Atmosphere*, 9(9), 362.

Moya-Alvarez, A.S., Martínez-Castro, D., Flores, J.L., Silva, Y. (2018b). Sensitivity study on the influence of parameterization schemes in WRF-ARW model on short- and medium-range precipitation forecasts in the Central Andes of Peru. *Advances in Meteorology*, 2018.

Moya-Álvarez, A.S., Martínez-Castro, D., Kumar, S., Estevan, R., Silva, Y. (2019). Response of the WRF model to different resolutions in the rainfall forecast over the complex Peruvian orography. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3-4), 2993-3007.

Saavedra, M., Takahashi, K., (2017). Physical controls on frost events in the central Andes of Peru using in situ observations and energy flux models. *Agric. For. Meteorol.* doi:10.1016/j.agrformet.2017.02.019

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

Skamarock, W.C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., Powers, J.G. (2008). A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Technical note-475+ STR.

Van Der Ent, R.J., Savenije, H.H.G. (2011). Length and time scales of atmospheric moisture recycling. *Atmos. Chem. Phys.* 11, 1853–1863. doi:10.5194/acp-11-1853-2011

Zhang, L., Dawes, W.R., Walker, G.R. (2001). Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water resources research*, 37(3), 701-708.