Artículo de investigación científica y/o desarrollo tecnológico

Riesgo por avenida torrencial en la quebrada Malpaso, Robledo Aures 2, Medellín

Torrential Flood Risk in the Malpaso Stream, Robledo Aures 2, Medellín

Autor:

Juan Felipe Flórez-Montoya[1*]

Daniela Londoño-Espinosa[2]

Verónica Vanessa García-Pabón[3]

Recibido: *04-09-2025*
Aceptado: *06-11-2025*
Publicado: *25-06-2026*

Palabras clave:

Inundaciones repentinas, reducción del riesgo de desastres, alerta temprana, vulnerabilidad ante desastres, análisis de vulnerabilidad.

Key words:

Floods, disaster risk reduction, flood warning, disaster vulnerability, vulnerability analysis.

Forma de citar este artículo:

Flórez-Montoya, JF; Londoño-Espinosa, D; García-Pabón, VV. Riesgo por avenida torrencial en la quebrada Malpaso, Robledo Aures 2, Medellín. Salud, Trab. Sosten. (Cons. Colomb. Segur). 2026. 3(1): 89-99. *https://doi.org/10.63434/30286999.430*

Resumen

Las avenidas torrenciales en cuencas urbanas de montaña representan una amenaza súbita para la población, la infraestructura y la continuidad territorial. En Robledo Aures 2, barrio de Medellín, Colombia, la quebrada Malpaso combina condiciones físicas y sociales que requieren un análisis integrado del riesgo.

Objetivo: caracterizar la amenaza por avenida torrencial en la quebrada Malpaso y describir la percepción comunitaria sobre alerta temprana y afectaciones previas.

Métodos: estudio descriptivo de enfoque mixto que integró (i) análisis morfométrico de la cuenca y del tramo urbano, (ii) estimación del tiempo de concentración mediante la ecuación de Kirpich y (iii) aproximación semicuantitativa de la amenaza por segmentos con el Índice de Amenaza por Crecidas Torrenciales (IACTC). Además, se aplicó una encuesta comunitaria (n = 45) en junio de 2024.

Resultados: la quebrada cuenta con 12 afluentes, un cauce principal de 7232 km y una pendiente media de 26,78 %, con un tiempo de concentración entre 0,30 y 0,60 h. El análisis por segmentos evidenció una amenaza media en el sector Carretera San Pedro-San Cristóbal y una amenaza alta en los sectores Chispero y Carrera 95AA asociados a movimiento en masa. También se identificaron puntos críticos asociados con obstrucciones hidráulicas, desbordamientos y erosión de márgenes. En la encuesta predominó el desconocimiento sobre componentes instalados del sistema de alerta temprana y la baja participación en actividades formales de preparación y respuesta a emergencias.

[1*] Magíster en cambios globales y riesgo de desastres. Docente del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001438536. Correo: juan_florez02082@elpoli.edu.co. Autor de correspondencia.

[2] Ingeniera en Seguridad y Salud en el Trabajo. Egresada del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002449258. Correo: Correo: daniela_londono11191@elpoli.edu.co.

[3] Ingeniera en Seguridad y Salud en el Trabajo. Egresada del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002449758. Correo: veronica_garcia11191@elpoli.edu.co.

Revista Salud, Trabajo y Sostenibilidad.
2026; 3(1): 89-99. ISSN: 3028-6999 (en línea)

Conclusiones: la cuenca exhibe condiciones geomorfológicas que favorecen respuestas hidrológicas aceleradas; la reducción del riesgo requiere mantenimiento preventivo del corredor hídrico y fortalecimiento de capacidades comunitarias articuladas con la alerta y la respuesta institucional.

Abstract

Torrential floods in urban mountain watersheds pose sudden threats to people, infrastructure, and local continuity. In Robledo Aures 2, the Malpaso stream combines physical and social conditions that require integrated risk analysis.

Objective: To characterize the hazard of torrential flooding in the Malpaso stream and describe community perceptions of early warning systems and previous impacts.

Methods: A descriptive mixed-methods study was conducted, combining (i) morphometric analysis of the watershed and the urban reach, (ii) estimation of the time of concentration using the Kirpich Equation, and (iii) a semi-quantitative hazard assessment by segments using the Torrential Flood Hazard Index (IACTC, by its Spanish acronym). Additionally, a community survey (n = 45) was conducted in June 2024.

Results: The stream has 12 tributaries, a 7,232 km main channel, and a mean basin slope of 26.78%, with an estimated time of concentration between 0.30 and 0.60 h. Segment analysis showed medium hazard in the Carretera San Pedro–San Cristóbal sector and a high hazard in the mass-movement, Chispero, and carrera 95AA sectors. Critical points were associated with hydraulic obstructions, overflow, and bank erosion. Survey results showed limited knowledge of installed early warning components and low participation in formal preparedness and emergency response activities.

Conclusions: Geomorphic conditions favor a rapid hydrological response; risk reduction should prioritize preventive maintenance and the strengthening of community capacities integrated with institutional warning and response systems.

Introducción

Las inundaciones repentinas *(flash floods)* se caracterizan por incrementos rápidos del caudal en periodos cortos, especialmente en cuencas pequeñas y de alta pendiente, con elevada capacidad de transporte de material sólido y potencial de daño sobre viviendas, vías e infraestructura urbana (1). En Colombia, estos procesos se han documentado de manera recurrente en corredores de quebradas y laderas, donde la combinación de lluvias intensas, ocupación de rondas hídricas y transformaciones del suelo aumenta la exposición y la susceptibilidad a pérdidas humanas y materiales (2, 3).

En ambientes tropicales de montaña, como los Andes colombianos, la fuerte pendiente, la alta densidad de drenaje y la variabilidad espacial de la precipitación favorecen respuestas hidrológicas aceleradas y condiciones propicias para avenidas torrenciales (4, 5). Al mismo tiempo, la literatura reciente subraya que los sistemas de alerta temprana eficaces deben ser integrales, centrados en las personas y articulados con conocimiento del riesgo, monitoreo y pronóstico, comunicación y capacidad de respuesta (6–8, 21). No obstante, persisten brechas en la llamada "última milla", relacionadas con comprensión limitada del riesgo, confianza en los mensajes y capacidad de actuación bajo incertidumbre (9, 10, 20).

En Colombia, la gestión del riesgo se enmarca en la Ley 1523 de 2012 y en normas sectoriales sobre ordenamiento territorial y manejo del corredor hídrico urbano (11, 12). En el Valle de Aburrá, experiencias asociadas al Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA) han mostrado que la educación, el monitoreo instrumental y la articulación entre instituciones y comunidades fortalece la comprensión del riesgo y la capacidad de respuesta (13, 14, 16, 22).

La quebrada Malpaso, en Robledo Aures 2, constituye un caso de interés por tratarse de un corredor hídrico inserto en un entorno urbano de ladera, con

antecedentes de obstrucciones, erosión y preocupación comunitaria frente a lluvias intensas. En este contexto, la combinación de enfoques comunitarios e institucionales resulta clave para evitar mensajes confusos y mejorar la coordinación en la acción temprana (15). Por ello, el presente estudio analizó la amenaza por avenida torrencial en este tramo y describió aspectos de la percepción comunitaria relevantes para fortalecer la alerta temprana y la respuesta local.

Materiales y métodos

Entre junio y septiembre de 2024 se llevó a cabo un estudio descriptivo, de enfoque mixto, en el barrio Robledo Aures 2 (Medellín, Colombia), específicamente en el corredor de la quebrada Malpaso. Para la caracterización física se efectuó un análisis morfométrico con revisión de cartografía y verificación en campo. Se registraron el número de afluentes, la longitud del cauce principal (L) y la pendiente media de la cuenca (S). El tiempo de concentración (Tc) se estimó con la ecuación de Kirpich para cuencas pequeñas con canales definidos, Tc = 0,0078. (L^2 / S)^0,385, y se reportó en horas (17). La amenaza se clasificó por segmentos mediante el Índice de Amenaza por Crecidas Torrenciales (IACTC), calculado a partir de factores geomorfológicos y del estado del canal, siguiendo la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano y antecedentes regionales sobre avenidas torrenciales en el Valle de Aburrá (5, 18).

Los puntos críticos se identificaron mediante recorridos del cauce, con registro de áreas susceptibles a obstrucción por residuos, estrechamientos o estructuras, así como de sectores con socavación o inestabilidad de taludes. Para la dimensión social se aplicó una encuesta estructurada a una muestra no probabilística por conveniencia de 45 residentes del sector, entrevistados los días 18 y 24 de junio de 2024, con el fin de documentar el nivel de conocimiento de componentes de alerta, la participación en actividades de preparación y respuesta y el reporte de pérdidas asociadas a eventos previos. Las respuestas se analizaron con estadística descriptiva (frecuencias absolutas y relativas) y se representaron en gráficos. La participación fue voluntaria y anónima; se obtuvo consentimiento informado escrito y no se recolectaron datos sensibles que permitieran la identificación de los participantes. El estudio se condujo bajo criterios de riesgo mínimo, confidencialidad y uso exclusivamente académico de la información.

Tabla 1. Parámetros morfométricos y métricas hidrológicas de la quebrada Malpaso

Variable	Valor
Número de afluentes	12
Longitud del cauce principal (L)	7232 km
Pendiente media de la cuenca (S)	26,78 %
Pendiente longitudinal del tramo analizado	0,15
Tiempo de concentración (Tc) estimado	0,30–0,60 h

Fuente: *elaboración propia con base en cartografía e insumos de la Alcaldía de Medellín (2023).*

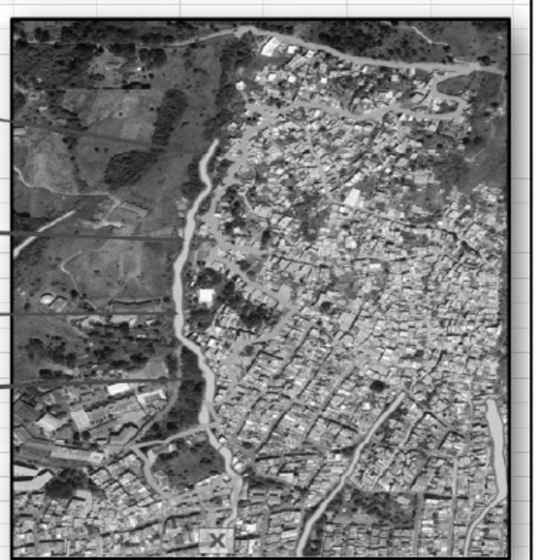
Revista Salud, Trabajo y Sostenibilidad.
2026; 3(1): 89-99. ISSN: 3028-6999 (en línea)

Los parámetros resumidos en la tabla 1 muestran una cuenca con condiciones favorables para una respuesta hidrológica veloz. La presencia de 12 afluentes, una longitud principal de 7232 km, una pendiente media de 26,78 % y un tiempo de concentración inferior a una hora indican que la quebrada puede concentrar rápidamente la escorrentía durante lluvias intensas, rasgo típico de sistemas susceptibles a inundaciones repentinas y avenidas torrenciales (1, 4). Además, la pendiente longitudinal del tramo analizado (0,15) sugiere capacidad para movilizar agua y sedimentos a gran velocidad en el corredor urbano intervenido.

Figura 1. Clasificación de amenaza por segmentos en el cauce principal de la quebrada Malpaso (IACTC)

Caracterización según nivel de amenaza.

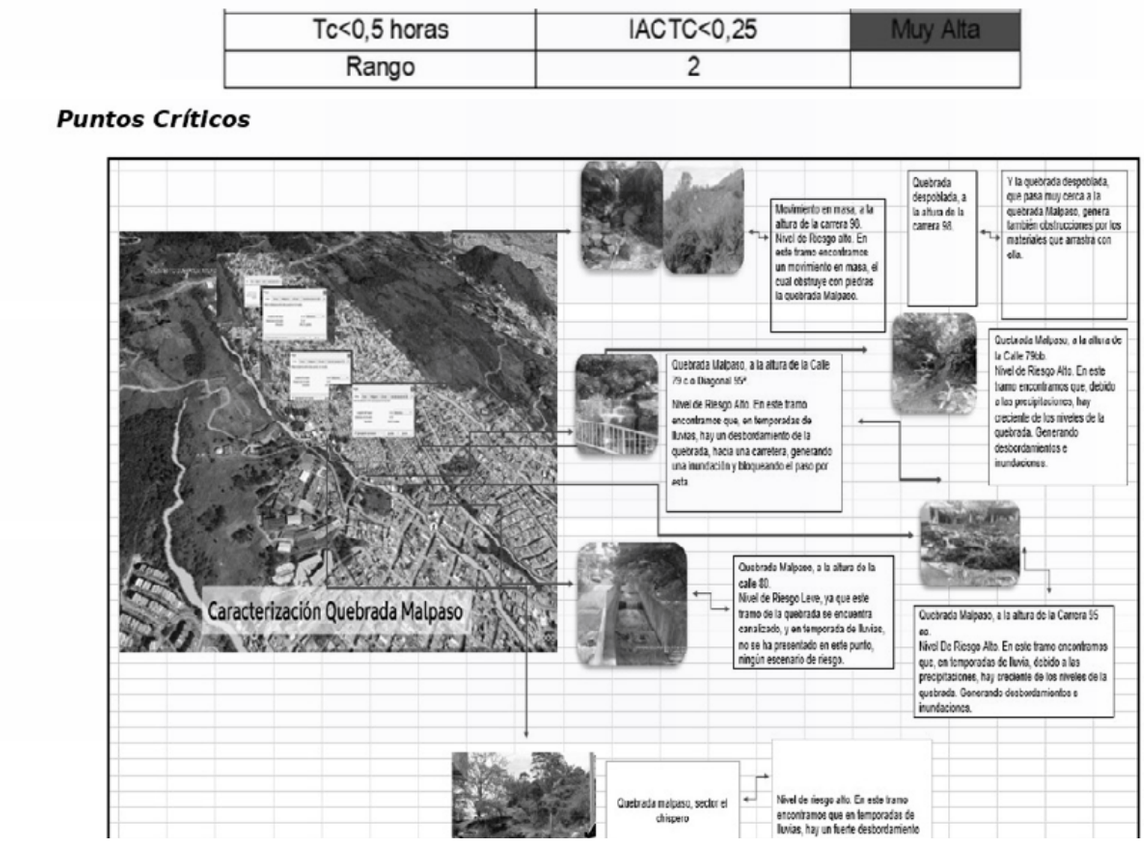
Sección	L (Km)	S	Tc (L/√S)^0.77	Amenaza
Carretera San Pedro-San Cristóbal	0,21	0,15	0,6	Media
Movimiento en masa	0,14	0,15	0,46	Alto
Chispero	0,08	0,15	0,3	Alto
Cra. 95AA	0,15	0,15	0,48	Alto



Fuente: *elaboración propia.*

La figura 1 evidencia variabilidad espacial de la amenaza a lo largo del cauce principal. El sector Carretera San Pedro-San Cristóbal presentó amenaza media, con L = 0,21, S = 0,15 y Tc = 0,6 h, mientras que los sectores del movimiento en masa ("mvto en masa"), Chispero y Cra 95AA registraron amenaza alta, con tiempos de concentración entre 0,30 y 0,48 h. Estos resultados indican que, aun dentro de un mismo corredor hídrico, existen tramos con diferente capacidad de respuesta y distinto nivel de criticidad, lo que justifica intervenciones diferenciadas de monitoreo, mantenimiento y preparación comunitaria.

Figura 2. Puntos críticos identificados en el corredor de la quebrada Malpaso (obstrucciones y procesos de erosión)

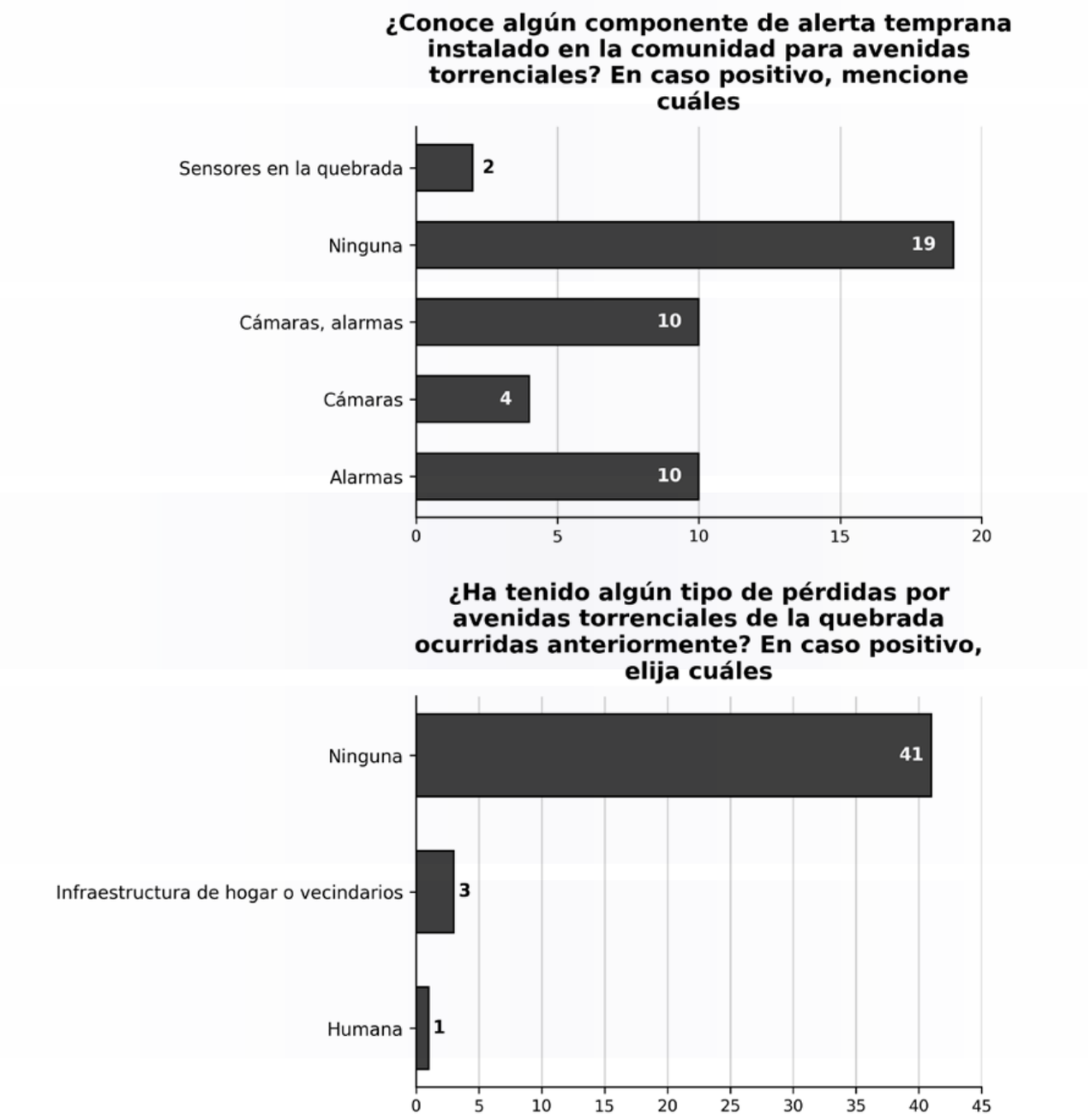


Fuente: *elaboración propia.*

En la figura 2 se pueden evidenciar varios puntos críticos en el corredor de la quebrada Malpaso. En la zona de la carrera 98 se observaron procesos de movimiento en masa y un tramo desdoblado de la quebrada con presencia de obstrucciones por materiales. En el sector de la calle 79 con diagonal 95 se identificó riesgo alto por deslizamiento hacia la vía y posible bloqueo del flujo. También se reportaron condiciones de riesgo alto por crecientes y desbordamientos en la calle 79B, la carrera 95 y el sector Chispero, este último asociado a fuertes desbordamientos en temporadas de lluvia. Solo la calle 80 mostró un nivel de riesgo leve, sin escenario de riesgo evidente durante la visita. En conjunto, estos hallazgos sugieren que la amenaza no depende únicamente de la morfometría general de la cuenca, sino también del estado local del cauce, la ocupación urbana y la presencia de elementos que pueden obstruir el flujo o favorecer erosión.

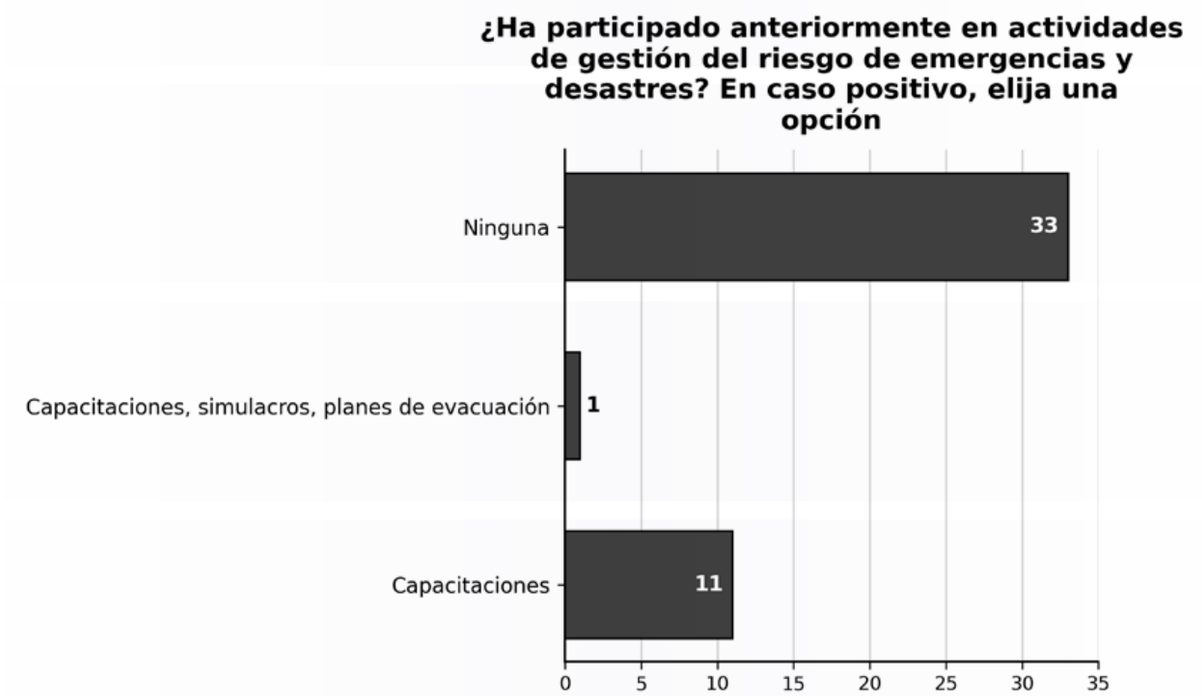
Revista Salud, Trabajo y Sostenibilidad.
2026; 3(1): 89-99. ISSN: 3028-6999 (en línea)

Figura 3. Conocimiento comunitario sobre componentes de alerta temprana y reporte de pérdidas por avenidas torrenciales (n = 45)



Fuente: *elaboración propia.*

Figura 4. Participación comunitaria reportada en actividades de gestión del riesgo de emergencias y desastres (n = 45)



Fuente: elaboración propia.

En la encuesta comunitaria predominó el desconocimiento sobre componentes instalados del sistema de alerta temprana (figura 3). Diecinueve personas (42,2 %) indicaron no conocer ninguno; 10 (22,2 %) mencionaron alarmas; otras 10 (22,2 %) reportaron la combinación de cámaras y alarmas; cuatro (8,9 %) señalaron solo cámaras y dos (4,4 %) identificaron sensores en la quebrada. Frente a las pérdidas asociadas a eventos previos, 41 participantes (91,1 %) manifestaron no haber tenido pérdidas, tres (6,7 %) reportaron afectaciones en infraestructura del hogar o vecindarios y una persona (2,2 %) mencionó pérdidas humanas. La participación en actividades formales de preparación y respuesta a emergencias también fue baja (figura 4): 33 residentes (73,3 %) afirmaron no haber participado en ninguna actividad, 11 (24,4 %) reportaron haber asistido a capacitaciones y solo una persona (2,2 %) señaló su participación simultánea en capacitaciones, simulacros y planes de evacuación. En conjunto, estos resultados muestran una brecha entre la exposición potencial al fenómeno y la apropiación social de los mecanismos de alerta, preparación y respuesta.

Discusión

La quebrada Malpaso presenta características geomorfológicas compatibles con cuencas propensas a crecidas súbitas: pendiente pronunciada, red de drenaje con múltiples aportes y tiempos

Revista Salud, Trabajo y Sostenibilidad.
2026; 3(1): 89-99. ISSN: 3028-6999 (en línea)

de concentración cortos (1, 4, 5, 17). Estos rasgos coinciden con estudios desarrollados en Colombia, donde las avenidas torrenciales se asocian a cuencas de montaña con respuesta hidrológica acelerada y alta capacidad de daño sobre infraestructura y asentamientos expuestos (2, 3, 23). En el caso analizado, la combinación entre la morfometría general y la presencia de puntos locales de obstrucción o erosión refuerza la necesidad de interpretar la amenaza como un proceso espacialmente heterogéneo y no como una condición uniforme a lo largo de todo el cauce.

En la dimensión social, el escaso reconocimiento de componentes de alerta y la baja participación en actividades de preparación y respuesta a emergencias coinciden con investigaciones que describen falencias persistentes en la articulación entre sistemas institucionales y comunitarios de alerta temprana, así como problemas de confianza, apropiación y traducción del mensaje a acciones oportunas (6–10, 20, 21). La literatura también muestra que la efectividad de una alerta depende de que los umbrales técnicos, los canales de comunicación y la claridad del mensaje estén alineados con la experiencia y las capacidades de la población receptora (10, 19, 20). Por ello, en contextos urbanos de ladera como Robledo Aures 2, la reducción del riesgo no puede limitarse al monitoreo instrumental, sino que debe incorporar procesos de educación, señalización, simulación y comunicación comprensible para la comunidad.

Experiencias reportadas en Medellín, Manizales y el Valle de Aburrá descritas en otros estudios, muestran que los sistemas de alerta temprana ganan efectividad cuando se combinan monitoreo técnico, educación comunitaria, evaluación de indicadores y espacios de coproducción del conocimiento (13, 14, 16, 22, 24). Este aprendizaje es pertinente para la quebrada Malpaso, donde la identificación de tramos de amenaza alta y la baja participación comunitaria sugieren la conveniencia de fortalecer rutas de comunicación entre residentes, líderes barriales e instituciones, así como de desarrollar acciones periódicas de capacitación y reconocimiento de puntos críticos. Además, estudios recientes en barrios populares del área metropolitana han mostrado que la desigualdad socioespacial incrementa la exposición y la severidad de los impactos asociados a lluvias extremas y movimientos en masa, por lo que la gestión del riesgo debe integrar variables sociales junto con la amenaza física (25).

Entre las limitaciones del estudio se encuentra el tamaño reducido de la muestra social y el carácter transversal de la encuesta, que permite describir percepciones, pero no cambios en el tiempo. De igual manera, el IACTC constituye una aproximación semicuantitativa que debería complementarse en futuros trabajos con series hidrometeorológicas, aforos, modelación hidráulica o hidrodinámica y análisis más detallados de vulnerabilidad. Aun así, la integración entre la evaluación física del cauce y la percepción comunitaria aporta una base útil para orientar medidas preventivas, priorizar sectores críticos y fortalecer la preparación local.

Conclusiones

La quebrada Malpaso presenta una configuración geomorfológica que favorece respuestas hidrológicas veloces, con tiempo de concentración menor de una hora y variabilidad espacial de la amenaza a lo largo del cauce principal. Los sectores clasificados con amenaza alta y la identificación de puntos críticos por obstrucción, desbordamiento y erosión muestran que el mantenimiento preventivo del corredor hídrico constituye una medida prioritaria de reducción del riesgo.

En paralelo, la encuesta evidenció debilidades en el conocimiento comunitario de los componentes de alerta y una participación limitada en actividades formales de preparación y respuesta a emergencias, lo que sugiere la necesidad de fortalecer procesos de educación, comunicación del riesgo y articulación con la respuesta institucional. En consecuencia, la gestión del riesgo en la quebrada Malpaso debe integrar monitoreo, mantenimiento, participación comunitaria y acciones preventivas focalizadas en los tramos más críticos del corredor urbano.

Como aplicación práctica, los resultados pueden orientar la priorización de mantenimiento del cauce, la señalización de puntos críticos, la programación de simulacros barriales y el ajuste de protocolos locales de alerta temprana. Futuros estudios deberían incorporar series hidrometeorológicas, modelación hidrodinámica, análisis de vulnerabilidad física y social y evaluación de la efectividad de las medidas de alerta y respuesta implementadas en el territorio.

Declaraciones de financiación y agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado como ejercicio académico sin financiación externa declarada. Así mismo, no se declaran conflictos de interés.

Se reconoce el apoyo de residentes del barrio Robledo Aures 2 durante las jornadas de campo y la orientación técnica recibida en temas de alerta temprana y gestión del riesgo.

Revista Salud, Trabajo y Sostenibilidad.
2026; 3(1): 89-99. ISSN: 3028-6999 (en línea)

Referencias bibliográficas

1. Duan L, Liu C, Xu H, Pan H, Liu H, Yan X, et al. Susceptibility assessment of flash floods: a bibliometrics analysis and review. Remote Sens. 2022;14(21):5432. https://doi.org/10.3390/rs14215432.

2. Aristizábal E, Arango Carmona MI, García López IK. Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos. Cuad Geogr Rev Colomb Geogr. 2020;29(1):242-258. https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.72612.

3. Aristizábal EV, Correa D, García Cadavid C, Valencia Londoño AM, Zabaleta Benavides EA. Geohazard: base de datos por movimientos en masa y avenidas torrenciales en Colombia y el departamento de Antioquia. Cienc Ing Neogranadina. 2025;35(1):131-147. https://doi.org/10.18359/rcin.7786.

4. Arango MI, Aristizábal E, Gómez F. Morphometrical analysis of torrential flows-prone catchments in tropical and mountainous terrain of the Colombian Andes by machine learning techniques. Nat Hazards. 2021;105(1):983-1012. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04346-5.

5. Guerrero-Hoyos LA, Aristizábal-Giraldo EV. Estimación y análisis de umbrales críticos de lluvia para la ocurrencia de avenidas torrenciales en el Valle de Aburrá (Antioquia). Rev EIA. 2019;16(32):97-111. https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1281.

6. Hermans TDG, Šakić Trogrlić R, van den Homberg MJC, Bailon H, Sarku R, Mosurska A. Exploring the integration of local and scientific knowledge in early warning systems for disaster risk reduction: a review. Nat Hazards. 2022;114(2):1125-1152. https://doi.org/10.1007/s11069-022-05468-8.

7. Budimir M, Šakić Trogrlić R, Almeida C, et al. Opportunities and challenges for people-centered multi-hazard early warning systems: perspectives from the Global South. iScience. 2025;28(5):112353. https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112353.

8. Islam MM, Hasan M, Mia MS, Al Masud A, Towfiqul Islam ARM. Early warning systems in climate risk management: roles and implementations in eradicating barriers and overcoming challenges. Nat Hazards Res. 2025;5(3):523-538. https://doi.org/10.1016/j.nhres.2025.01.007.

9. Tupper AC, Fearnley CJ. Disaster early-warning systems are "doomed to fail" - only collective action can plug the gaps. Nature. 2023;623(7987):478-482. https://doi.org/10.1038/d41586-023-03510-8.

10. Rana IA, Bhatti SS, Jamshed A. Effectiveness of flood early warning system from the perspective of experts and three affected communities in urban areas of Pakistan. Environ Hazards. 2021;20(3):209-228. https://doi.org/10.1080/17477891.2020.1751031.

11. Congreso de la República de Colombia. Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Diario Oficial No. 48.411 de 24 de abril de 2012. Disponible en: https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Normatividad/LEY%201523%20DEL%2024%20DE%20ABRIL%20DE%202012.pdf

12. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Decreto 1077 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Diario Oficial No. 49.523 de 26 de mayo de 2015. Disponible en: https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-07/1077-2015.pdf

13. Herrera-López AC, Parra Góez MA, Prieto Parra E. Una estrategia educativa del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá para la gestión del riesgo de desastres. Rev Estud Exp Educ. 2025;24(56):301-335. https://doi.org/10.21703/rexe.v24i56.3002.

14. Werthmann C, Sapena M, Kühnl M, Singer J, Garcia C, Breuninger T, et al. Insights into the development of a landslide early warning system prototype in an informal settlement: the case of Bello Oriente in Medellín, Colombia. Nat Hazards Earth Syst Sci. 2024;24:1843-1870. https://doi.org/10.5194/nhess-24-1843-2024.

15. Henao Salgado MJ, Alfonso L, Vélez Upegui JJ. Towards integrating community and institutional flood early warning systems: a framework applied to an Andean tropical case. Int J Disaster Risk Reduct. 2025;116:105126. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.105126.

16. Zambrano Nájera J, Luna CC, Vélez Upegui JJ. Performance assessment of indicators of a multi-hazards early warning system in an urban mountain region. Int J Disaster Risk Reduct. 2024;112:104767. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104767.

17. Kirpich ZP. Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Engineering. 1940;10(6):362-368.

18. Servicio Geológico Colombiano. Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano; 2021. https://doi.org/10.32685/9789585313156.

19. Zhang R, Liu D, Xiong L, Chen J, Chen H, Yin J. Determining the threshold of issuing flash flood warnings based on people's response process simulation. Hydrol Earth Syst Sci. 2024;28:5229-5247. https://doi.org/10.5194/hess-28-5229-2024.

20. Peters LER, Clark-Ginsberg A, McCaul B, Cáceres G, Nuñez AL, Balagna J, et al. Informality, violence, and disaster risks: coproducing inclusive early warning and response systems in urban informal settlements in Honduras. Front Clim. 2022;4:937244. https://doi.org/10.3389/fclim.2022.937244.

21. Chovanec D, Kollár B, Halúsková B, Kubás J, Pawęska M, Ristvej J. A component-based approach to early warning systems: a theoretical model. Appl Sci. 2025;15(6):3218. https://doi.org/10.3390/app15063218.

22. Luna CC, Zambrano Nájera J, Vélez Upegui JJ. Lessons learned from flash floods early warning system in a mountainous rur-urban region of Colombia. Environ Chall. 2025;20:101199. https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101199.

23. Chaverra AF, Aristizábal VH, Rios Arboleda JD. Análisis con HEC-RAS 2D de eventos torrenciales: caso quebrada La Liboriana del municipio de Salgar. Rev EIA. 2025;22(43):4324. https://doi.org/10.24050/reia.v22i43.1802.

24. Builes-Jaramillo A, Winson AEG, Bee E, Quirós N, Urán D, Rúa J, et al. Community-driven natural hazard and physical vulnerability assessment in a disaster-prone urban neighborhood. Nat Hazards Earth Syst Sci. 2025;25:4451-4473. https://doi.org/10.5194/nhess-25-4451-2025.

25. Ozturk U, Braun A, Gómez-Zapata JC, et al. Urban poor are the most endangered by socio-natural hazards, but not exclusively: the 2025 Granizal landslide case. Landslides. 2026;23(4):1179-1185. https://doi.org/10.1007/s10346-025-02680-y.