

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

TRAZANDO FUENTES DE HUMEDAD A TRAVÉS DE SEÑALES ISOTÓPICAS ($\delta^{18}\text{O}$) EN LA LLUVIA DE LA REGIÓN CENTRAL DE LOS ANDES

Carol Romero ¹ y James Apaéstegui ¹

RESUMEN

Las variaciones espaciales y temporales de las precipitaciones en la región central de los Andes peruanos condicionan el desarrollo de diversas actividades económicas, tales como la agricultura, ganadería, entre otras, así como la producción energética. Comprender las condiciones climáticas en la cuenca del río Mantaro es relevante para el país, considerando los servicios ecosistémicos que brinda este territorio. En ese sentido, el presente trabajo aborda la caracterización de las masas de humedad asociadas a las lluvias en la cuenca del río Mantaro desde sus respectivas señales isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$). Se analizaron las señales isotópicas en las precipitaciones durante el periodo 2017 – 2018 (verano austral), y se calcularon retro trayectorias de vientos a 500 hPa a través del modelo HYSPLIT a fin de comprender las posibles fuentes de humedad. Se observó que las mayores frecuencias de trayectorias registradas provienen del noreste y este de la región (cuenca amazónica). Asimismo, para el verano 2017 se observó mayor fraccionamiento de la señal isotópica en comparación a las condiciones observadas en el año 2018, esto podría deberse a procesos de reciclaje de humedad en las trayectorias previas a la zona de estudio.

Palabras clave: HYSPLIT, isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$), cuenca del río Mantaro, fuentes de humedad.

AFILIACIÓN:

1- Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Citar como: Romero, C., K., Apaéstegui, J. (2020). Trazando fuentes de humedad a través de señales isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$) en la región central de los Andes. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú*, Vol. 7 Nº 03. pág. 12-17.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas en la cuenca del río Mantaro cumplen un rol importante en el desarrollo de actividades socio-económicas, tales como la agricultura y la generación energética (hidroeléctrica), tanto para la región de Junín como para la capital de Perú, Lima. La agricultura existente en la cuenca es predominantemente de secano (aproximadamente 339 065 hectáreas), por lo que son especialmente susceptibles a los eventos de sequías, los cuales representan un peligro latente para esta zona (Martínez et al., 2006).

En atención a dicha premisa existen investigaciones orientadas en comprender los mecanismos físicos asociados a las condiciones climáticas sobre la cuenca del río Mantaro. Estos estudios se basan en mediciones de variables meteorológicas, así como resultados de modelos numéricos de la atmósfera. Sin embargo, es posible generar nuevas evidencias a través del estudio de las señales de isótopos estables, como el oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$), en las aguas meteóricas. Este trazador geoquímico ha sido validado en diferentes investigaciones como un instrumento útil para trazar fuentes de humedad (Ampuero et al., 2020; Apaéstegui et al., 2018; Vuille, 2003) y es en este sentido que podría aportar nuevas evidencias para los estudios hidroclimáticos.

Es importante resaltar que el estudio de las señales isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$) en las aguas meteóricas no solo permitirá el estudio de la dinámica atmosférica actual, sino, también, será la base para calibrar las señales geoquímicas en registros geológicos y biológicos (p. ej., anillos de árboles) o geológicos (p. ej., espeleotemas) para las reconstrucciones paleoambientales. Dicha información es de suma relevancia para mejorar la comprensión en relación a la magnitud y recurrencia de los eventos extremos pasados en la región central de los Andes en el contexto del cambio climático.

DATOS Y MÉTODOS

El agua de lluvia para el análisis isotópico se obtuvo usando un colector con las especificaciones técnicas de la Agencia Nacional de Energía Atómica (IAEA, 1992), dicho colector se ubicó en el Observatorio de Huancayo, donde opera el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) del IGP, a una altura de 3314 m s.n.m. (Figura 1). El monitoreo se inició a finales del año 2016, siguiendo una frecuencia de muestreo cada 15 días. El análisis isotópico ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) se realizó en el Laboratorio de Isótopos Estables del Instituto de Geociencias de la Universidad de Sao Paulo. Hasta el momento se cuenta con casi dos años de muestras analizadas (diciembre 2016 a junio 2018). La señal isotópica obtenida se contrastó con los parámetros ambientales locales medidos en la estación meteorológica automática pertenecientes al observatorio. Para esto, se realizaron correlaciones lineales de Pearson y un modelo de regresión lineal.

Los análisis de probables fuentes de humedad para la región central de los Andes se realizó con el modelo HYSPLIT (de sus siglas en inglés *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*) (Draxler & Hess, 1998; Stein et al., 2015). El modelo otorga retrotrayectorias con datos de vientos de cada 6 horas simuladas con el modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*), a un nivel de presión de 500 hPa, acumulando las retrotrayectorias para periodos coincidentes con el monitoreo isotópico sobre los dominios D01 (27 km), D02 (9 km), D03 (3 km), los que se muestran en la Figura 1A. Las trayectorias fueron agrupadas en clusters y etiquetadas con un número de grupo que permite calcular la cantidad de lluvia y la frecuencia de ocurrencia asociada a cada trayectoria y grupo.

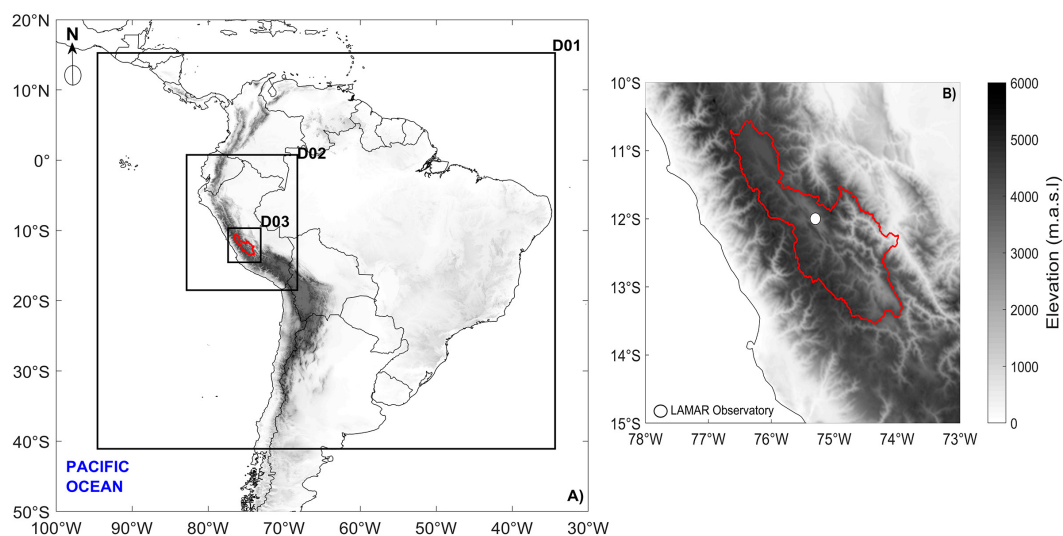


Figura 1. A) Ubicación de la cuenca del río Mantaro a nivel de Sudamérica. Los cuadrados identificados con D01, D02 y D03 indican los dominios usados. D01, D02 y D03 tienen resoluciones de 27 km, 9 km y 3 km, respectivamente. La topografía pertenece a SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con resolución de 90 metros. B) Delimitación de la cuenca del río Mantaro (línea roja), la ubicación de LAMAR está indicada con un círculo blanco.

RESULTADOS PRELIMINARES

El análisis de los isótopos estables medidos en las lluvias colectadas ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) nos permiten construir la línea meteórica local (LML) para la región central de los Andes ($\delta\text{D} = 7.19 \cdot \delta^{18}\text{O} + 0.71$, Figura 2A). La semejanza de esta línea meteorológica local con el estándar global (GMWL, por sus siglas en inglés; Figura 2A), nos indica que no existen dispersiones abruptas en el grupo de datos que indiquen procesos de alteración en las muestras. Esta característica valida el uso de la información como trazador de procesos en el ciclo hidrológico.

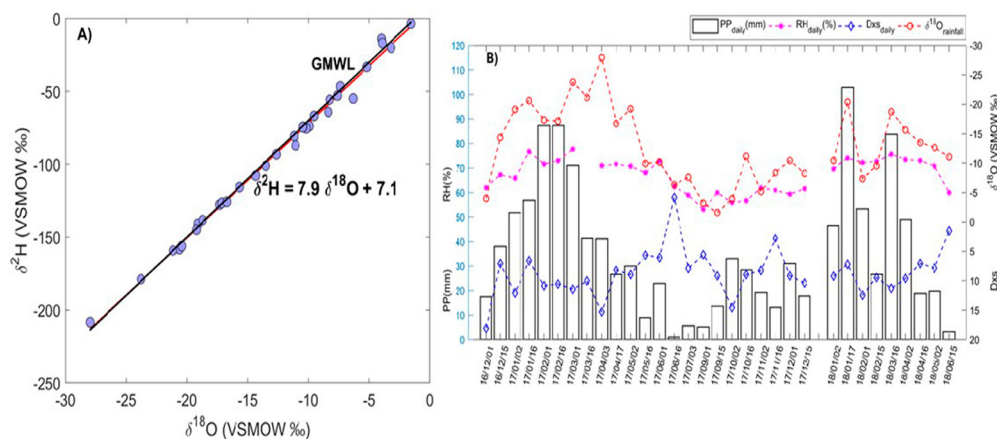


Figura 2. (A) Comparación entre la Línea Meteórica Global (GMWL) y la Línea Meteórica Local (LML). (B) Variaciones isotópicas (Dxs , $\delta^{18}\text{O}$) con los parámetros ambientales locales (precipitación y humedad relativa) para el periodo de muestreo Dic. 2016 – Jun. 2018.

Debido a que el 80 % de las precipitaciones anuales se dan en los meses de verano (Sulca et al., 2015) se evaluó para dichos meses las correlaciones lineales de Pearson. Se obtuvo que la señal isotópica ($\delta^{18}\text{O}$) presenta correlaciones negativas significativas al 95 % con la precipitación, humedad relativa y las variaciones de las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico ecuatorial oriental (región Niño 1 + 2) y central (región Niño 3.4).

A fin de evaluar la sensibilidad del parámetro dependiente ($\delta^{18}\text{O}$) con los parámetros ambientales locales (parámetros independientes), se realizó un modelo de regresión lineal múltiple, donde se pudo evaluar las contribuciones parciales de las variables en reproducir el parámetro dependiente. Finalmente, se obtuvo que la señal isotópica tiene mayor relación con la variable de precipitación y temperatura de la superficie del mar en la región Niño 3.4 con un valor de R^2 ajustado de 0.7 y $p\text{-value} < 0.001$.

Del análisis anterior, observamos que el fraccionamiento isotópico en las aguas de lluvia no dependen significativamente de los efectos producidos por los parámetros ambientales locales, por lo cual se infiere la influencia de fuentes de humedad remota. Para evaluar dicha premisa, se realizó el cálculo de retrotrayectorias de vientos, considerando días con lluvias (días cuando la precipitación es mayor a 0.05 mm) para los 3 dominios que se muestran en la Figura 3, los cuales fueron utilizados en las simulaciones del modelo WRF.

Para los 3 dominios analizados, la mayor contribución de humedad (74 %, 83 % y 88 %), en términos de trayectorias, proviene de las regiones localizadas al noreste y este de la cuenca del Mantaro, tal como se aprecia en la Figura 3A (Clúster 1 para D01 [C1-1]), Figura 3B (Clúster 1 y 2 para D02 [C2-1 y C2-2]) y Figura 3C (Clúster 1 y 4 para D03 [C3-1 y C3-4]). Las contribuciones de los vientos provenientes del sureste de la cuenca se observan en los dominios D01 y D02, otorgando entre el 17 % y 4 % de las trayectorias de humedad hacia la estación de análisis.

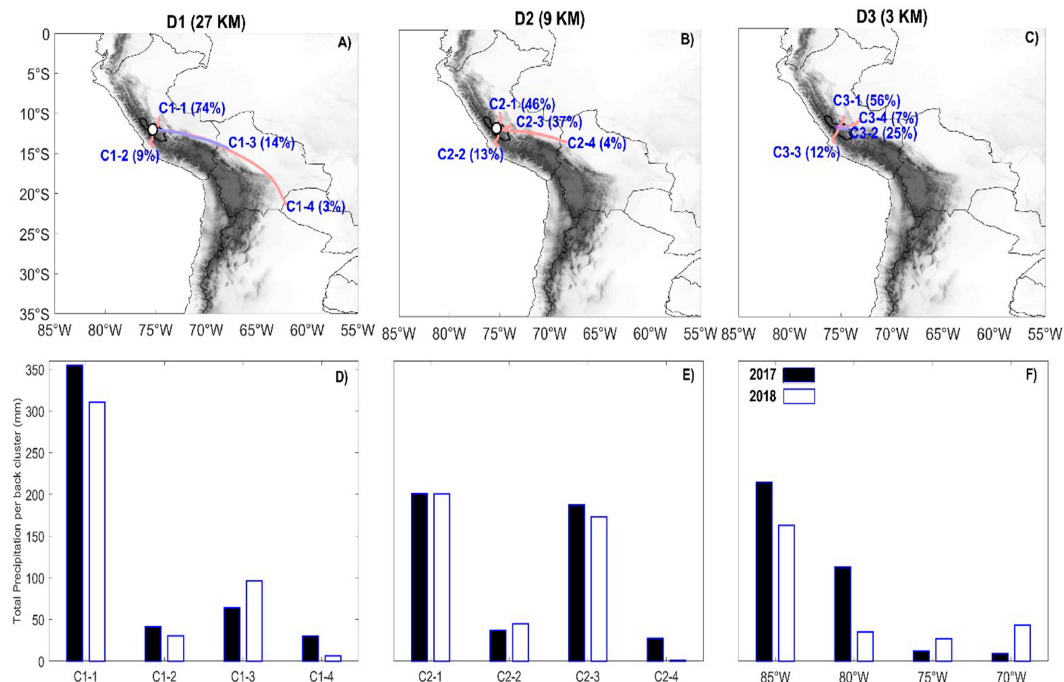


Figura 3. Frecuencias totales de los clústeres de retrotrayectorias de vientos para A) D01 (27 km), B) D02 (9 km) y C) D03 (3km), respectivamente para el periodo de estudio (2017 - 2018) calculados por el modelo HYSPLIT. (D, E y F) Precipitaciones acumuladas por cada clúster calculado. Barra azul, precipitaciones acumuladas para el año 2017. Barra blanca, cantidad de lluvias para el año 2018. Observatorio de Lamar (marcador blanco).

Por otro lado, en todos los dominios se observan trayectorias de vientos que provienen del suroeste de la cuenca del Mantaro, con frecuencias que representan entre el 9 y 13 %, del total de las trayectorias. El aporte de esta fuente de humedad contribuye en el rango del 7 % al 9 % de las precipitaciones del periodo de estudio (Figuras 3 D, E, F).

La contribución en términos de la cantidad de lluvia observada para los flujos del este y noreste, asociados a los 3 dominios, se encuentran en el rango de 71 % (D01), 87 % (D02) y 94 % (D03), y los flujos del sureste aportan con 21 % (D01), 3 % (D02) de las precipitaciones en el área de estudio.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

- Los resultados obtenidos muestran que las señales isotópicas en las aguas de lluvia ($\delta^{18}\text{O}$) durante el periodo de estudio (dic 2016 - jun 2018) guardan relación con las fuentes remotas de humedad. Los parámetros ambientales locales son insuficientes para explicar las variaciones de las señales isotópicas observadas en el periodo de análisis.
- En ese sentido, el análisis de retrotrayectorias indica que los principales aportes de humedad provienen del noreste y este de la Cuenca del río Mantaro, lo cual explica, en términos de precipitación, el 71 %, 87 % y 94 % de las precipitaciones en los 3 dominios analizados.
- Podemos decir en este sentido, en base a los resultados obtenidos, que durante el periodo de estudio el mayor ingreso de humedad en la cuenca del Mantaro tiene origen en la cuenca Amazónica y una mínima contribución del suroeste (7 a 9 % de las precipitaciones). Por lo que se puede inferir que no existe una contribución relevante de humedad proveniente del Océano Pacífico en las precipitaciones sobre la cuenca del río Mantaro.

REFERENCIAS

Ampuero, A., Stríkis, N. M., Apaéstegui, J., Vuille, M., Novello, V. F., Espinoza, J. C., ... Sifeddine, A. (2020). *The Forest Effects on the Isotopic Composition of Rainfall in the Northwestern Amazon Basin*. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (Vol. 125). <https://doi.org/10.1029/2019JD031445>

Apaéstegui, J., Cruz, F. W., Vuille, M., Fohlmeister, J., Espinoza, J. C., Sifeddine, A., ... Edwards, R. L. (2018). Precipitation changes over the eastern Bolivian Andes inferred from speleothem ($\delta^{18}\text{O}$) records for the last 1400 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 494, 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.04.048>

Draxler, R. R., & Hess, G. D. (1998). An Overview of the HYSPLIT_4 Modelling System for Trajectories, Dispersion, and Deposition. *Australian Meteorological Magazine*, 47(June 1997), 295–308.

IAEA. (1992). Statistical treatment of data on environmental isotopes in precipitation. *Int Atomic Energy Agency Tech Rep Ser*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Statistical+Treatment+of+Data+on+Environmental+Isotopes+in+Precipitation#0>

Martínez, A., Núñez, E., Silva, Y., Takahashi, K., Trasmonte, G., Mosquera, K., & Lagos, P. (2006). Vulnerability and Adaptation To Climate Change in the Peruvian Central Andes. *Assessment*, 297–305. Retrieved from http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2000_2007/MartinezBogota.pdf

Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., & Ngan, F. (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12), 2059–2077. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>

Vuille, M. (2003). Modeling $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation over the tropical Americas: 1. Interannual variability and climatic controls. *Journal of Geophysical Research*, 108(D6), 4174. <https://doi.org/10.1029/2001JD002038>