

ANÁLISIS HIDROLÓGICO ESPACIOTEMPORAL DE LA CUENCA AMAZÓNICA: ESTACIONALIDAD Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA

C. Tami¹, G. Corzo², G. Santos¹, G. Hernández¹, K. Sánchez¹, J. Gacharná¹, G. Herrán³, D. Gutiérrez³, y F. Rubiano³

¹Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia

²IHE – Delft Institute for Water Education, The Netherlands

³Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Colombia

carlos.tami@mail.escuelaing.edu.co, g.corzo@un-ihe.org, german.santos@escuelaing.edu.co,
guillermo.hernandez@mail.escuelaing.edu.co, karel.sanchez@mail.escuelaing.edu.co, juan.gacharna@escuelaing.edu.co,
gherran@acueducto.com.co, dgutierrezb@acueducto.com.co, frubiano@acueducto.com.co

Introducción

La cuenca del Río Amazonas, la mayor fuente de agua dulce del planeta (Marengo, 2006), es escenario de procesos hidrológicos complejos que ocurren a diferentes escalas, interactuando con sistemas locales, regionales y teniendo un rol determinante en el sistema climático global como agente regulador de agua y de carbono mediante sus bosques (Fassoni-Andrade et al., 2021). Si bien la Amazonía se ha caracterizado por miles de años en ser un sistema relativamente resiliente (Flores et al., 2024), en las últimas décadas la cuenca ha ido experimentando importantes cambios hidrológicos, muchos de los cuales aún no han sido explorados a detalle, siendo el cambio climático y la deforestación sus principales detonantes. El presente estudio tiene como propósito analizar 42 años de datos hidrológicos en la cuenca Amazónica a partir de tres enfoques: Estacionalidad, variabilidad climática e impactos por deforestación.

Este análisis se llevó a cabo para el periodo 1980 – 2022 a escala diaria, utilizando datos globales de ERA5 (Copernicus Climate Change Service, 2023). Adicionalmente, se emplearon mediciones in situ de la ANA (Agencia Nacional de Aguas de Brasil), así como información satelital de coberturas del suelo. Con el propósito de obtener datos de escorrentía y evapotranspiración real distribuidos sobre la superficie de la cuenca a partir de mediciones hechas por estaciones en tierra, se utilizó el modelo hidrológico HAPI (Farrag et al., 2021) calibrado y validado para la Amazonía. Por lo tanto, tres escalas espaciales son evaluadas: 1) celdas de 0.25 x 0.25°; 2) nivel 6 de HydroSHEDS (Lehner et al., 2008); 3) las 8 grandes subcuencas del Amazonas.

A partir de estos datos, se identificaron patrones estacionales para cada uno de los parámetros hidrológicos, evaluando rangos, distribución espacial, e influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Posteriormente, se identificaron las variaciones interanuales de estos parámetros, resaltando anomalías, eventos transitorios, Niño/Niña y tendencias, así como el análisis de impactos generados por deforestación.

En general, se encontró que la ZCIT es el activador de la dinámica estacional de la Amazonía, transportando humedad a diferentes latitudes en su ciclo de desplazamiento anual. Esta investigación

contribuye a una comprensión más profunda de la dinámica hidrológica de la cuenca Amazónica en el contexto de fluctuaciones climáticas y cambios ambientales.

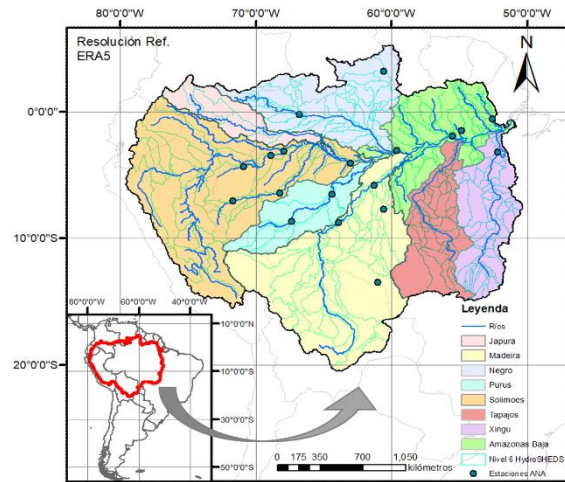


Figura 1. Subcuencas del Río Amazonas, escalas espaciales y estaciones ANA.

Metodología

Inicialmente, se realizó la delimitación espacial y caracterización morfológica de la cuenca Amazónica con ayuda de Herramientas SIG. Los datos de elevación del terreno, delimitación de corrientes y subcuencas de drenaje se obtuvieron de la plataforma HydroSHEDS. Para este estudio, se proponen tres escalas de delimitación: 1) superficie de la cuenca convertida en malla con 12272 celdas de 0.25 x 0.25° (≈ 28 x 28 km); 2) superficie desagregada a nivel 6 de HydroSHEDS (442 subcuencas); 3) superficie desagregada para las subcuencas de los 8 afluentes principales.

Teniendo en cuenta la delimitación espacial y el periodo de análisis 1980 – 2022 (escala diaria), se obtuvieron datos globales de precipitación, evapotranspiración y temperatura de la plataforma ERA5 Single levels. Cada parámetro fue procesado en código Python para obtener 15707 archivos rasters de 0.25 x 0.25° de resolución de toda la cuenca (1 raster diario, para todo el periodo de análisis). Adicionalmente, se descargaron caudales diarios de estaciones hidrométricas de la ANA y se obtuvieron datos de usos del suelo de toda la cuenca a partir de la plataforma MODIS a una resolución de 0.25 x 0.25° (ORNL DAAC, 2018).

Con el fin de generar datos distribuidos de escorrentía y evapotranspiración real sobre la superficie de la cuenca a partir de datos registrados en tierra, se utilizó el modelo hidrológico distribuido HAPI (Farrag et al., 2021). El cual, es un modelo conceptual desarrollado en lenguaje Python basado en las ecuaciones HBV-96, que permite incorporar cambios de usos del suelo y variables hidrológicas distribuidas en formato raster. El modelo fue calibrado y validado para la cuenca Amazónica bajo un enfoque de optimización multiobjetivo en donde los valores objetivo son los caudales y evapotranspiraciones de las estaciones. Como resultado HAPI, genera archivos raster diarios de 0.25 x 0.25° de resolución para escorrentía superficial, subsuperficial y evapotranspiración real (entre otros).

Todos los parámetros hidrológicos obtenidos son analizados estadísticamente en Python, de donde se obtienen los valores medios mensuales de toda la serie de tiempo para cada celda (escala 1) y de allí son desagregados para la escala 2 y 3. De esta forma se categorizan por rangos y se obtienen rasters de distribuciones espaciales de cada parámetro sobre la cuenca Amazónica (Estacionalidad). Estos rasters son comparados con los rasters mensuales de desplazamiento de la ZCIT, analizando la correlación entre la franja de trayectoria de la ZCIT y los valores de cada parámetro. De igual forma, se identificaron las variaciones interanuales de estos parámetros, resaltando anomalías, eventos transitorios, Niño/Niña y tendencias. Finalmente, utilizando HAPI, se simuló un escenario sin deforestación (conservando las condiciones iniciales del periodo de análisis) y se comparó con el escenario real (con deforestación).

Resultados

A partir del análisis espacio temporal descrito (modelo distribuido para el periodo de análisis 1980 - 2022) se valida que la ZCIT es el activador de la dinámica estacional del Amazonas transportando humedad a diferentes latitudes en su ciclo de desplazamiento anual. Se identificó una diferencia de 4 meses entre los picos de humedad de la zona norte (mayo-junio) y sur (diciembre-enero) de la cuenca, siendo la zona nor-oeste (Amazonía Colombiana), la más húmeda con un rendimiento hídrico un 85% mayor respecto la zona sur-este (Xingu, Tapajos en Brasil) que es la más seca de la cuenca. Así mismo, se encontró una tendencia negativa en el régimen de escorrentías de la cuenca (0.04% anual), y un aumento en temperatura de 0.6°C durante el periodo de análisis. Finalmente, se identificó que el sur-este de la cuenca, que es la zona más afectada por deforestación presenta una disminución de hasta un 24% en su escorrentía media para el periodo de análisis.

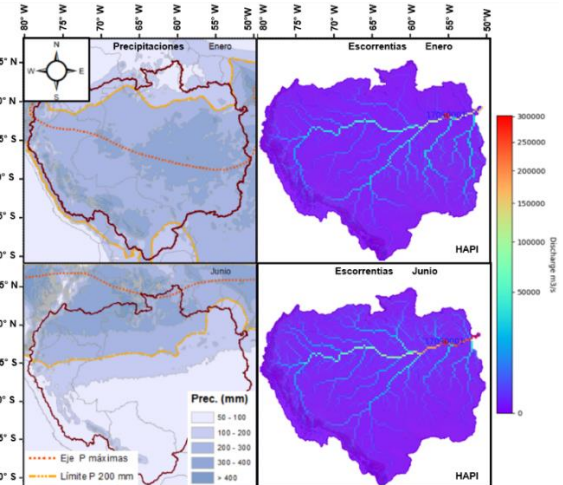


Figura 2. Precipitaciones (izq) y Escorrentías (der) medias de la Cuenca Amazonía para los meses de enero y julio

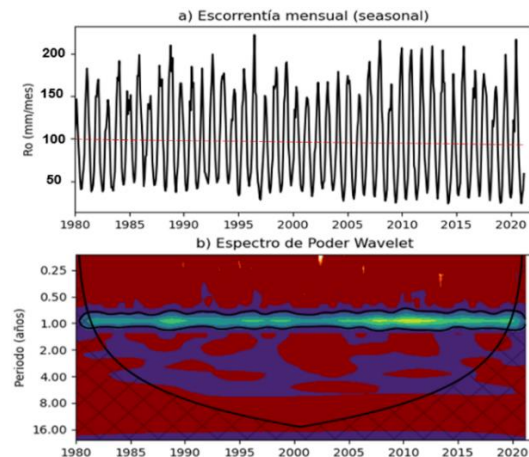


Figura 3. Variación interanual de escorrentía en la cuenca Amazónica (a). Espectro Wavelet de estacionalidad (b).

Agradecimientos

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB como parte del contrato de consultoría No. 2-02-26200-1571-2022.

Referencias

- Copernicus Climate Change Service. (2023). ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).
- Farrag, M., Corzo Pérez, G., & Solomatine, D. (2021). Spatio Temporal Hydrological Model Structure. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9, 467.
- Fassoni-Andrade, A., Fleischmann, A., Papa, F., Paiva, R., Wongchuig, S., & Melack, J. (2021). Amazon Hydrology From Space: Scientific Advances and Future Challenges. *Reviews of Geophysics*, 59.
- Flores, B., Montoya, E., & Sakschewski, B. (2024). Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature*, 626.
- Lehner, B., Verdin, K., & Jarvis, A. (2008). New global hydrography derived from spaceborne elevation data. *Eos, Transactions*, 89(10): 93-94.
- Marengo, J. (2006). On the Hydrological cycle of the Amazon Basin: A Historical Review and Current State-Of-Art. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3, 1-19.
- ORNL DAAC. (2018). MODIS and VIIRS Land Products Global Subsetting and Visualization Tool.