

Modelación hidrológica y plan de respuesta a emergencias ante inundaciones del río Dulcepamba, Chillanes-Bolívar

Hydrological modeling and emergency response plan for floods of the Dulcepamba river, Chillanes-Bolívar

Holger Adolfo Torres Caceres¹, Marcelo José Álvarez Pico¹

Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Av. Raúl Gómez Lince s.n. y Av. Juan Tanca Marengo (Campus Mapasingue) Guayaquil, Ecuador.

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

Resumen

Ante la amenaza histórica de inundaciones en San José del Tambo, se desarrolló un modelo hidrológico de la cuenca del río Dulcepamba en Chillanes-Bolívar, con la finalidad de generar el plan de respuesta ante inundaciones. Utilizando datos hidrometeorológicos del periodo 1999-2018 y las aplicaciones QGIS y RAS-2025, se caracterizó a la subcuenca de 307.66 km² y 5 órdenes de río. El modelo Témez demostró buena precisión con un coeficiente Nash-Sutcliffe de 0.71 y error cuadrático medio de 0.41. La media de velocidad del flujo fue 1.76 m/s, espejo de agua 27 m y caudal 31.54 m³/s. La simulación hidrológica reveló que el 43% de la población de San José del Tambo se encuentra en amenaza ante inundaciones. El plan de respuesta contempla ocho medidas con un presupuesto de \$130,000 USD. Esta investigación proporciona información geográfica para la planificación territorial y la gestión de riesgos ante inundaciones del cantón Chillanes.

Palabras clave: Amenaza, cuenca hidrográfica, inundaciones, modelación hidrológica.

Abstract

Given the historical threat of flooding in San José del Tambo, a hydrological model of the Dulcepamba River basin in Chillanes-Bolívar was developed with the purpose of generating a flood response plan. Using hydrometeorological data from the period 1999-2018 and QGIS and RAS-2025 applications, the sub-basin of 307.66 km² and 5 river orders was characterized. The Témez model demonstrated good accuracy with a Nash-Sutcliffe coefficient of 0.71 and a root mean square error of 0.41. The average flow velocity was 1.76 m/s, water surface width 27 m, and discharge 31.54 m³/s. The hydrological simulation revealed that 43% of the population of San José del Tambo is at risk from flooding. The response plan contemplates eight measures with a budget of \$130,000 USD. This research provides geographical information for territorial planning and flood risk management in Chillanes canton.

Keywords: Hazard, watershed, floods, hydrological modeling.

Introducción

Las cuencas hidrográficas constituyen la unidad territorial adecuada para la planificación y gestión del recurso hídrico, al integrar procesos físicos, bióticos y sociales que determinan tanto la disponibilidad como la calidad del agua (Buytaert & De Bièvre, 2012).

En este contexto, el agua no solo actúa como un recurso vital para la sociedad y los ecosistemas, sino que también representa un elemento de amenaza cuando los eventos hidrometeorológicos extremos superan la capacidad natural de regulación, generan inundaciones con repercusiones en infraestructura,

actividades productivas y la población (Valderrama Chávez et al. 2021).

A nivel global, el cambio climático ha intensificado los patrones de variabilidad hidrológica, aumentando la frecuencia e intensidad de sequías e inundaciones, lo cual compromete directamente la seguridad hídrica de millones de personas (IPCC, 2023). Estas alteraciones son especialmente críticas en regiones andinas, donde las pendientes pronunciadas, la deforestación y el uso inadecuado del suelo exacerbar los procesos de escorrentía y erosión (Oñate 2016; Jaramillo Monroy, 2021). En América Latina, la gestión

* Correspondencia del autor:

E-mail: torresholger99@gmail.com

 Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

integral de cuencas hidrográficas es considerada un pilar para alcanzar la sostenibilidad ambiental y social, particularmente en zonas rurales donde las comunidades dependen directamente de los servicios ecosistémicos hídricos (FAO, 2017).

En Ecuador, las cuencas altoandinas cumplen un rol estratégico en la provisión de agua para consumo humano, riego agrícola y producción hidroeléctrica; sin embargo, también representan una creciente exposición a amenazas de origen hidrometeorológico (Ludeña & Wilk, 2013), cuya afectación se ha magnificado debido a la deforestación y cambios en la cobertura vegetal (Álvarez y Macas, 2018). La cuenca del río Dulcepamba, ubicada en la provincia de Bolívar, abarca a los cantones Chillanes y San Miguel. A partir del año 2000 la parroquia San José del Tambo del cantón Chillanes, ha experimentado inundaciones recurrentes que han afectado a las comunidades ribereñas.

El modelo de Témez, es aplicado en diversas cuencas de tamaño medio del Ecuador (Oñate, 2016; Zhicay, 2020), ha demostrado ser eficaz en la estimación de caudales máximos bajo condiciones de información limitada. Así también, la aplicación de información geográfica y de modelos digitales hidráulicos como HEC-RAS delimitan zonas inundables y estiman las áreas de exposición (Herrera et al., 2022). En este estudio, se generó un análisis espacial identificando territorios en condición de amenaza ante inundaciones en la cuenca del río Dulcepamba.

El objetivo fue modelar la respuesta hidrológica de la cuenca del río Dulcepamba mediante el método Témez y generar simulaciones de inundación con el fin de diseñar un plan de respuesta a emergencias ante inundaciones.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en la cuenca del río Dulcepamba de la provincia de Bolívar. El modelo hidrológico fue aplicado en el cauce principal de la subcuenca en la parroquia San José del Tambo del cantón Chillanes. Se utilizaron datos hidrometeorológicos del período 1999-2018 (Tabla 1), proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), correspondientes a las estaciones meteorológicas M0131, M0402 y M0404, y a las estaciones hidrológicas H0331, H0333 y H0337 (INAMHI, 2019). Estas series de datos incluyeron registros de precipitación, temperatura y caudales diarios.

La delimitación y caracterización morfométrica de la cuenca se realizó mediante el software Quantum GIS 3.40, empleando un modelo digital de elevación de 30 metros de resolución espacial. Se calcularon parámetros como área, perímetro, pendiente media, longitud del cauce principal, altitudes extremas, densidad de drenaje y coeficientes de forma, estableciendo las condiciones hidrológicas de la

Tabla 1. Estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) cercanas al área de estudio.

Código	Estación	Estado	Cantón	Elevación
M0130	Chillanes	Activa	Chillanes	2320
M0402	Chimbo DJ Pangor	Activa	Pallatanga	2266
M0404	Cañi-Limbe	Activa	Colta	2800
H0331	Chimbo San Lorenzo	Activa	Guaranda	2419
H0333	San Lorenzo	Activa	Chimbo	2464
H0334	Chima Aj Pesq (Sicoto Aj)	Activa	Chillanes	2100

unidad hidrográfica (Quesada-Román y Barrantes, 2017).

El análisis hidrológico se efectuó con el modelo de Témez, implementado en la plataforma HIDROVLAB, calibrando parámetros de infiltración, humedad máxima, caudal base y evapotranspiración potencial. La validación se realizó con los indicadores NSE y RMSE (Moriasi et al. 2007). Paralelamente, se ejecutó el aforo en campo mediante el método del flotador superficial, registrando velocidad, profundidad y caudal en un tramo representativo medio antes, de la población. Finalmente, la simulación hidráulica con RAS 2025 permitió identificar las zonas de inundación en la parroquia San José del Tambo, integrando los caudales generados por el modelo de Témez y la topografía del área de estudio.

Resultados

Caracterización morfométrica

La cuenca del río Dulcepamba abarca una superficie de 307.66 km², la cual comprende cinco órdenes de drenaje y se clasifica por su tamaño como subcuenca. El perímetro es de 94.3 km, la longitud del cauce

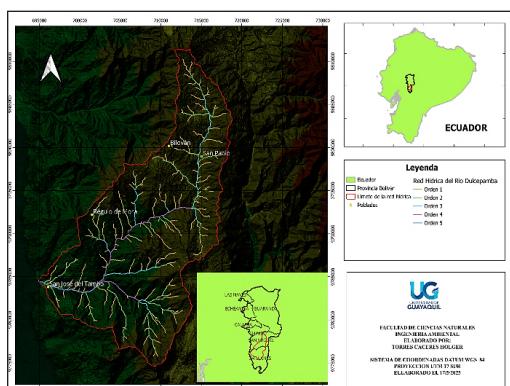


Figura 1. Área de estudio y red de drenaje de la cuenca del río Dulcepamba.

Tabla 2. Parámetros generales del área de drenaje del río Dulcepamba.

Parámetro	Valor	Unidad
Área	307.66	Km ²
Perímetro	118.36	Km
Longitud del cauce principal	47.56	Km
Longitud axial de la cuenca	32.75	Km
Ancho de la cuenca	12.14	Km
Altura máxima	3289	m.s.n.m
Altura mínima	300	m.s.n.m
Altura media de la cuenca	853.85	m.s.n.m
Desnivel altitudinal	3229	m.s.n.m
Longitud de la red hidráulica	101,78	Km

principal de 34.5 km y una pendiente media de 23 %. La diferencia altitudinal es de 2,940 m, indicando una variabilidad hidrológica de la región andina. La densidad de drenaje es de 2.3 km/km², lo cual es una característica de cuencas de montaña (ver Tabla 2). En la figura 1 se representa en el mapa el área de estudio y la red de drenaje de la cuenca de interés y 5 órdenes jerárquicos de ríos.

Aforo hidráulico

El trabajo de campo permitió estimar un caudal de 31.54 m³/s, con una velocidad media de 1.76 m/s, con profundidad promedio de 0.64 m y ancho del cauce de 27 m. Los cálculos complementarios mostraron un área hidráulica de 16.96 m², perímetro mojado de 27.62 m y radio hidráulico de 0.60 m (ver Tabla 3 y Figura 2).

Modelo hidrológico de Témez

El modelo de Témez demostró mayor escorrentía en los meses de diciembre a marzo y estiaje entre junio y septiembre. El ajuste mostró un NSE de 0.71 y un RMSE de 0.41, valores que confirman un desempeño aceptable en la simulación de caudales pico (Figura 3).

Simulación hidráulica

Tabla 3. Resultados del aforo hidráulico en el río Dulcepamba.

Semana	Fecha	Peso (Kg)
1	02/05/2024	144.49
2	08/05/2025	50.59
3	15/05/2025	47.04
4	22/05/2025	68.32
5	07/06/2025	50.50
Total		360.94

La simulación hidráulica identificó que el 43 % de la población de San José del Tambo se encuentra en zona de inundación. Las zonas críticas incluyen viviendas ribereñas, cultivos en planicies de inundación y tramos viales estatales (Figuras 4 y 5).

Plan de respuesta ante inundaciones en la parroquia San José del Tambo

En la tabla 4, se incluyó un conjunto de medidas con la finalidad de disminuir el riesgo ante eventos de inundación.

Discusión

Los parámetros morfométricos de la cuenca del río Dulcepamba, con una superficie de 307.66 km² y una densidad de drenaje de 2.3 km/km², indican una red hidráulica interconectada y con respuesta rápida frente a precipitaciones intensas. Este valor es comparable con lo reportado en la cuenca del río Chanchán por Ramírez y Cevallos (2019), quienes identificaron una densidad de drenaje de 2.1 km/km² en un sistema andino de características similares, asociada a crecidas recurrentes.

El desnivel altitudinal de 2,940 m determina una marcada variabilidad en los caudales. Buytaert y Bievre (2012) señalan que esta condición en cuencas altoandinas favorece procesos de erosión y crecidas repentinas, lo cual coincide con la dinámica observada en el río Dulcepamba.

La aplicación del modelo de Témez demostró un NSE de 0.71 y un RMSE de 0.41, valores que validan su capacidad para simular crecidas máximas en contextos montañosos. Oñate Valdivieso (2016), en la cuenca del río Jubones, obtuvo un NSE de 0.72 bajo condiciones análogas, confirmando la pertinencia del modelo en sistemas hidrológicos andinos y cuencas de tamaño medio.

El aforo en campo determinó un caudal medio de 31.54 m³/s, con una velocidad de 1.76 m/s y un ancho de 27 m, cifras similares con los resultados de Zhincay (2021) en la cuenca del río Paute, donde los caudales medios en creciente alcanzaron entre 30 y 35 m³/s. Estos valores, junto con el área hidráulica

Figura 2. Forma hidrológica de la sección transversal del río Dulcepamba, datos del mes de mayo del 2025.

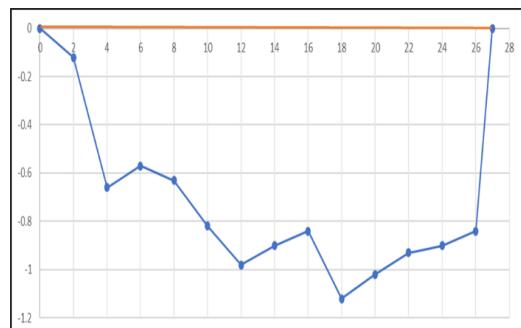


Tabla 4. Medidas propuestas en el Plan de Respuesta a Emergencias ante inundaciones.

Coordenadas		Sección	Distancia (m)	Profundidad (m)
X	Y			
698307	9783450	1	0	0.00
		2	2	0.12
		3	4	0.66
		4	6	0.57
		5	8	0.63
		6	10	0.82
		7	12	0.98
		8	14	0.90
		9	16	0.84
		10	18	1.12
		11	20	1.02
		12	22	0.93
		13	24	0.90
		14	26	0.84
		15	27	0.00
Coordenadas		Medición	Hora	Tiempo (s)
X	Y			
698307	9783450	1	16:00	10
		2	16:05	11
		3	16:10	8
		4	16:15	10
		5	16:20	9

Figura 3. Modelo hidrológico Temez de caudales observados y simulados correspondientes al periodo 1999-2018

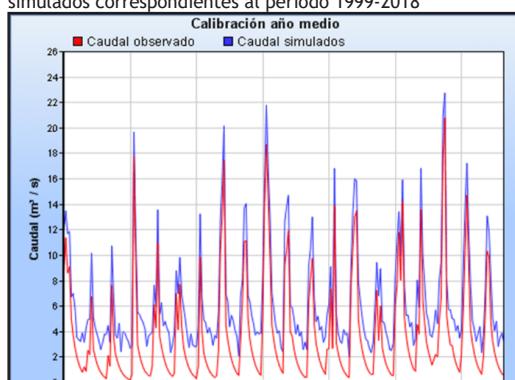


Figura 4. Simulación general de inundación en la cuenca del río Dulcepamba representado por el software RAS 2025.

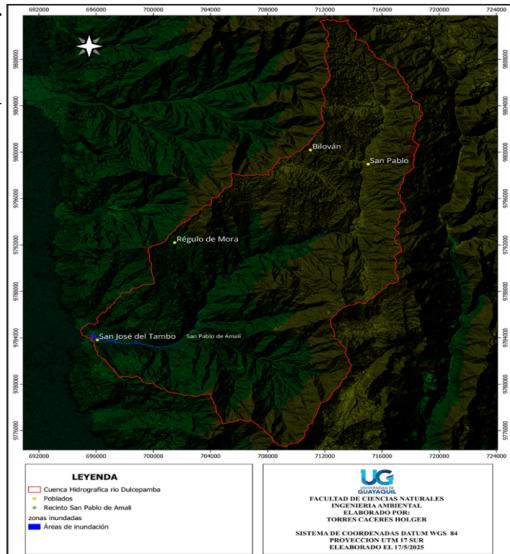
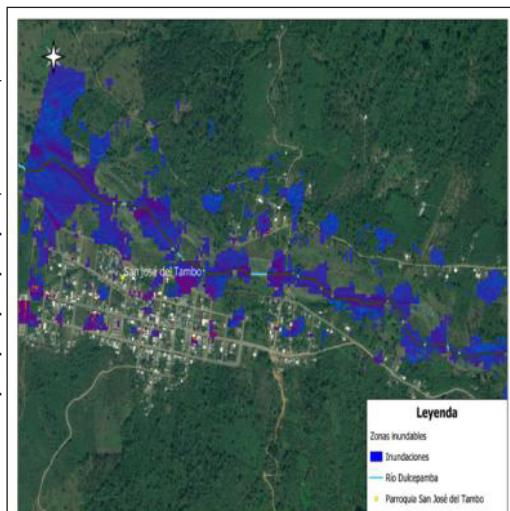


Figura 5. Representación del software RAS 2025 de zonas de inundación de la parroquia San José del Tambo.



calculada (16.96 m^2) y el radio hidráulico (0.60 m), validan lo indicado por Chow et al. (1988) respecto a la influencia de estas variables en el transporte de sedimentos y la estabilidad del cauce.

La simulación hidráulica reveló que el 43 % de la población de San José del Tambo se encuentran en zona de inundación recurrente, hallazgo consistente con lo reportado por Herrera et al. (2022) en la cuenca del río Toachi, donde más del 40 % del área fue clasificada como zona de alto impacto.

Conclusión

La cuenca del río Dulcepamba presenta una superficie

de 307.66 km², una diferencia altitudinal de 2,940 m y una densidad de drenaje de 2.3 km/km², características que demostraron una alta respuesta hidrológica ante precipitaciones intensas.

La aplicación del modelo Témez mostró un NSE de 0.71 y un RMSE de 0.41, confirmando su validez para representar caudales máximos, pese a la poca disponibilidad de datos hidrometeorológicos.

El aforo en campo estimó un caudal de 31.54 m³/s, asociado a una velocidad media de 1.76 m/s y un ancho promedio de 27 m, parámetros representativos de la dinámica fluvial del sistema hidrológico andino. La simulación hidráulica determinó que el 43 % de la población de San José del Tambo se encuentra en zona de inundación recurrente, lo que afecta a viviendas, áreas agrícolas y vías estatales.

El plan de respuesta propuesto contempla ocho medidas estratégicas, distribuidas en fases de prevención, acción inmediata y recuperación, con un presupuesto aproximado de 130,000 USD.

Recomendaciones

Fortalecer la red de monitoreo hidrometeorológico mediante la instalación de estaciones pluviométricas y caudalímetros automáticos.

Impulsar programas de educación y capacitación comunitaria sobre prevención y respuesta a inundaciones.

Implementar medidas de bioingeniería (reforestación de laderas, estabilización de taludes y control de escorrentías) para reducir la erosión de suelos y mitigar deslizamientos en la cuenca.

Fomentar convenios interinstitucionales entre gobiernos locales, el SNGRE y universidades, que permitan dar continuidad técnica.

Incorporar los resultados de este estudio en la gestión de planificación de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Chillanes.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, M., & Macas, V. (2018). Variación de la cobertura vegetal del Parque Nacional Machalilla mediante la evaluación de índices de vegetación en la provincia de Manabí. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 12(2), 49-65. <https://doi.org/10.53591/cna.v12i2.284>
- Buytaert, W., & De Bièvre, B. (2012). Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resources Research*, 48(8), 1-13. <https://doi.org/10.1029/2011WR011755>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- FAO. (2015). Estimaciones del Caudal de Agua, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/

- FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm
- Herrera, M., Vinueza, J., & García, L. (2022). Análisis de la exposición de poblaciones rurales a inundaciones en cuencas andinas de Ecuador. *Revista Geoespacial*, 19(2), 45-60. <https://doi.org/10.1590/geoespacial.2022.19.2>
- INAMHI. (2019). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI. Retrieved April 16, 2025, from <https://www.inamhi.gob.ec/>
- IPCC (2023). Informe de síntesis del AR6: Cambio climático 2023 - Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Génova, Suiza, pp. 35-115, doi: 10.59327/AR6-9789291691647.
- Jaramillo Monroy, F., Wehncke Rodríguez, E. V., Flores Armillas, V. H., Pohle Morales, O. M., López-Medellín, X., Jaramillo Monroy, F., Wehncke Rodríguez, E. V., Flores Armillas, V. H., Pohle Morales, O. M., & López-Medellín, X. (2021). Enfoque regional de manejo integrado del agua en la microcuenca El Pantano, Morelos, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 21(65), 275-304. <https://doi.org/10.22136/EST202111625>
- Ludeña Carlos, & Wilk David. (2013). ECUADOR: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático Marco de la preparación de la Estrategia 2012-2017 del BID en Ecuador.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Onate Valdivieso, F. (2016). Aplicación del modelo Témez para la estimación de caudales en la cuenca del río Jubones, Ecuador. *Revista Politécnica*, 38(1), 65-75. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica/article/view/362
- Quesada-Román, A., & Barrantes, G. (2017). Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. *Investigaciones Geográficas: Boletín - Instituto de Geografía, Universidad Nacional, Autónoma de México*, 94, 1-12. <https://doi.org/10.14350/rig.57318>
- Ramírez, M., & Cevallos, A. (2019). Evaluación del modelo Témez en la simulación hidrológica de la cuenca del río Chanchán, Chimborazo. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(2), 7-15. <https://doi.org/10.26423/rctu.v6i2.548>
- Valderrama Chávez, M. D., Vásquez Granda, V. D., & León Baque, E. L. (2021). Cambios en patrones de precipitación y temperatura en el Ecuador, región costa. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 8(SPE2). <https://doi.org/10.46377/Dilemas.V8i.2609>
- Zhicay, J. (2020). Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana-Cuenca. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18364>.