

ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE DE AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO AMAZONAS

Alejandro Builes-Jaramillo¹ y Germán Poveda²

¹Facultad de Arquitectura e Ingeniería. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Colombia.

²Departamento de Geociencias y Medio Ambiente. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

E-mail: luis.builes@colmayor.edu.co, gpoveda@unal.edu.co

Introducción

La importancia hidro-climatológica de la cuenca del río Amazonas a escala global y continental no puede ser despreciada, dado que su tamaño de alrededor de $7.0 \times 10^6 \text{ km}^2$ y su entorno tropical, en conjunto, contribuyen a explicar su descarga anual media de más de $200,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Nobre & Borma, 2009; Swann, Longo, Knox, Lee, & Moorcroft, 2015). La cuenca desempeña un papel hidroclimatológico fundamental en el clima de la Tierra y exhibe varias características de estabilidad que dependen de su conservación (Hirota, Holmgren, Van Nes, & Scheffer, 2011). Comprender la dinámica del ciclo hidrológico de la cuenca del río Amazonas ha sido el foco de muchos estudios previos, algunos interesados su la totalidad (Costa & Foley, 1997; Getirana et al., 2014; Marengo, 2004), y otros en variables particulares del balance de agua, como la precipitación en temporadas particulares, la escorrentía y la evapotranspiración (Azarderakhsh, Rossow, Papa, Norouzi, & Khanbilvardi, 2011; Liebmann & Marengo, 2001; Mallick et al., 2016)

En general, estos estudios han abordado el equilibrio hídrico con información registrada de la descarga en la estación de Óbidos, encontrándose en algunos, cierres perfectos de la ecuación del ciclo hidrológico con residuos cercanos o iguales a 0. Sin embargo, tales resultados de cierre perfecto no pueden considerarse como provenientes de variables independientes y están influenciados por las metodologías empleadas para el cálculo, ya que al estimar la evapotranspiración se utilizan los mismos datos de precipitación de entrada empleados en el balance. El desequilibrio del balance de agua superficial hallado en la cuenca del río Amazonas se ha explicado previamente como resultado de la subestimación de los flujos biológicos en la cuenca, que a su vez puede afectar la estimación de la evapotranspiración (Drumond et al., 2014)

En este estudio se hace una actualización de la estimación del balance de agua superficial en la cuenca del Río Amazonas empleando cinco bases de datos de evapotranspiración disponibles en la actualidad.

Metodología e información

El balance hídrico superficial (BHS) se puede expresar por medio de la siguiente ecuación que representa la conservación de la masa sobre el volumen de control definido por la cuenca:

$$\frac{\partial S(t)}{\partial t} = P(t) - E(t) - R(t) \quad [1]$$

Donde S representa el almacenamiento de agua en el suelo [L], P es la tasa de precipitación [LT^{-1}], E es la tasa de evapotranspiración [LT^{-1}] y R es la tasa de escorrentía [LT^{-1}]. El cambio en el término de almacenamiento en el tiempo representado por $\partial S/\partial t$ puede considerarse como despreciable en el largo plazo (Peixoto & Oort, 1993; Poveda et al., 2007), de modo que para $t \rightarrow \infty$, la ecuación [1] se convierte en:

$$\langle R \rangle = \langle P \rangle - \langle E \rangle \quad [2]$$

Donde el símbolo $\langle \rangle$ denota la media a largo plazo ($t > 20$ años) de la variable respectiva.

La información de evapotranspiración se obtuvo a partir de cinco fuentes diferentes: (1) Modelo de superficie terrestre ORCHIDEE (Krinner et al., 2005) que proporciona estimaciones de la evaporación total basada en series del modelo hidrológico SECHIBA acoplado al modelo de carbono STOMATE, los datos tienen una resolución espacial de $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ y una resolución de tiempo mensual de 1970 a 2008; (2) Evapotranspiración producida por el Max Plank Institute (MPI) con base en redes de monitoreo, observaciones meteorológicas y teledetección, con una resolución espacial de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ y una resolución de tiempo mensual de 1982 a 2008 (Jung et al., 2010); (3) *The Global Land Evaporation Amsterdam Model* (GLEAM), que utiliza información satelital de diferentes índices de vegetación y estima valores de evaporación total a una resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ y temporal mensual de 1984 a 2007 (Miralles et al., 2011); (4) El producto MOD16A (MODIS) incluye estimaciones de la evapotranspiración basadas en la temperatura y los índices de vegetación detectados por el satélite, a una resolución espacial de $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ cada 8 días, agregados aquí a $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ a una resolución de tiempo mensuales de 2000 hasta 2010 (Nadzri & Hashim, 2014); (5) datos de evaporación total del reanálisis ERA-Interim (ERA) con una resolución espacial de $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ y una resolución de tiempo mensual de 1979 a 2014 (Dee et al., 2011).

Los datos de precipitación mensual P se obtuvieron del *Global Precipitation Climatology Center* (GPCC- gpcp.dwd.de), con una resolución espacial de $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ (Schneider et al., 2014) para el período de 1901 a 2010, y del reanálisis ERA-Interim con una resolución espacial de $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ de 1979 a 2014. La escorrentía mensual del río para el período de 1982 a 2008 se obtuvo del *SO-HYBAM Observation Service* (anteriormente el Observatorio de Investigación Ambiental ORE-HYBAM), disponible en <http://www.ore-hybam.org/>. La descarga del río (D) se transformó en escorrentía (R) considerando que $R = D/A$, siendo A el área de drenaje. R también se obtuvo del reanálisis Era-Interim a una resolución espacial de $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ y resolución mensual para el período de 1979 a 2014. Se promediaron los valores de P y E para toda la cuenca y se llevaron todas las fuentes de información a la escala espacial de $1.0^\circ \times 1.0^\circ$. El residual o indicador de cierre en la ecuación de balance hídrico se estima como $P-E-R$ y se compara entre las diferentes combinaciones de información. Se definieron dos tipos de conjuntos de datos para estimar los balances hídricos, uno que comprende principalmente observaciones o modelos de superficie, y el otro obtenido a partir de productos de reanálisis.

Resultados

Usando diferentes combinaciones de P , E y R , es posible identificar residuos positivos y negativos de diversas magnitudes. De acuerdo con la Tabla 1, el BHS con el mejor cierre (11 mm año^{-1} , 0.5% de P) es el calculado con datos de precipitación de GPCC, GLEAM para evapotranspiración e HYBAM para la escorrentía. Comparado con los resultados de estudios anteriores (Marengo, 2004 – 25% de P y Carmona, 2015 – 4% de P) encontramos un mejor cierre de la ecuación de balance hídrico.

El uso de observaciones produjo residuos positivos y negativos

que van desde 197 mm año⁻¹ a -30 mm año⁻¹, mientras que el conjunto de datos de reanálisis proporcionó un residuo negativo de -51 mm año⁻¹ (Tabla 1). El residual estimado con el promedio de los valores encontrados de *P*, *E* y *R* es de 41 mm año⁻¹ para toda la cuenca.

Tabla 1.- Variables del ciclo hidrológico y residuales para las diferentes combinaciones de información.

	P [mm año ⁻¹]	E [mm año ⁻¹]	R [mm año ⁻¹]	Residual [mm año ⁻¹]
GPCC-ORCHIDEE-HYBAM (1979-2008)	2225	1062	965	197
GPCC-MPI-HYBAM (1982-2008)	2225	1181	965	78
GPCC-GLEAM-HYBAM (1984-2007)	2225	1248	965	11
GPCC-MODIS-HYBAM (2000-2008)	2225	1289	965	-30
Era-Interim (1979-2012)	2190	1301	939	-51
Mean value	2218	1216	960	41

La Figura 5 muestra un resumen de todas las variables involucradas en BHS para los datos observacionales y de reanálisis. Los resultados muestran que la precipitación es la variable que domina de la dinámica del balance, y que los datos de observaciones producen valores más altos de *P* y *R* que los calculados mediante reanálisis.

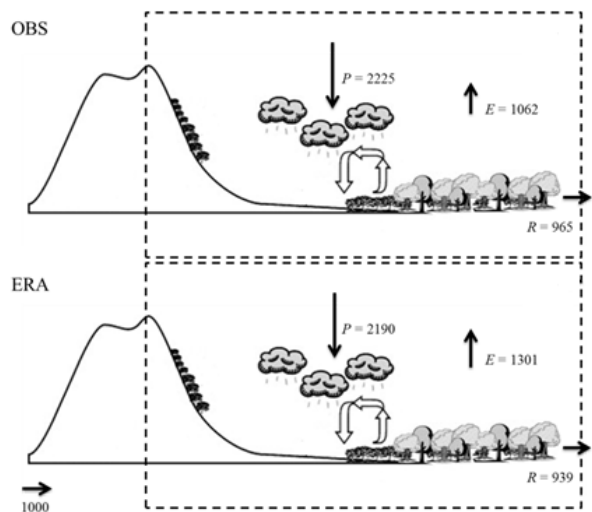


Figura 1.- Componentes de BHS para toda la cuenca del río Amazonas basada en la observación (*P* de GPCC, *E* de ORCHIDEE, *R* de HYBAM) (arriba) y datos del reanálisis ERA-Interim (abajo). Los valores están en unidades de mm y⁻¹. La convención de flechas en la parte inferior izquierda representa 1000 mm y⁻¹.

Conclusiones

Se desarrolló una actualización de la estimación del balance hídrico superficial en la cuenca del río Amazonas para cinco fuentes diferentes de evapotranspiración. Nuestros resultados confirman que la cuenca del río Amazonas puede considerarse en equilibrio en términos del BHS, si se asume que un criterio de cierre de $\pm 10\%$ *P* es aceptable para considerar equilibrio en el largo plazo. Sin embargo, queda una pregunta importante sobre la validez del cierre del balance hídrico a lo largo de las diferentes subcuencas principales de dentro de la gran cuenca del río Amazonas.

Referencias bibliográficas

- Azarderakhsh, M., Rossow, W. B., Papa, F., Norouzi, H., & Khanbilvardi, R. (2011). "Diagnosing water variations within the Amazon basin using satellite data". *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116(24), 1–18.
- Costa, M. H., & Foley, J. a. (1997). "Water balance of the Amazon Basin: Dependence on vegetation cover and canopy conductance". *Journal of Geophysical Research*, 102(D20), 23973.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, a. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., ... Vitart, F. (2011). "The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553–597.
- Drumond, A., Marengo, J., Ambrizzi, T., Nieto, R., Moreira, L., & Gimeno, L. (2014). "The role of the Amazon Basin moisture in the atmospheric branch of the hydrological cycle: a Lagrangian analysis". *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(7), 2577–2598.
- Getirana, A. C. V., Dutra, E., Guimberteau, M., Kam, J., Li, H.-Y., Decharme, B., ... Sheffield, J. (2014). "Water balance in the Amazon basin from a land surface model ensemble". *Journal of Hydrometeorology*, 15(6), 2586–2614.
- Hirota, M., Holmgren, M., Van Nes, E. H., & Scheffer, M. (2011). "Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions". *Science*, 334(6053), 232–5.
- Jung, M., Reichstein, M., Ciais, P., Seneviratne, S. I., Sheffield, J., Goulden, M. L., ... Zhang, K. (2010). "Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply". *Nature*, 467(7318), 951–954.
- Krinner, G., Viovy, N., de Noblet-Ducoudré, N., Ogée, J., Polcher, J., Friedlingstein, P., ... Prentice, I. C. (2005). "A dynamic global vegetation model for studies of the coupled atmosphere-biosphere system". *Global Biogeochemical Cycles*, 19(1), 33.
- Liebmann, B., & Marengo, J. a. (2001). Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*, 14(22), 4308–4318.
- Mallick, K., Trebs, I., Boegh, E., Giustarini, L., Schlerf, M., Drewry, D., ... Wofsy, S. (2016). Canopy-scale biophysical controls of transpiration and evaporation in the Amazon Basin. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (January), 1–50.
- Marengo, J. a. (2004). Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River Basin Water Budget. *Climate Dynamics*, 24(1), 11–22. doi:10.1007/s00382-004-0461-6
- Miralles, D. G., Holmes, T. R. H., Jeu, R. A. M. De, Gash, J. H., Meesters, A. G. C. A., & Dolman, A. J. (2011). Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(2), 453–469.
- Nadzri, M., & Hashim, M. (2014). Validation of MODIS Data for localized spatio-temporal evapotranspiration mapping. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 18.
- Nobre, C. A., & Borma, L. D. S. (2009). "Tipping points" for the Amazon forest. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 28–36.
- Peixoto, J., & Oort, A. (1993). *Physics of Climate*. (Springer-Verlag, Ed.).
- Poveda, G., Vélez, J. I., Mesa, O., Cuartas, A., Barco, J., Mantilla, R., ... Quevedo, D. I. (2007). Linking Long-Term Water Balances and Statistical Scaling to Estimate River Flows along the Drainage Network of Colombia. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(1), 4–13.
- Schneider, U., Becker, A., Finger, P., Meyer-Christoffer, A., Ziese, M., & Rudolf, B. (2014). GPCC's new land surface precipitation climatology based on quality-controlled in situ data and its role in quantifying the global water cycle. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1-2), 15–40.
- Swann, A. L. S., Longo, M., Knox, R. G., Lee, E., & Moorcroft, P. R. (2015). Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214–215, 12–24.