

<https://doi.org/10.69639/arandu.v13i3.2595>

Caracterización morfométrica e hidrológica de la microcuenca del arroyo Javo y respuesta simulada ante un evento intenso de precipitación

Characterization of the Javo stream micro-watershed: morphometry, hydrology, and simulated response to an extreme precipitation event

Liliana Isabel Rios de Portillo

<https://orcid.org/0009-0007-8469-9902>

lilianarioscazal@gmail.com

Universidad Nacional de Pilar
Pilar – Paraguay

Miguel Ángel Delpino Aguayo

<https://orcid.org/0000-0002-5211-2720>

mdelpino167@gmail.com

Universidad Nacional de Pilar
Pilar – Paraguay

Artículo recibido: 10 agosto 2026- Aceptado para publicación: 16 septiembre 2026
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

La caracterización de pequeñas cuencas urbanas de llanura proporciona información relevante para interpretar su respuesta frente a precipitaciones intensas y apoyar futuros estudios de drenaje y gestión del riesgo hídrico. El objetivo de esta investigación fue caracterizar morfométrica e hidrometeorológicamente la microcuenca del arroyo Javo, ubicada en Pilar, Paraguay, y analizar mediante HEC-HMS su respuesta simulada ante el evento de precipitación del 10 de mayo de 2019. Se utilizaron cartografía e información altimétrica del Instituto Nacional de Estadística, registros pluviométricos de la estación Pilar correspondientes al período 1990–2023, Sistemas de Información Geográfica y modelación lluvia–escorrentía. La microcuenca presentó una superficie de 0,75 km², un Coeficiente de Compacidad de Gravelius de 1,571, un Factor de Forma de Horton de 0,628 y una pendiente media de 1,178 %. La precipitación media anual fue de 1.447,1 mm. El evento analizado acumuló 142,45 mm. Mediante SCS Curve Number, con CN = 80 adoptado, el modelo estimó pérdidas de 55,33 mm y una precipitación efectiva de 87,12 mm. La transformación mediante SCS Unit Hydrograph, configurada con un Lag Time adoptado de 7,1 min, generó un caudal máximo simulado de aproximadamente 5,0 m³/s a las 22:00 h. La ausencia de registros observados de caudal impidió calibrar y validar independientemente el modelo. Los resultados constituyen una aproximación específica del evento y una línea base para posteriores estudios hidrológicos y de drenaje urbano.

Palabras clave: microcuenca, morfometría, HEC-HMS, SCS-CN, lluvia–escorrentía, Pilar

ABSTRACT

The characterization of small urban watersheds in lowland areas provides relevant information for interpreting their response to intense rainfall events and supporting future studies on urban drainage and water-related risk management. This study aimed to characterize the Javo Stream micro-watershed, located in Pilar, Paraguay, in terms of its morphometric and hydrometeorological characteristics and to analyze its simulated response to the rainfall event of May 10, 2019, using HEC-HMS. Cartographic and altimetric data from the National Institute of Statistics, rainfall records from the Pilar meteorological station for the 1990–2023 period, Geographic Information Systems (GIS), and rainfall–runoff modeling were used. The micro-watershed has an area of 0.75 km², a Gravelius Compactness Coefficient of 1.571, a Horton Form Factor of 0.628, and a mean slope of 1.178%. Mean annual precipitation was 1,447.1 mm, while the analyzed event accumulated 142.45 mm. Using the SCS Curve Number method with an adopted CN of 80, the model estimated hydrological losses of 55.33 mm and effective precipitation of 87.12 mm. Transformation using the SCS Unit Hydrograph, configured with an adopted Lag Time of 7.1 min, generated a simulated peak discharge of approximately 5.0 m³/s at 22:00 h. The absence of observed discharge records prevented independent model calibration and validation. The results provide an event-specific approximation and establish a baseline for future hydrological and urban drainage studies.

Keywords: micro-watershed, morphometry, HEC-HMS, SCS-CN, rainfall–runoff, Pilar

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

El análisis hidrológico de pequeñas cuencas de llanura constituye un componente relevante para comprender los procesos de generación, almacenamiento y desplazamiento de la escorrentía superficial. A diferencia de los sistemas de montaña, las cuencas de relieve plano presentan reducidas pendientes y una respuesta condicionada por la interacción entre precipitación, características del suelo, cobertura e impermeabilización, almacenamiento superficial y configuración de la red de drenaje. En microcuencas urbanas, estos factores adquieren especial importancia debido a la presencia de superficies construidas y sistemas artificiales de evacuación de aguas pluviales.

La caracterización morfométrica permite describir cuantitativamente las propiedades geométricas, de forma, relieve y drenaje de una unidad hidrográfica. El área y el perímetro definen su extensión, mientras que indicadores como el Coeficiente de Compacidad de Gravelius, el Factor de Forma de Horton, la pendiente y la densidad de drenaje proporcionan información para interpretar las condiciones físicas que intervienen en la organización espacial y temporal de la escorrentía (Horton, 1945; Strahler, 1964). Estudios recientes han demostrado además la utilidad de integrar estos parámetros mediante Sistemas de Información Geográfica para la caracterización de cuencas y la interpretación de su respuesta potencial frente a eventos hidrológicos (Obeidat et al., 2021; Shekar & Mathew, 2022).

Los Sistemas de Información Geográfica y los modelos hidrológicos permiten complementar la caracterización física con la simulación de procesos lluvia–escorrentía. El modelo HEC-HMS, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers, permite representar procesos de pérdidas hidrológicas, transformación de precipitación efectiva en escorrentía, flujo base y tránsito de caudales mediante diferentes métodos conceptuales y empíricos (USACE, 2023b). Entre ellos, el método SCS Curve Number permite estimar las abstracciones hidrológicas de un evento, mientras que SCS Unit Hydrograph representa la transformación temporal de la precipitación efectiva en escorrentía directa.

La microcuenca del arroyo Javo se localiza en el entorno urbano de la ciudad de Pilar, departamento de Ñeembucú, Paraguay. La reducida pendiente del territorio y la disponibilidad limitada de información hidrológica específica justifican el desarrollo de estudios que integren sus características físicas, la variabilidad pluviométrica y la modelación de eventos intensos. En este contexto, la investigación buscó generar una línea base que vincule morfometría, precipitación y respuesta hidrológica simulada para esta unidad de estudio.

El objetivo fue caracterizar morfométrica e hidrometeorológicamente la microcuenca del arroyo Javo y analizar su respuesta hidrológica simulada ante el evento de precipitación del 10 de mayo de 2019 mediante la integración de Sistemas de Información Geográfica y modelación lluvia–escorrentía con HEC-HMS. La hipótesis planteó que las características morfométricas e

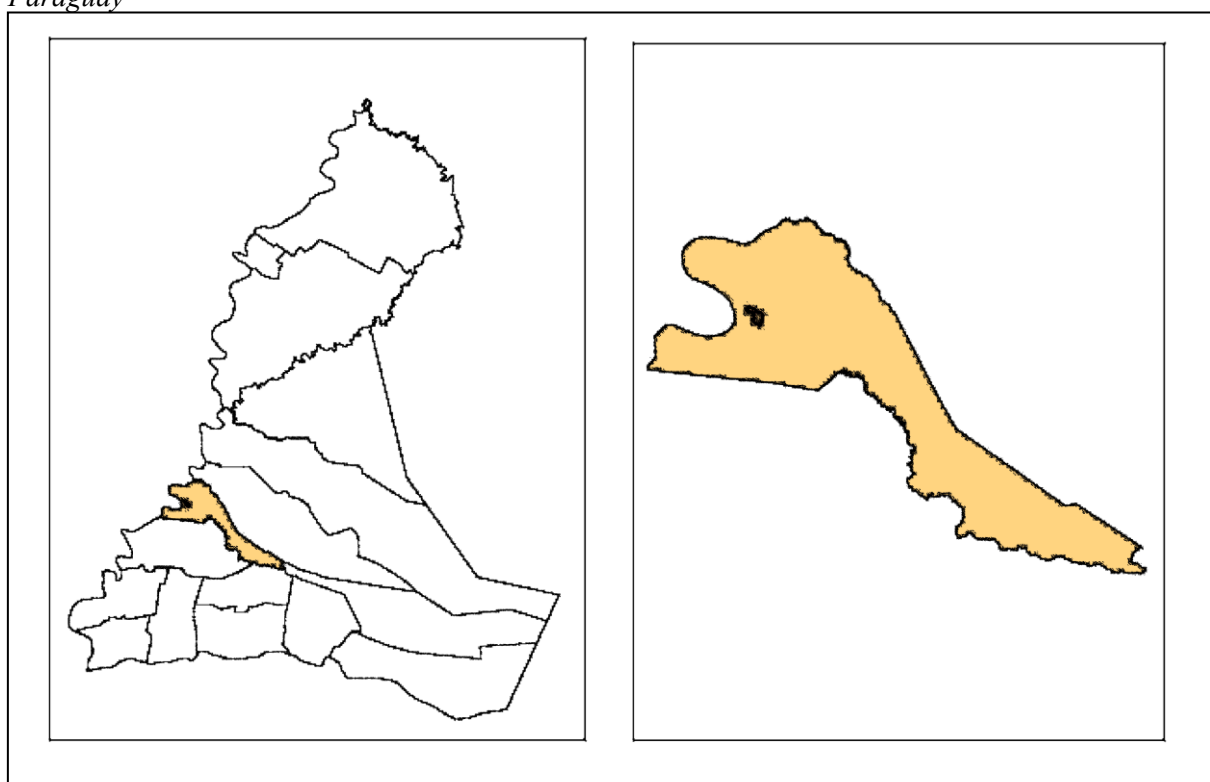
hidrometeorológicas de la microcuenca se relacionan con una respuesta hidrológica identificable bajo las condiciones de simulación adoptadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca del arroyo Javo se encuentra en la ciudad de Pilar, distrito de Pilar, departamento de Ñeembucú, en el suroeste de Paraguay. Presenta una superficie aproximada de 0,75 km² y un perímetro de 4,82 km. El relieve es predominantemente plano, con una elevación media de 55,10 m s.n.m., una pendiente media de 1,178 % y una pendiente longitudinal del cauce principal de 0,364 %.

Figura 1

Ubicación geográfica de la microcuenca del arroyo Javo, ciudad de Pilar, Ñeembucú, Paraguay



Nota. Elaboración propia mediante SIG,

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con alcance descriptivo y analítico y diseño no experimental y retrospectivo. Se integraron análisis espacial mediante SIG, estadística descriptiva de registros pluviométricos y modelación hidrológica de evento mediante HEC-HMS. La unidad de análisis correspondió exclusivamente a la microcuenca del arroyo Javo; por la naturaleza física y espacial del estudio no se aplicaron conceptos tradicionales de población, muestra o muestreo estadístico.

La información meteorológica correspondió a registros de precipitación de la estación Pilar de la Dirección de Meteorología e Hidrología (DINAC-DMH), utilizando la serie 1990–2023 para la caracterización pluviométrica y registros incrementales horarios para el evento del 10 de mayo de 2019. La cartografía base y la información altimétrica provinieron del Instituto

Nacional de Estadística (INE). La información altimétrica fue procesada e interpolada en ambiente SIG para generar un Modelo Digital del Terreno con tamaño de celda de 15 m.

Tabla 1

Fuentes y características de los datos utilizados

Información	Fuente	Período/año	Resolución/escala	Aplicación
Precipitación mensual	DINAC-DMH	1990–2023	Mensual	Caracterización pluviométrica
Evento de precipitación	DINAC-DMH	10/05/2019	1 h	Simulación HEC-HMS
Cartografía base	INE	2024	1:50.000	Delimitación
Modelo Digital del Terreno	Elaboración propia a partir de información altimétrica del INE	2026	Celda de 15 m	Pendientes y delimitación

Nota. El intervalo de una hora corresponde a la resolución de los datos pluviométricos de entrada. HEC-HMS utilizó un intervalo computacional de un minuto

La delimitación se realizó mediante procesamiento hidrológico en SIG. Sobre el MDT se aplicaron procedimientos de corrección de depresiones, dirección de flujo (Flow Direction) y acumulación de flujo (Flow Accumulation), a partir de los cuales se definieron la red de drenaje y la superficie contribuyente correspondiente al punto de cierre. Posteriormente se calcularon área, perímetro, longitud principal, Coeficiente de Compacidad de Gravelius, Factor de Forma de Horton, elevación media, pendiente media, pendiente del cauce principal, longitud total de cauces y densidad de drenaje.

La serie 1990–2023 se organizó cronológicamente y se analizó mediante estadística descriptiva para obtener la precipitación media anual, los promedios mensuales y la variabilidad temporal. Para la modelación se utilizó el evento histórico del 10 de mayo de 2019, con una precipitación acumulada de 142,45 mm. Los registros incrementales horarios fueron incorporados en HEC-HMS mediante Specified Hyetograph. El evento no corresponde a una tormenta sintética de diseño ni fue asociado directamente con un período de retorno.

La simulación se estructuró mediante Basin Model, Meteorologic Model y Control Specifications. Para las pérdidas se utilizó SCS Curve Number con $CN = 80$ adoptado y abstracción inicial de 12,7 mm. La transformación lluvia–escorrentía se realizó mediante SCS Unit Hydrograph con Lag Time = 7,1 min. No se incorporó flujo base. El CN y el Lag Time se consideraron parámetros adoptados para la simulación y no valores obtenidos mediante calibración con caudales observados. La ausencia de registros observados de caudal impidió realizar procesos independientes de calibración y validación.

Tabla 2*Configuración adoptada para la simulación HEC-HMS*

Componente	Parámetro	Configuración
Subcuenca	Área	0,7497 km ²
Pérdidas	Método	SCS Curve Number
Pérdidas	CN	80
Pérdidas	Abstracción inicial	12,7 mm
Pérdidas	Impervious	0 %
Transformación	Método	SCS Unit Hydrograph
Transformación	Lag Time	7,1 min
Meteorología	Entrada	Specified Hyetograph
Cálculo	Intervalo	1 min

Nota. Impervious = 0 % no representa ausencia física de superficies impermeables; se utilizó porque no se dispuso de una cuantificación espacial independiente de este componente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La delimitación determinó una superficie de 0,7497 km² y un perímetro de 4,8207 km. El Coeficiente de Compacidad de Gravelius fue 1,571 y el Factor de Forma de Horton 0,628, caracterizando una configuración oval-oblonga a alargada. La elevación media fue 55,10 m s.n.m., la pendiente media 1,178 %, la pendiente longitudinal del cauce principal 0,364 % y la densidad de drenaje 1,066 km/km².

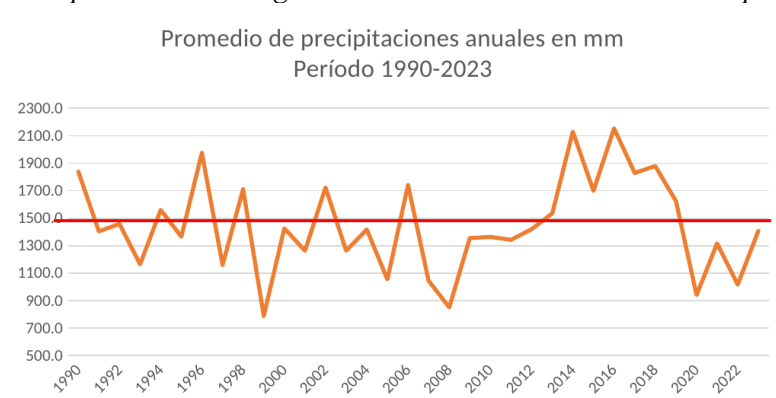
Tabla 3*Parámetros morfométricos de la microcuenca del arroyo Javo*

Parámetro	Valor	Unidad
Área	0,750	km ²
Perímetro	4,821	km
Coeficiente de Compacidad	1,571	Adimensional
Factor de Forma	0,628	Adimensional
Elevación media	55,10	m s.n.m.
Pendiente media	1,178	%
Pendiente del cauce principal	0,364	%
Densidad de drenaje	1,066	km/km ²

La precipitación media anual correspondiente al período 1990–2023 fue de 1.447,1 mm. Los mayores promedios mensuales se registraron en octubre, con 188,4 mm, y abril, con 178,7 mm. Las diferencias observadas entre años y períodos se interpretaron con alcance descriptivo y no como evidencia, por sí sola, de una tendencia climática estadísticamente significativa

Figura 2

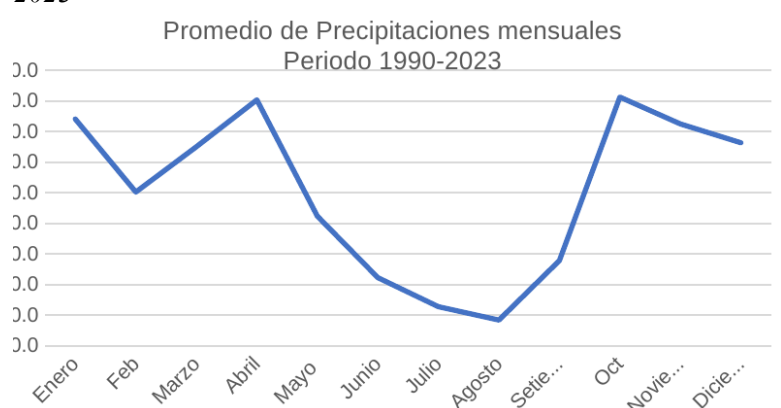
Precipitación anual registrada en la estación Pilar durante el período 1990–2023



Nota. Elaboración propia a partir de registros de DINAC-DMH.

Figura 3

Distribución mensual media de la precipitación en la estación Pilar durante el período 1990–2023

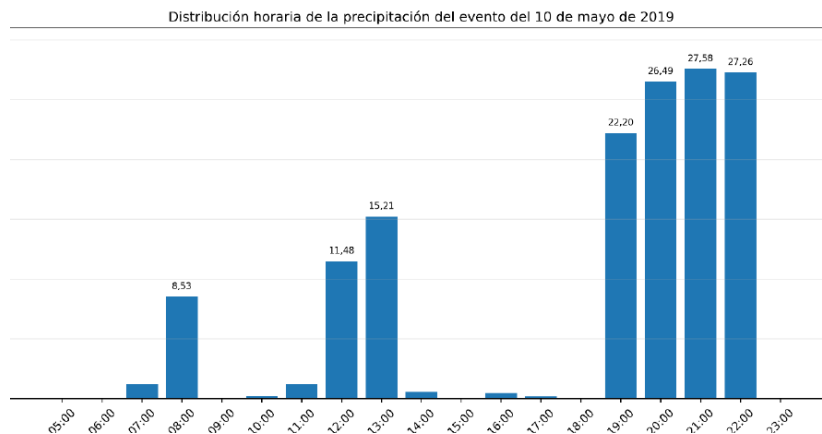


Nota. Elaboración propia a partir de registros de DINAC-DMH.

El evento del 10 de mayo de 2019 acumuló 142,45 mm de precipitación. El modelo estimó pérdidas hidrológicas acumuladas de 55,33 mm y una precipitación efectiva de 87,12 mm, por lo que las pérdidas representaron aproximadamente el 38,8 % de la precipitación total y la precipitación efectiva el 61,2 %. La transformación mediante SCS Unit Hydrograph produjo un caudal máximo simulado de aproximadamente 5,0 m³/s, alcanzado alrededor de las 22:00 h.

Figura 4

Hietograma horario del evento de precipitación del 10 de mayo de 2019 utilizado como entrada en HEC-HMS



Nota. Los valores corresponden a precipitación incremental horaria; precipitación acumulada del evento: 142,45 mm. Elaboración propia a partir de registros DINAC-DMH.

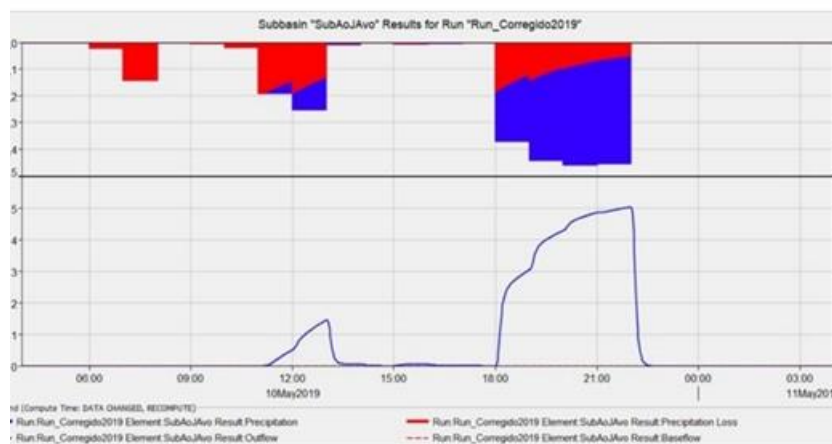
Tabla 4

Resultados principales de la simulación del evento del 10 de mayo de 2019

Variable	Resultado
Precipitación acumulada	142,45 mm
Pérdidas simuladas	55,33 mm
Precipitación efectiva	87,12 mm
Pérdidas respecto al total	38,8 %
Precipitación efectiva respecto al total	61,2 %
Caudal máximo simulado	5,0 m ³ /s
Hora del caudal máximo	22:00 h

Figura 5

Hietograma e hidrograma simulado para el evento del 10 de mayo de 2019



Nota. Simulación realizada mediante HEC-HMS con SCS Curve Number y SCS Unit Hydrograph. El caudal máximo simulado alcanzó aproximadamente 5,0 m³/s a las 22:00 h.

Los resultados morfométricos muestran que la microcuenca del arroyo Javo constituye una unidad de reducida extensión y relieve predominantemente plano. Los valores de $K_c = 1,571$ y $F_r = 0,628$ indican una configuración alejada de una geometría circular compacta. De acuerdo con los principios clásicos del análisis morfométrico, la forma constituye uno de los factores que intervienen en la distribución espacial y temporal de los aportes de escorrentía; sin embargo, su efecto no debe interpretarse de manera aislada (Horton, 1945).

Estudios recientes basados en herramientas geoespaciales coinciden en que la forma, el relieve y la configuración del drenaje deben analizarse conjuntamente para interpretar la respuesta potencial de una cuenca (Obeidat et al., 2021; Shekar & Mathew, 2022). En el arroyo Javo, esta consideración adquiere especial relevancia debido a la pendiente media de 1,178 % y a su localización dentro de un entorno predominantemente urbanizado.

La presencia de edificaciones, calles pavimentadas y otras superficies de baja permeabilidad puede modificar la generación y concentración de escorrentía. Sin embargo, el estudio no cuantificó espacialmente el porcentaje efectivo de impermeabilización ni caracterizó con detalle los grupos hidrológicos de suelo. Por esta razón, el $CN = 80$ utilizado en HEC-HMS debe considerarse una aproximación de modelación y no un parámetro calibrado.

La simulación del evento del 10 de mayo de 2019 produjo una respuesta hidrológica claramente identificable, con 87,12 mm de precipitación efectiva y un $Q_{\max}$ aproximado de 5,0 m^3/s . No obstante, el valor obtenido no representa un caudal observado ni un caudal de diseño, tampoco puede asociarse directamente a un período de retorno. Su interpretación debe limitarse al evento histórico analizado y a la parametrización adoptada.

La principal limitación fue la ausencia de registros hidrométricos observados. Esta condición impidió estimar indicadores de desempeño del modelo y cuantificar la diferencia entre los hidrogramas simulado y real. Por tanto, el principal aporte de la simulación radica en establecer una primera representación cuantitativa del proceso lluvia-escorrentía en la microcuenca y en identificar las necesidades de información para avanzar hacia posteriores etapas de calibración, validación y análisis de sensibilidad.

La novedad del estudio se relaciona con la integración de caracterización morfométrica mediante SIG, análisis pluviométrico histórico y modelación HEC-HMS para una microcuenca urbana de pequeña extensión y relieve plano de la ciudad de Pilar. Esta integración genera una línea base local que puede orientar futuros sistemas de monitoreo, caracterización detallada de impermeabilización, estudios hidráulicos y evaluación de alternativas de drenaje

CONCLUSIONES

La integración de Sistemas de Información Geográfica, registros pluviométricos y modelación HEC-HMS permitió caracterizar las condiciones morfométricas e

hidrometeorológicas de la microcuenca del arroyo Javo y representar su respuesta simulada ante el evento del 10 de mayo de 2019.

La microcuenca posee una superficie aproximada de 0,75 km², una configuración oval-oblonga a alargada y condiciones topográficas predominantemente planas, con pendiente media de 1,178 %. El análisis pluviométrico determinó una precipitación media anual de 1.447,1 mm para 1990–2023.

Para el evento analizado, la precipitación acumulada de 142,45 mm produjo, bajo la parametrización adoptada, pérdidas simuladas de 55,33 mm y precipitación efectiva de 87,12 mm. El hidrograma generado alcanzó un caudal máximo simulado de aproximadamente 5,0 m³/s alrededor de las 22:00 h.

La ausencia de registros observados de caudal impidió calibrar y validar independientemente el modelo. En consecuencia, el $Q_{\text{máx}}$ obtenido representa una estimación correspondiente al evento y a los parámetros adoptados y no constituye un caudal observado, un caudal de diseño ni un valor asociado directamente con un período de retorno.

El estudio establece una línea base morfométrica, pluviométrica e hidrológica para la microcuenca y evidencia la necesidad de incorporar en futuras investigaciones registros de caudal, caracterización detallada de suelos e impermeabilización, análisis de múltiples eventos y modelación hidráulica complementaria.

REFERENCIAS

- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana.
- Dirección de Meteorología e Hidrología. (2024). Registros históricos de precipitación de la estación meteorológica Pilar, período 1990–2023 [Base de datos meteorológica]. Dirección Nacional de Aeronáutica Civil.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275–370.
- Instituto Nacional de Estadística. (2024). Cartografía base utilizada para la delimitación y caracterización de la microcuenca del arroyo Javo [Datos geoespaciales].
- Obeidat, M., Awawdeh, M., & Al-Hantouli, F. (2021). Morphometric analysis and prioritisation of watersheds for flood risk management in Wadi Easal Basin (WEB), Jordan, using geospatial technologies. *Journal of Flood Risk Management*, 14, e12711. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12711>
- Shekar, P. R., & Mathew, A. (2022). Morphometric analysis for prioritizing sub-watersheds of Murredu River basin, Telangana State, India, using a geographical information system. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69, Article 44. <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00094-4>
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In V. T. Chow (Ed.), *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill.
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2023a). HEC-HMS technical reference manual.
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2023b). HEC-HMS user's manual.