



## Caracterización del rol del Páramo Andino en la regulación del recurso hídrico en la Cuenca Ronquillo

Jhon Dany Orrillo\*,<sup>1,2</sup>, Sergio B. Morera<sup>1,3</sup>, Diana Díaz<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

<sup>3</sup>Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

### RESUMEN

Cada año en la región montañosa del norte del Perú, durante la estación seca, la disponibilidad de recursos hídricos depende en gran medida de los ecosistemas andinos. La cuenca del río Ronquillo (42 km<sup>2</sup>, 3508 msnm y 7.1 ° S y 78.5 ° W) es de gran relevancia para esta región, ya que proporciona el 30% de agua potable a la ciudad de Cajamarca, la misma que es la ciudad andina más poblada de Perú, que también muestra un alto crecimiento de la población. La abundancia de recursos hídricos en la cuenca del río Ronquillo se concentra en las subcuencas de Sexemayo y Majadapampa, ambas tienen un predominio de suelos Andosol, que favorecen el desarrollo del ecosistema Páramo. Ecosistemas que almacenan y regulan la descarga de agua en la cuenca, disminuyendo el tiempo de concentración durante los eventos de precipitación extrema y proporcionando una buena calidad del agua durante la estación seca.

Esta investigación caracteriza el almacenamiento de agua en los ecosistemas de Páramo, utilizando el Índice de flujo base (BFI) y, basado en la descarga diaria de agua (2008-2017), se separó el flujo base y la escorrentía directa. El BFI se estimó mediante la aplicación de 8 fórmulas empíricas, agrupadas en dos métodos: (i) método de filtros digitales (Lyne y Hollick, One Parameter y Eckhardt), y (ii) métodos gráficos (UKIH, PART, Hysep mínimos locales, Hysep intervalo fijo e Hy-

sep intervalo deslizante). Luego, si es posible, las estimaciones del flujo base se calibraron usando la conductividad eléctrica del agua como trazador químico. Sin embargo, debido a las limitaciones de las fórmulas empíricas, se obtuvieron tres tipos de series: series calibradas, no calibradas y observadas. Los BFI estimados son 0.72, 0.68 y 0.50 en las cuencas Sexemayo (4.7 km<sup>2</sup>), Majadapampa (6.8 km<sup>2</sup>) y Ronquillo, respectivamente. Si bien, las áreas de Páramos son similares (4.5 y 4.4 km<sup>2</sup>) en las dos primeras cuencas, su almacenamiento es diferenciado. Los datos de las estaciones hidrometeorológicas, procesamiento de imágenes satelitales, pruebas de tomografía eléctrica, sensores de humedad del suelo y monitoreo geoquímico señalan que la presencia de la falla geológica en la subcuenca Sexemayo puede generar la pérdida directa de agua almacenada para la recarga del acuífero.

**PALABRAS CLAVES:** Páramo, Caudal base, Índice de flujo base, Filtros digitales.

### ABSTRACT

Each year in the mountainous region of northern Peru, during the dry season, the water resources availability is highly depended on the Andean ecosystems. The Ronquillo watershed (42 km<sup>2</sup>, 3508 m a.s.l. and 7.1 °S and 78.5 °W) is of great relevance for this region, since it provides 30% of drinking water to the city of Cajamarca, Peru's

most populated Andean city, which also shows a high population growth. The water resource abundance in the Ronquillo watershed is concentrated in the Sexemayo and Majadapampa subcatchments, both have a predominance of Andosol soils, which favor the development of the Páramo ecosystem. Ecosystems that store and regulate the water discharge in the catchment, decreasing the water concentration time during extreme precipitation events, and providing good water quality during the dry season.

This research characterizes the water storage in the Páramo ecosystems, using the Base Flow Index (BFI), and based on daily water discharge (2008-2017), the baseflow and the direct runoff were filtered. The BFI was estimated through the application of 8 empirical formulas, grouped into two methods: (i) digital filter method (Lyne and Hollick, One Parameter and Eckhardt), and (ii) graphical method (UKIH, PART, Hysep local minimum, Hysep sliding-interval and Hysep fixed-interval). Then, if it is possible baseflow estimations were calibrated using the electrical conductivity in water as chemical tracer. However, due to the limitations of the empirical formulas three kinds of series were obtained: calibrated,

no-calibrated and observed series. The estimated BFI are 0.72, 0.68 and 0.50 at the Sexemayo (4.7 km<sup>2</sup>), Majadapampa (6.8 km<sup>2</sup>) and Ronquillo catchments, respectively. Although, the Páramos areas are similar (4.5 and 4.4 km<sup>2</sup>) in the first two catchments, its storage is differentiated. Data from the hydro-meteorological stations, satellite image processing, electrical tomography tests, soil moisture sensors, and geochemical monitoring point out that the presence of the Geological Fault in the Sexemayo subcatchment may generate the direct loss of stored water to the recharge of the aquifer.

**KEYWORDS:** Páramo, Base flow, Base flow index, Digital filters.

## DESARROLLO DEL RESUMEN

### Área de estudio

La cuenca Ronquillo se encuentra al norte de Perú en el departamento de Cajamarca, pertenece a la cuenca del Atlántico, tiene un área de 42 km<sup>2</sup> y una altitud promedio de 3508m.s.n.m. Para la presente investigación se considera como punto emisor la captación Ronquillo. Se trabajó con caudales de tres estaciones hidrométricas (Figura 1).

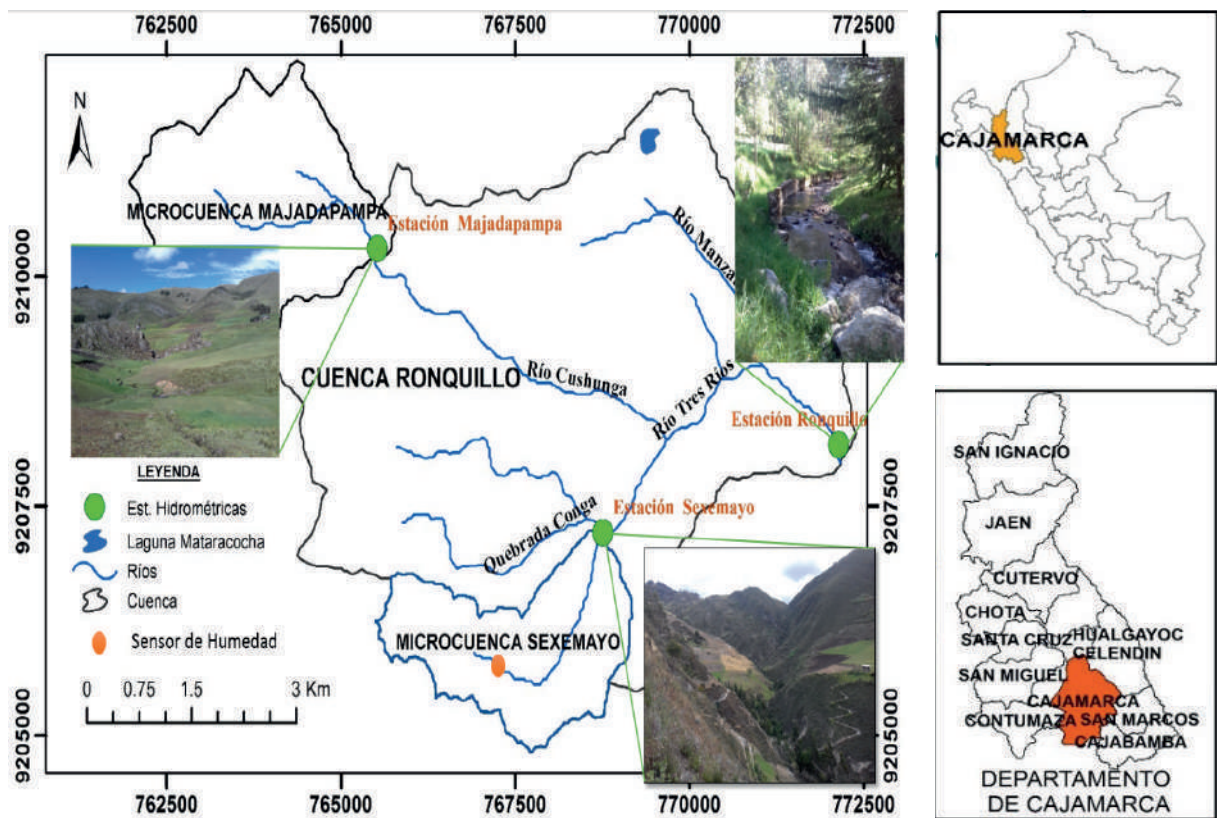


Figura 1. Ubicación de la cuenca Ronquillo.

## Separación del caudal base

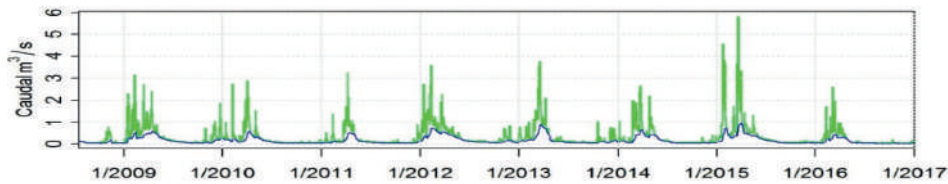


Figura 2. Resultados obtenidos para la cuenca Ronquillo con el método de Eckhardt. La línea de color verde es representa el caudal total y la línea de color azul el caudal base.

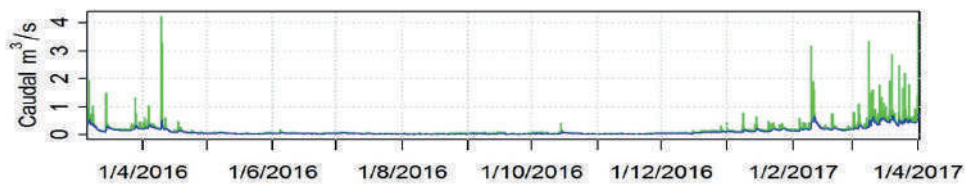


Figura 3. Resultados obtenidos para la microcuenca Sexemayo con el método de Eckhardt. La línea de color verde es representa el caudal total y la línea de color azul el color base.

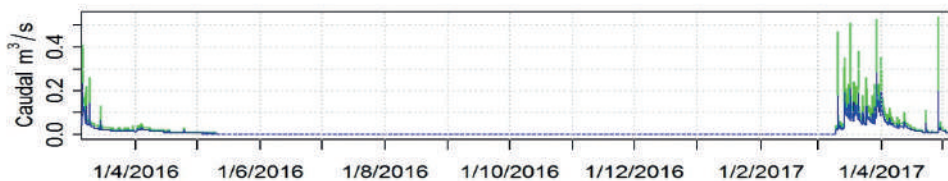


Figura 4. Resultados obtenidos para la microcuenca Majadapampa con el método de Eckhardt. La línea de color verde es representa el caudal total y la línea de color azul el caudal base.

## CONCLUSIONES

- La cuenca Ronquillo, microcuenca Sexemayo y microcuenca Majadapampa presentan áreas de 41.7km<sup>2</sup>, 4.7km<sup>2</sup> y 6.8km<sup>2</sup> respectivamente y pendientes de cuenca de 28%, 30% y 24% respectivamente. Por su pendiente de cuenca se clasifican como cuencas con un relieve accidentado.
- Dentro de los dos grupos de métodos utilizados, para la separación del caudal base, se tiene: (i) los métodos de filtros digitales, donde se utilizaron el método de: Eckhardt, métodos de un parámetro y el método de Lyne y Hollick, de estos el método de Eckhardt se adapta mejor al área en estudio. Por su parte (ii) los métodos gráficos que se basan en identificar valores mínimos del hidrograma en un intervalo dado de tiempo (N), sobrestiman el caudal base para nuestra zona de estudio.
- La cuenca Ronquillo presenta un BFI de 0.50, esto es producto de su variada geología y por presentar un variado grupo de tipos de suelos que van desde los de tipo Andosol, con características buenas para la retención de agua, hasta suelos Leptosol con escasa capacidad de retención de humedad. La microcuenca Sexemayo presenta un BFI igual a 0.72, esto es debido a sus grandes depósitos de suelo Andosol los cuales actuarían como reguladores durante eventos de precipitación. Por su parte la microcuenca Majadapampa presenta un BFI de 0.68, lo cual se debería a la predominancia de depósitos de suelo Andosol, Páramo Andosol y Paramosol.

- En el suelo Andosol que se monitoreó su humedad, se encontró que solo a nivel superficial (sobre 25 centímetros) se llega a secar el suelo Andosol por aproximadamente un mes (Setiembre), y bajo los 75 centímetros se mantiene con alta humedad durante todo el año. Al relacionar el BFI con la humedad se encontró que a mayo contenido de humedad se tendrá mayor valor de BFI.
- Se concluye que una cuenca páramo presenta un BFI alto, esto significa que más de un 60% del volumen de agua se almacena en la geología, pero principalmente en los grandes depósitos de suelos Andosol que a profundidades mayores de 75 cm presenta un alto contenido de humedad, con valores de 25 centímetros.

## REFERENCIAS

- Chapman, T. (1999). A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. *Hydrological Processes*, 13(5), 701-714.
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, 19(2), 507-515. doi: 10.1002/hyp.5675
- Eckhardt, K. (2008). A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *Journal of Hydrology*, 352(1-2), 168-173. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.01.005
- Furey, P. R., & Gupta, V. K. (2001). A physically based filter for separating base flow from streamflow time series. *Water Resources Research*, 37(11), 2709-2722.
- Krois, J. (2016). Soil and Water Conservation in the Northern Andes of Peru. Freie Universität Berlin.
- Krois, J., Abendroth, S., Schulte, A., & Schneider, M. (2013). Dry season runoff and natural water storage capacity in the high Andean catchment of the river Ronquillo in the Northern Sierra of Peru. *Journal of Latin American Geography*, 12(3), 59-89.
- Luteyn, J. L., Churchill, S. P., Griffin Iii, D., Gradstein, S. R., Sipman, H. J. M., & Gavilanes, A. (1999). A checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature. *New York Bot Gard*, 84, 1-278.
- Lyne, V., & Hollick, M. (1979). Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. Paper presented at the Institute of Engineers Australia National Conference.
- Llambí, L. D., Werschitz, S., Alejandra, I., Célleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. Ecología, hidrología y suelos del páramo.
- Nathan, R., & McMahon, T. (1990). Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resources Research*, 26(7), 1465-1473.
- Rouhani, H., & Malekian, A. (2013). Automated methods for estimating baseflow from streamflow records in a semi arid watershed. *Desert*, 17(2), 203-209.
- Rutledge, A. (1998). Computer programs for describing the recession of ground-water discharge and for estimating mean ground-water recharge and discharge from streamflow records: Update.
- Sloto, R. A., & Crouse, M. Y. (1996). HYSEP, a computer program for streamflow hydrograph separation and analysis: US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Stewart, M., Cimino, J., & Ross, M. (2007). Calibration of base flow separation methods with streamflow conductivity. *Ground water*, 45(1), 17.
- Tallaksen, L. M., & Van Lanen, H. A. J. (2004). Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater (Vol. 48 %@ 0444517677): Elsevier.
- Vásconez, P. M., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.