

# CALIBRACIÓN DEL MODELO LLUVIA ESCORRENTÍA GRJ4 Y LA INCERTIDUMBRE EN LA TRANSFERENCIA DE PARÁMETROS A CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON INFORMACIÓN ESCAZA. CASO DE ESTUDIO PROGRAMA INTEGRAL DEL AGUA PIRAGUA

Alex Estupiñan y Rubén Montoya

Universidad de Medellín, Colombia.  
E-mail: aestupinan@udem.edu.co, rmontoya@udem.edu.co

## Introducción

Los modelos lluvia escorrentía agregados son de gran utilidad para la simulación y predicción de los caudales. Mediante estos modelos es posible conceptualizar los procesos físicos que ocurren en una cuenca y su interacción de forma simplificada.

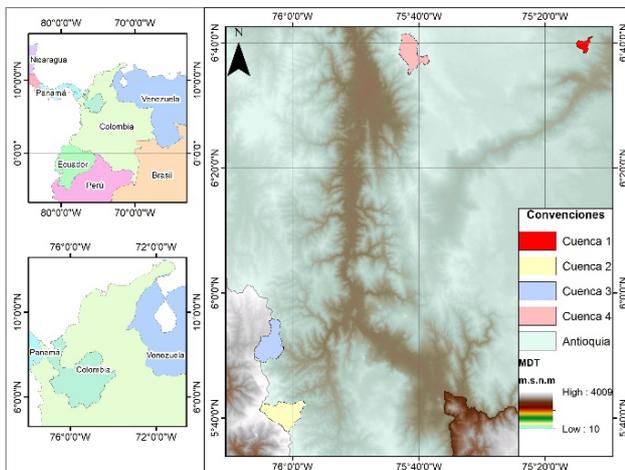
Los modelos hidrológicos parsimoniosos son ampliamente utilizados en Colombia se pueden consultar los trabajos realizados por: Ocampo & Vélez (2013), Carvajal & Roldán, (2007). El principal motivo de utilizar este tipo de modelos es obtener las mejores simulaciones con pocos parámetros, con ello la incertidumbre en el proceso de calibración disminuye debido al número de parámetros involucrados.

A partir de los modelos calibrados es posible simular series históricas o predicciones tomando como insumo la precipitación en la cuenca hidrográfica y los parámetros calibrados. Es decir, generar series en zonas con poca o nula información hidrológica. Sin embargo, este proceso denominado transferencia de parámetros tiene asociado un alto grado de incertidumbre, por lo cual es necesario estudiar a fondo la morfología de la cuenca y la climatología para disminuir la incertidumbre de las series simuladas.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

Se estudiaron 4 cuencas hidrográficas instrumentadas localizadas en el departamento de Antioquia, Colombia (76.177°-75.155° E, 6.710°-5.565° N). Las cuencas tienen un área de drenaje de 1220 km<sup>2</sup>. En la zona de estudio se presenta una gran variabilidad de la lluvia debido a la localización tropical y a las condiciones orográficas. En la Figura 1 se muestra la localización del área de estudio y en la Tabla 1 se presentan algunas características de las cuencas de estudio



**Figura 1.-** Localización de la región de estudio.  
a) Macro localización. b) Localización en Colombia.  
c) Localización de las cuencas de estudio.

**Tabla 1.-** Características de las cuencas de estudio.

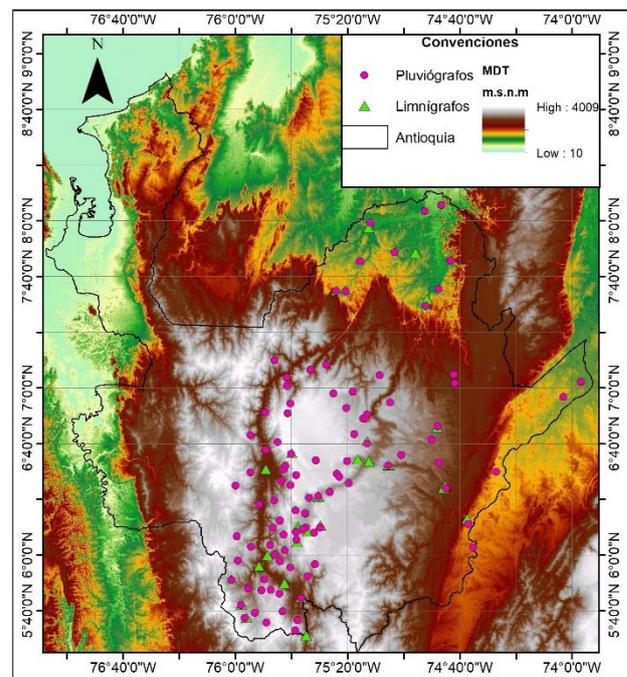
Cuenca	Rio	Area [km <sup>2</sup> ]	Precipitación Media anual [mm/año]
Cuenca 1	Q. Hojas Anchas	10.372	3223.993
Cuenca 2	Rio Taparto	67.623	3212.661
Cuenca 3	Rio Bolivar	62.554	2769.838
Cuenca 4	Rio Chico	52.031	1879.626

## Información utilizada

Datos de precipitación y caudal del programa Piragua

El programa integral del agua Piragua es un programa de gestión socioambiental, que desde el año 2011 crea con las comunidades una cultura de la información a través de redes sociales de monitoreo; promueve y desarrolla sistemas de información del agua, construidos, implementados y operados por las comunidades de los 80 municipios de la jurisdicción de la corporación autónoma regional de Antioquia (Corantioquia).

La red hidroclimática automática de piragua está conformada por 97 estaciones pluviográficas y 31 estaciones limnigráficas la distribución espacial de la información se presenta en la Figura 2.



**Figura 2.-** Localización de la red automática del programa Piragua y precipitación media multianual de la base de datos CHIRPS en el departamento de Antioquia

## Metodología

Perrin, Michel, & Andréassian (2003) propusieron un modelo lluvia escorrentía cullas principales variables son la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ETP). Para la estimación de P es posible emplear métodos de interpolación espacial de la lluvia a partir de diferentes estaciones cercanas y ETP puede ser un valor promedio diario de largo plazo (Barco & Cuartas, 1998; Chaves & Jaramillo, 1998). Todas las cantidades (entradas, salidas, variables internas) están expresadas en mm, por tal motivo, los volúmenes de agua deben ser divididos por el área de la cuenca cuando sea necesario. En la Tabla 2, se presentan los parámetros principales del modelo y en la Figura 4 se muestra el esquema del modelo de tanques planteado.

Tabla 2. Parámetros del modelo GR4J (Perrin et al., 2003).

Parámetros	Definición
x1 (mm)	Capacidad máxima del tanque de producción
x2 (mm)	Coefficiente de intercambio de aguas subterráneas
x3 (mm)	Capacidad máxima para el tránsito en canales
x4 (días)	Tiempo base del hidrograma unitario UH1

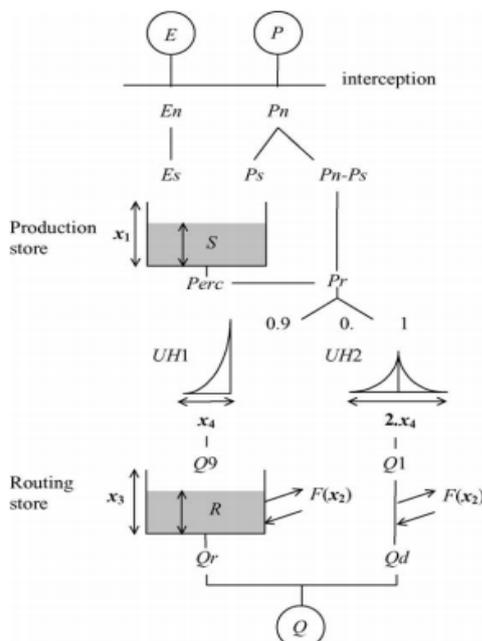


Figura 3.- Esquema de tanques para el modelo GR4J propuesto por (Perrin et al., 2003).

## Metodología de calibración del modelo GR4J

El modelo GR4J se encuentra programado en Excel. Sin embargo, en este trabajo se optó por programar el modelo para realizar el análisis Montecarlo con 10.000 posibles combinaciones de parámetros para cada cuenca. Para estimar la precipitación media diaria de la cuenca se utilizaron los registros de las estaciones cercanas, empleando factores de ponderación, por otra parte, se estimó evapotranspiración potencial utilizando la ecuación de Cenicafe (Jaramillo, 1989), dicha ecuación fue estimada específicamente para las condiciones climáticas de Colombia.

Para estimar la bondad de ajuste de las calibraciones se utilizó el criterio de eficiencia de NASH:

$$E = 1 - \frac{\sum(Q_{observado} - Q_{simulado})^2}{\sum(Q_{observado} - Q_{medio observado})^2}$$

## Resultados

A partir del modelo de tanques GR4J se obtuvo la serie de caudales simulada para la cuenca del río Bolívar (ver Figura 4). En dicha serie se puede observar que el modelo logra capturar adecuadamente las épocas de estiaje y en general los rangos de caudales medios. Sin embargo, se evidencian algunas diferencias en la estimación de los caudales medios diarios en épocas de altas lluvias (percentiles menores al 5% ver Figura 5).



Figura 4.- serie de caudal simulada para la cuenca del río Bolívar.

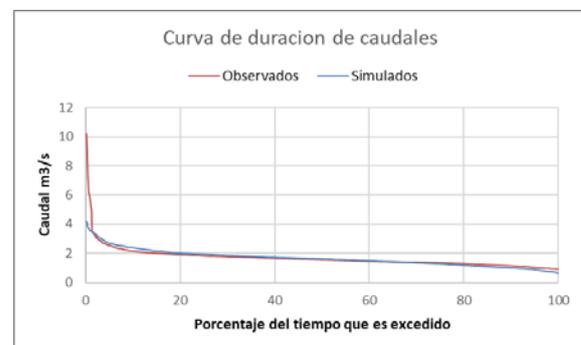


Figura 5.- curva de duración simulada y observada del río Bolívar.

## Conclusiones

Este estudio evaluó el modelo GR4J para la simulación de caudales, se evidenció que el modelo captura adecuadamente la variabilidad de los caudales. A partir de la nueva metodología de transferencia de parámetros se disminuye la incertidumbre de la transferencia de parámetros a cuencas que no tienen información.

Finalmente se pone en evidencia que la conceptualización del modelo GR4J genera múltiples combinaciones de parámetros con los que se puede llegar a obtener una eficiencia de Nash aproximadamente igual a la cual puede diferir desde la tercera cifra decimal.

## Referencias

- Barco, O. ., & Cuartas, L. (1998). *Estimación de la Evaporación en Colombia*. Trabajo dirigido de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Carvajal, L. F., & Roldán, E. (2007). CALIBRATION OF GR4J LUMPED RAINFALL-RUNOFF MODEL APPLICATION: RIO ABURRÁ CACHTMENT. *DYNA*, 74(152), 73–87.
- Chaves, B., & Jaramillo, A. (1998). *Regionalización de la temperatura del aire en Colombia*. Retrieved from <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/860>
- Jaramillo, A. (1989). *Relación entre la evapotranspiración y los elementos climáticos*.
- Ocampo, O. L., & Vélez, J. J. (2013). Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del Río Chinchiná. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v13n24/v13n24a04.pdf>
- Perrin, C., Michel, C., & Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279(1), 275–289. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00225-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00225-7)