

Calibración y validación del modelo HBV para la evaluación hidrológica del cambio climático en el sur de América Central

Kendall Ugalde Castro^{1, 2} Hugo G. Hidalgo^{3, 4, 5}
Eric J. Alfaro Martínez^{4, 6} Tito Maldonado Mora^{3, 4}

1. Doctorado en Ciencias para el Desarrollo, Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica
2. Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Catedra de Física para ingenierías, Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica
3. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
4. Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
5. Centro de Investigación en Matemática Pura y Aplicada, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
6. Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

Resumen

América Central es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático por su complejidad climática, diversidad geográfica y dependencia de los recursos naturales. Esta investigación doctoral evaluara el impacto del cambio climático sobre variables hidrológicas al sur de AC mediante el modelo HBV, forzado con simulaciones de modelos climáticos bajo escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. En la fase hidrológica inicial, se calibraron los parámetros del modelo HBV en cuencas de Costa Rica usando datos observados de escorrentía, precipitación y temperatura, además de evapotranspiración potencial estimada mediante Hargreaves. La calibración se realizó con el método GAP de HBV-light, maximizando el KGE para el periodo 1990–2020. Posteriormente, con los parámetros calibrados en Costa Rica se generaron funciones de transferencia basadas en regresiones múltiples usando las características climáticas y fisiográficas de las cuencas. Las funciones de transferencia se usaron para simular la escorrentía en cuencas de Panamá, que posteriormente se validaron con escorrentía observada mediante el KGE en cuencas con registros. Una vez validadas, las funciones de transferencia se aplicaron al conjunto de cuencas de Panamá para obtener parámetros regionalizados. Con el modelo HBV calibrado en Costa Rica y Panamá se constituye la base para simular caudales históricos y futuros bajo modelos climáticos que contemplan escenarios de emisión.

Introducción

América Central presenta alta vulnerabilidad al cambio climático, especialmente por su variabilidad climática, complejidad geográfica y dependencia de los recursos hídricos para actividades como el abastecimiento, la agricultura y la generación hidroeléctrica. La evaluación de estos impactos requiere herramientas capaces de representar la respuesta hidrológica de las cuencas ante cambios en la precipitación, la temperatura y evapotranspiración. El modelo hidrológico HBV, permite simular estos procesos mediante rutinas de humedad del suelo, recarga, almacenamiento y generación de caudal. Por su baja demanda computacional y su bajo requerimiento de datos, el HBV es adecuado para estudios regionales con disponibilidad limitada de información. En esta investigación se aplicará en cuencas de Costa Rica y Panamá con el fin de estudiar el comportamiento hidrológico en el contexto de cambio climáticos.

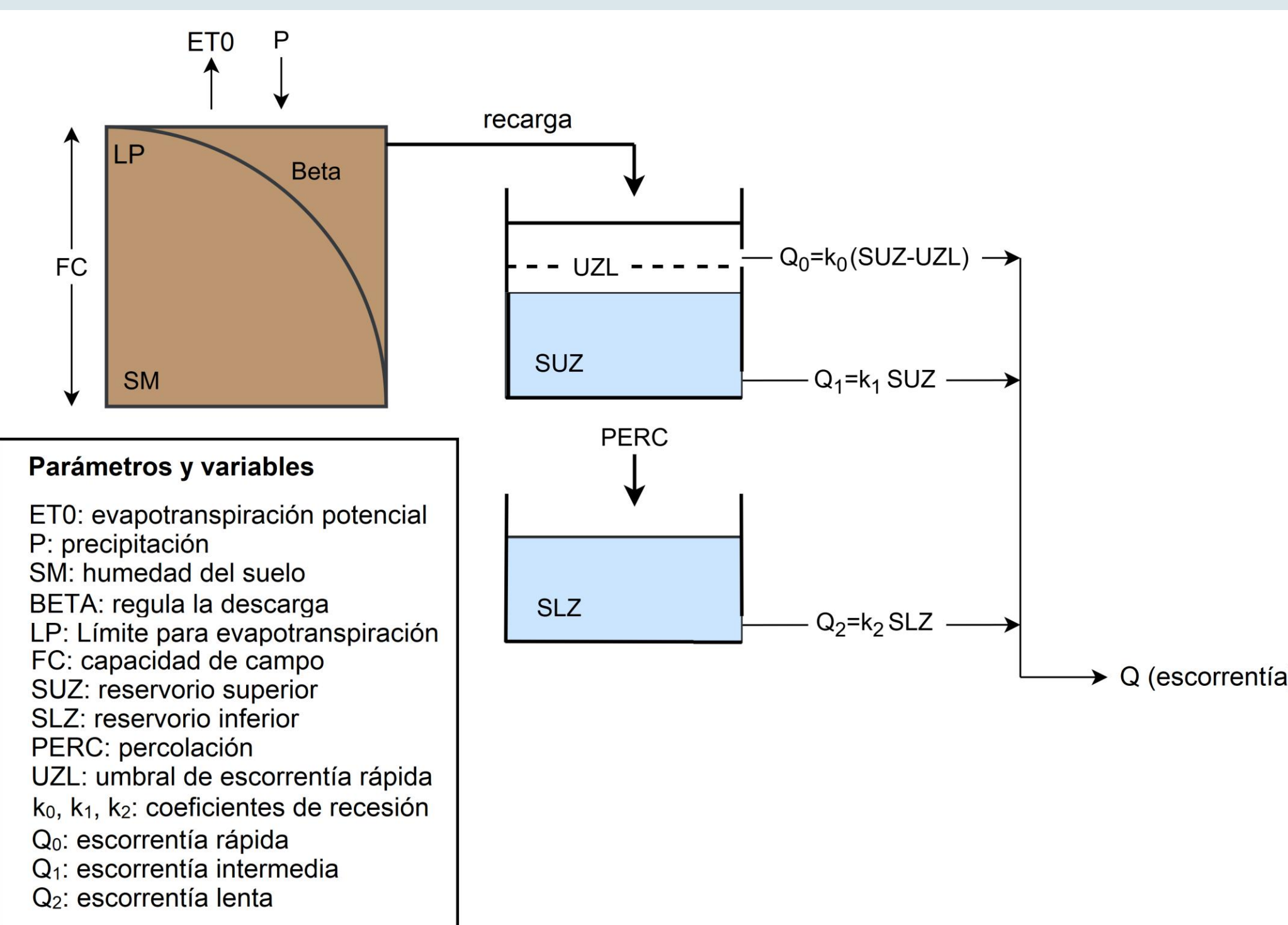


Figura 1. Diagrama de modelo hidrológico HBV basado en Seibert y Vis (2012)

Metodología

La metodología se muestra en la Figura 2 y consistió en cuatro fases:

- 1) La calibración y validación del modelo HBV en cuencas de Costa Rica.
- 2) La generación de las funciones de transferencia usando los parámetros calibrados de Costa Rica y características climáticas y fisiográficas de las cuencas.
- 3) La validación de las funciones de transferencia en cuencas de Panamá
- 4) La aplicación de las funciones de transferencia en las cuencas no aforadas de Panamá para determinar sus parámetros HBV.

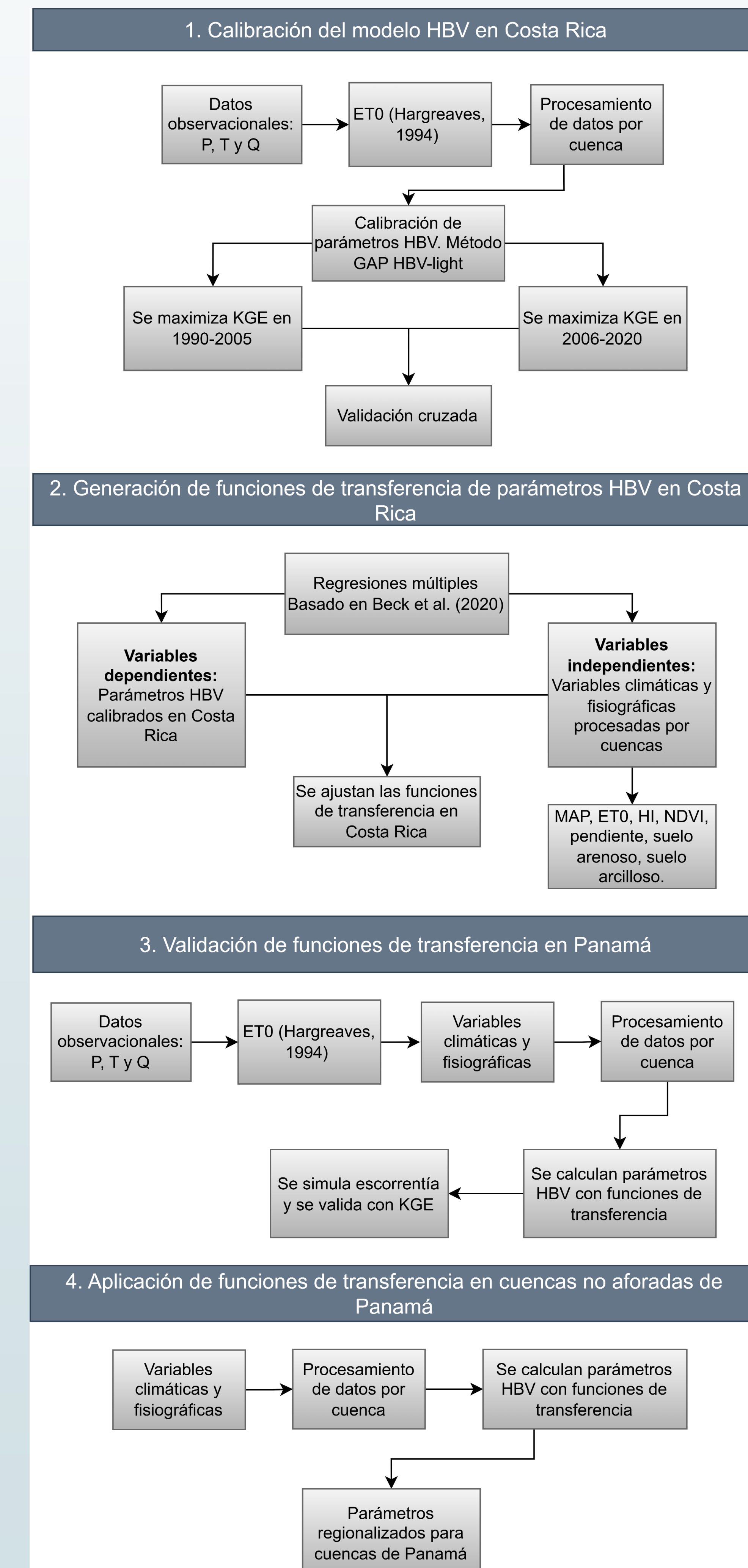


Figura 2. Diagrama de metodología.

Resultados

En la Figura 3 se muestran los resultados de la validación cruzada del modelo HBV calibrado con GAP en cuencas de Costa Rica.

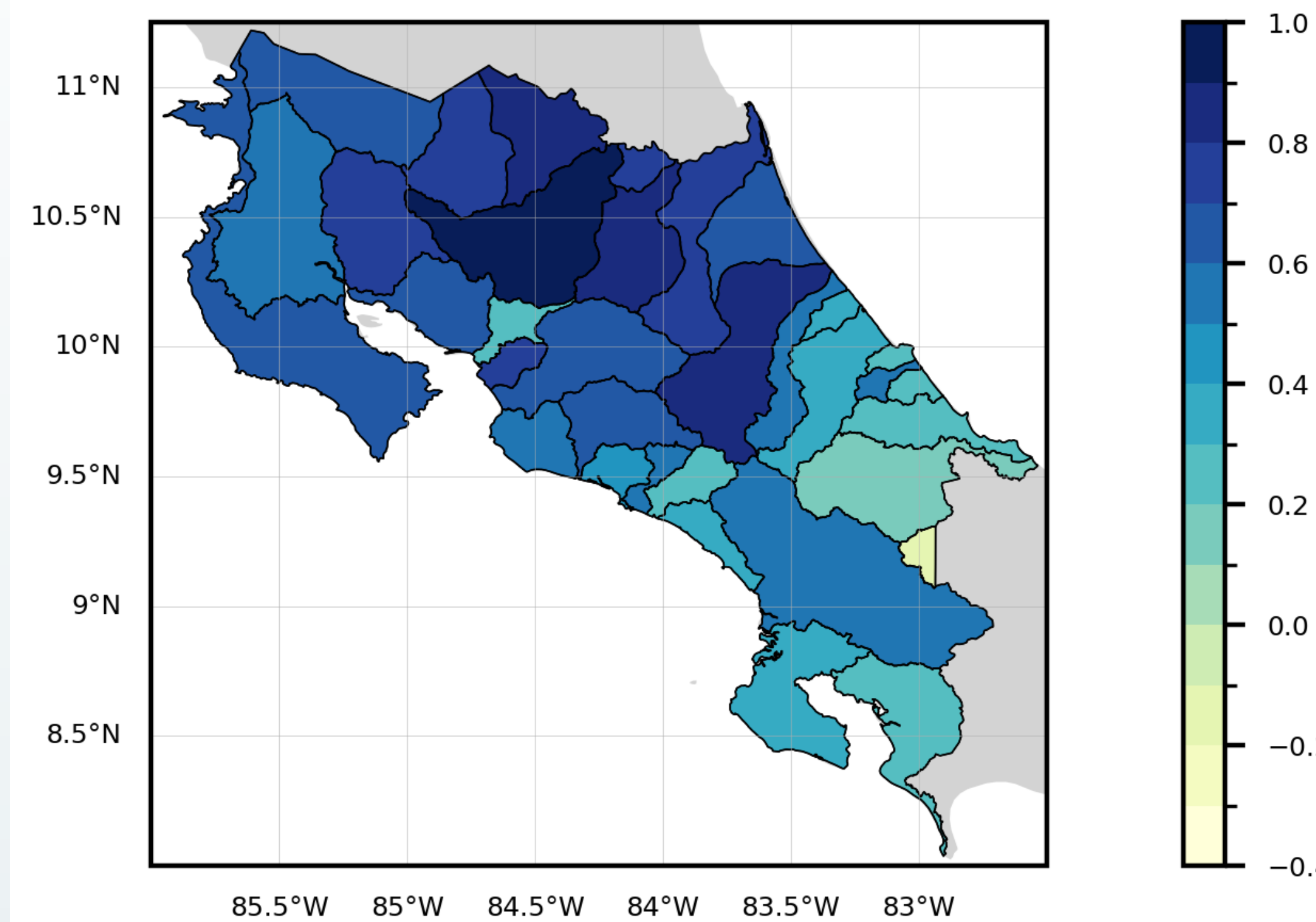


Figura 3. Validación cruzada del modelo HBV en cuencas de Costa Rica. Se muestra el KGE mensual entre observación y simulación de cada cuenca.

La Ecuación (1) representa las funciones de transferencia, el subíndice i representa un parámetro HBV. La Tabla 1 muestra los coeficientes ajustados de la función de transferencia de algunos parámetros.

$$P_i = a_{i1}Clay + a_{i2}NDVI + a_{i3}Sand + a_{i4}Slope + a_{i5}MAP + a_{i6}PET + a_{i7}HI + a_{i8} \quad (1)$$

Donde:

- P_i : parámetro HBV a ajustar.
- $Clay$: porcentaje de suelo arcilloso.
- $NDVI$: índice de diferencia de vegetación normalizado.
- $Sand$: porcentaje de suelo arenoso.
- $Slope$: pendiente del terreno.
- MAP : precipitación anual media.
- PET : evapotranspiración potencial media.
- HI : índice de humedad.

La Tabla 1 muestra los coeficientes ajustados de la función de transferencia de algunos parámetros.

Parámetro	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
$PERC$	0.10	-1.55	0.23	1.18	2.23	-0.61	-2.04	4.20
K_1	-0.01	0.03	0.01	-0.06	-0.12	0.02	0.08	0.17
K_2	-0.02	0.03	-0.01	-0.01	-0.19	0.10	0.23	0.09
FC	2.98	48.04	-3.09	101.12	-95.39	71.41	55.05	353.12

Tabla 1. Coeficientes de función de transferencia para los parámetros HBV: PERC, K_2 y FC.

En la Figura 4 se muestran los resultados de la validación realizada sobre las cuencas de Panamá, entre datos observados y simulados con parámetros HBV obtenidos de las funciones de transferencia.

Resultados

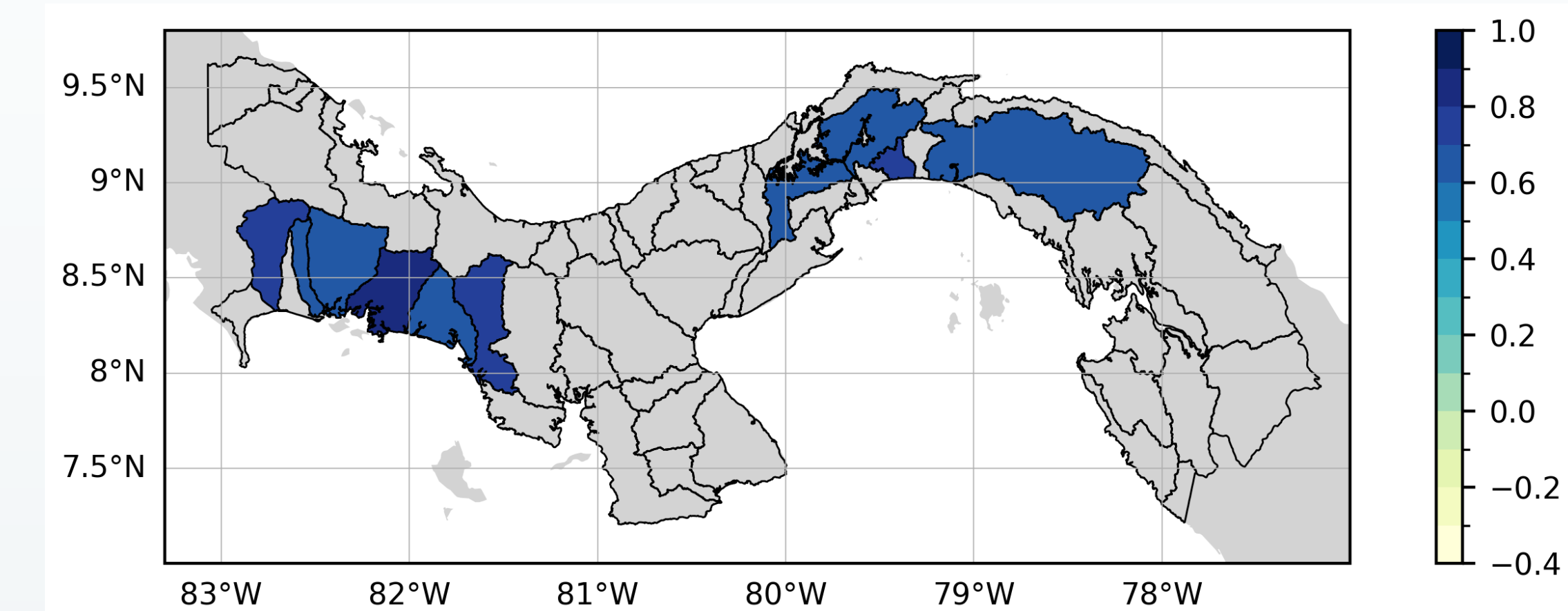


Figura 4. Validación de los parámetros obtenidos mediante funciones de transferencia en cuencas de Panamá. Se muestra el KGE mensual entre la escorrentía observada y simulada de cada cuenca con registros.

Como prueba de concepto, a cada punto de la grilla de CHIRPS/CHIRTS se le asignaron los parámetros-HBV de la cuenca de Costa Rica o Panamá en la que se encontrará. Luego se aplicó el modelo HBV para observar la distribución espacial de escorrentía.

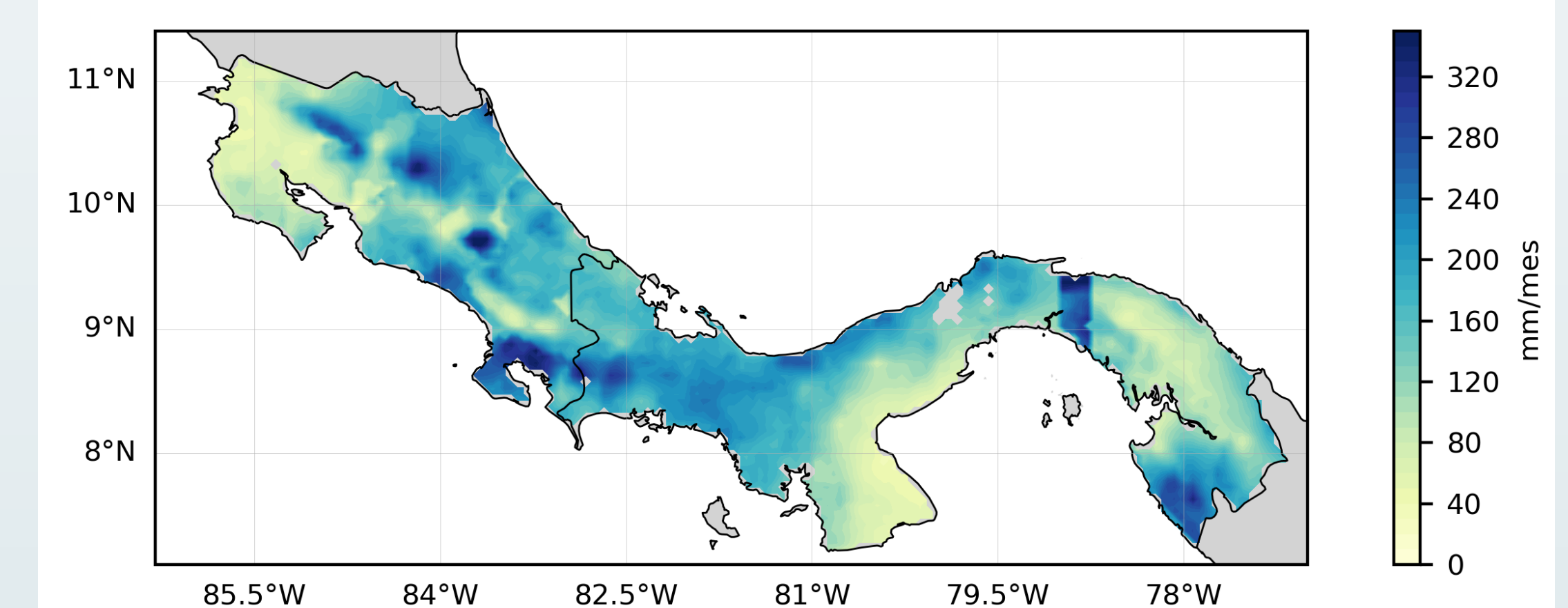


Figura 5. Mediana del acumulado mensual de escorrentía en mm/mes.

Conclusiones

El modelo HBV mostró capacidad para representar la escorrentía en cuencas de Costa Rica, ya que la calibración de modelo y su validación cruzada resultaron en valores de KGE aceptables. Esto permitió construir funciones de transferencia basadas en características climáticas y fisiográficas de las cuencas de Costa Rica. La validación hidrológica en Panamá de las funciones de transferencia mediante KGE, también resultó en valores satisfactorios, de modo que estas funciones fueron utilizadas para estimar parámetros del HBV en cuencas no aforadas. En general, la metodología permitió generar una representación regional de la escorrentía en Costa Rica y Panamá, por tanto constituye la base central para realizar proyecciones hidrológicas futuras bajo escenarios de emisión.

Referencias

- Beck, H. E., Pan, M., Lin, P., Seibert, J., van Dijk, A. I., & Wood, E. F. (2020). Global fully distributed parameter regionalization based on observed streamflow from 4,229 headwater catchments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(17), e2019JD031485.
- Hargreaves, G. H. (1994). Defining and using reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(6), 1132–1139. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1994\)120:6\(1132\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1994)120:6(1132))
- Seibert, J., & Vis, M. J. P. (2012). Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3315–3325. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3315-2012>