

# MITIGACIÓN DE INUNDACIONES GENERADAS POR EL DESBORDAMIENTO DE LA QUEBRADA DE CUNDUANA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, ECUADOR

## MITIGATION OF FLOODS GENERATED BY THE OVERFLOW OF THE CUNDUANA RAVINE IN THE CITY OF RIOBAMBA, ECUADOR

Alfredo Rodrigo Colcha Ortiz<sup>1</sup>, Raúl Alexis Salazar Flores<sup>2</sup>, Jessica Paulina Brito Noboa<sup>3</sup>,  
Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza<sup>4</sup>

{alfredo.colcha@unach.edu.ec<sup>1</sup>, raul.salazar@unach.edu.ec<sup>2</sup>, jessica.brito@unach.edu.ec<sup>3</sup>, hypazmino@unach.edu.ec<sup>4</sup>}

Fecha de recepción: 6/11/2024

/Fecha de aceptación: 16/11/2024

/Fecha de publicación: 2/12/2024

**RESUMEN:** La quebrada de Cunduana ubicado al norte de Riobamba, Ecuador, es una fuente histórica de recursos hídricos y una parte importante del ecosistema de la región. Sin embargo, el crecimiento descontrolado de la urbanización, la infraestructura inadecuada y el cambio climático han aumentado la frecuencia y gravedad de las inundaciones en la región, causando daños importantes a la infraestructura, las viviendas y los medios de vida locales. El objetivo de este estudio fue evaluar estrategias de mitigación de inundaciones provocadas por el desbordamiento del río Cunduana en Riobamba, Ecuador. Se utilizó un enfoque de método mixto, que combina análisis cualitativos y cuantitativos utilizando técnicas geoespaciales y levantamientos automatizados. Para determinar la ubicación óptima del agua de lluvia se utilizó un análisis multicriterio, teniendo en cuenta los parámetros de proximidad a la red de colectores, accesibilidad y zonas más afectadas por el desbordamiento. Los resultados mostraron que los lugares más amenazados se encuentran en las sucursales con canales significativamente modificados y espacio desorganizado. El modelo hidráulico predice una profundidad máxima de 6,28 m en la zona de riesgo. La ubicación propuesta del depósito de aguas pluviales cumple con criterios estratégicos de accesibilidad, proximidad a alcantarillados y zonas peligrosas. Una combinación de técnicas geoespaciales y análisis multidimensional logró identificar áreas vulnerables y recomendar soluciones de mitigación. La captación de agua de lluvia es evitar la acumulación de agua durante las fuertes lluvias, reduciendo así la posibilidad de desbordes y el riesgo de inundaciones.

<sup>1</sup>Docente Investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0009-0005-2280-5189>.

<sup>2</sup>Docente Investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-6483-2613>.

<sup>3</sup>Docente Investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-5550-5688>.

<sup>4</sup>Docente Investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-7169-7648>.

*Palabras clave: Sistema de información geográfica, inundaciones urbanas, análisis multicriterio, mitigación de riesgos, quebrada de Cunduana*

**ABSTRACT:** The Cunduana Ravine located north of Riobamba, Ecuador, is a historical source of water resources and an important part of the region's ecosystem. However, uncontrolled urbanization growth, inadequate infrastructure, and climate change have increased the frequency and severity of flooding in the region, causing significant damage to infrastructure, housing, and local livelihoods. The objective of this study was to evaluate flood mitigation strategies caused by the overflow of the Cunduana River in Riobamba, Ecuador. A mixed-method approach was used, combining qualitative and quantitative analysis using geospatial techniques and automated surveys. To determine the optimal location of the rainwater, a multi-criteria analysis was used, taking into account the parameters of proximity to the collector network, accessibility, and areas most affected by the overflow. The results showed that the most threatened locations are in the branches with significantly modified channels and disorganized space. The hydraulic model predicts a maximum depth of 6.28 m in the risk zone. The proposed location of the stormwater tank meets strategic criteria of accessibility, proximity to sewers and hazardous areas. A combination of geospatial techniques and multidimensional analysis was able to identify vulnerable areas and recommend mitigation solutions. Rainwater harvesting is intended to prevent water accumulation during heavy rains, thus reducing the possibility of overflows and the risk of flooding.

**Keywords:** Geographic information system, urban flooding, multicriteria analysis, risk mitigation, Cunduana ravine

## INTRODUCCIÓN

Las inundaciones urbanas representan una de las amenazas más significativas para las ciudades en desarrollo, especialmente en aquellas ubicadas en regiones montañosas como Riobamba, Ecuador, la Quebrada de Cunduana, ubicada en el sector norte de la ciudad, ha sido históricamente una fuente de recursos hídricos y un componente importante del ecosistema local. Sin embargo, el crecimiento descontrolado de la urbanización, la falta de infraestructura adecuada y el cambio climático han incrementado la frecuencia y magnitud de las inundaciones en esta área.

En los últimos años, el desbordamiento de la Quebrada de Cunduana ha causado daños significativos a la infraestructura, viviendas, y medios de vida de los habitantes locales, este fenómeno ha revelado la necesidad urgente de implementar estrategias de mitigación efectivas para reducir el riesgo de inundaciones y sus consecuencias socioeconómicas en la ciudad de Riobamba, a pesar de la gravedad de la situación, los estudios previos sobre las inundaciones en esta área han sido limitados y, en su mayoría, carecen de un enfoque integral que considere las características geomorfológicas de la quebrada y las dinámicas hídricas locales.

Los desafíos en la gestión de inundaciones incluyen la creciente complejidad causada por el cambio climático, que aumenta la frecuencia y magnitud de las precipitaciones extremas, y la falta de preparación de las infraestructuras urbanas para lidiar con el flujo de agua excesivo. Además, la recopilación de datos detallados y la calibración precisa de los modelos sigue siendo una barrera significativa, especialmente en áreas densamente pobladas donde la topografía es compleja. Las estrategias de mitigación integrales incluyen la transición hacia un enfoque basado en la gestión de riesgos, que combina medidas estructurales, como diques y sistemas de drenaje, con medidas no estructurales, como la planificación del uso del suelo, la sensibilización comunitaria y la implementación de soluciones basadas en la naturaleza (1).

En el evento de precipitación registrado en marzo del 2021 en la ciudad de Riobamba, el cual presentaba un volumen de precipitación de 26 milímetros en un periodo de 27 horas, generando, según los resultados de la modelización: un caudal pico de 2.7 (m<sup>3</sup>/s), hizo que la quebrada se desborde, los resultados indicaron que las áreas afectadas durante el evento registrado en 2021 podrían expandirse significativamente en un escenario de 50 años, alcanzando mayores profundidades y velocidades de flujo, esto implica un incremento de la erosión del suelo, el arrastre de sedimentos y objetos grandes, lo que representa un alto riesgo para las áreas urbanas cercanas. Se sugiere la construcción de un colector de aguas pluviales en el punto de desagüe de la quebrada para mitigar el riesgo de inundaciones y reducir la vulnerabilidad de la población urbana (2).

La quebrada de Cundwana en los últimos 10 años ha tenido diversas alteraciones en su cauce por diferentes razones, gracias al avance tecnológico de la orto fotometría se ha estudiado información de los años 2013, 2018 y 2022, permitiendo comprobar el desarrollo de la zona y los cambios que ha sufrido a través del tiempo, destacando como el principal motivo de cambio las actividades antrópicas, esto debido a la falta de planificación y el inadecuado uso del suelo, encontrando diversas causas como la creación de rellenos ilícitos, ocupación minera, vías por sobre la quebrada y construcciones residenciales sin permisos y supervisión. Además, se pudo establecer que el alineamiento original de la quebrada está perdiendo su rastro con el paso del tiempo y el desarrollo de la población de la zona, todo esto contribuye a que exista una alta probabilidad de inundaciones por el desbordamiento de la quebrada (3).

A lo largo del tiempo se buscan alternativas para la mitigación de inundaciones en las zonas urbanas como los Techos Verdes que ofrecen un mayor retraso entre la precipitación y el pico de escorrentía, reduciendo hasta un 15% el flujo de agua durante eventos extremos de lluvia, aunque los techos verdes son menos eficientes económicamente, ofrecen beneficios adicionales como la mejora de la biodiversidad y la reducción de la temperatura urbana, por otro lado, los sistemas de recolección de agua pluvial se destacan por ser más rentables y versátiles, especialmente en techos inclinados, con la capacidad de reutilizar el agua almacenada para usos domésticos no potables. Se podría optar por una combinación de techos verdes y sistemas de recolección de agua pluvial que proporcionan la mayor reducción del flujo, sugiriendo su implementación en zonas urbanas para mejorar la resiliencia frente a inundaciones (4).

Los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en una herramienta para explorar el uso del modelado hidrodinámico para mitigar inundaciones en áreas urbanas de rápido crecimiento, se pueden aplicar varias técnicas para simular la susceptibilidad y vulnerabilidad de inundaciones, considerando mapas de uso del suelo y modelos de elevación digital (DEM). El uso de un DEM de alta resolución mejora la precisión de la simulación, permitiendo una mejor identificación de áreas propensas a inundaciones y mejorando la efectividad para modelar la acumulación de agua, ya que permite una simulación más realista del flujo en zonas urbanas densas. La gestión adecuada de aguas pluviales requiere de modelos precisos para la implementación de infraestructuras así también la integración de soluciones basadas en la naturaleza, como techos verdes y sistemas de recolección de agua pluvial, para mejorar la resiliencia urbana (5).

En la actualidad se utiliza la metodología del Análisis Multicriterio Espacial (SMCA) para identificar áreas óptimas de implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza para mitigar inundaciones urbanas, se destaca soluciones, como techos verdes, jardines de lluvia y pavimentos permeables e infraestructuras que pueden reducir el riesgo hidrogeológico y mejorar la resiliencia urbana frente a inundaciones, especialmente en áreas de rápido crecimiento urbano. Al combinar datos geoespaciales, como uso del suelo, distancia a ríos, textura del suelo, elevación y pendiente, se puede identificar áreas vulnerables a escorrentías superficiales e inundaciones, haciendo estos lugares propicios o adecuados para la implementación de infraestructuras complementarias que deben adaptarse a las características específicas del área para mitigar el riesgo (6).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, integrando tanto elementos cualitativos como cuantitativos para un análisis completo de los procesos involucrados. Además, se realizó una revisión descriptiva de artículos científicos relevantes al tema, lo que permitió comprender el contexto y verificar hechos históricos relacionados con los desbordamientos de la quebrada de Cunduana en Riobamba.

La presente investigación es de carácter prospectivo ya que se enfoca en anticipar y mitigar futuros desbordamientos de la quebrada de Cunduana, evaluando posibles escenarios de riesgo, además, permite la identificación de sitios para la construcción de infraestructura de mitigación, como el Tanque de Tormentas, que responde a una estrategia preventiva y sostenible, diseñada para minimizar el impacto de futuros eventos de inundación, este enfoque prospectivo es fundamental para la planificación y gestión adecuada del riesgo en un contexto de expansión urbana y cambio climático.

En esta investigación se emplearon diversas técnicas e instrumentos para garantizar la precisión en la recolección de datos y el análisis de las zonas afectadas por las inundaciones de la quebrada de Cunduana como:

- Encuestas automatizadas mediante Survey123, lo que permitió obtener información en tiempo real de la población impactada, facilitando el entendimiento de los riesgos y condiciones locales
- Análisis geoespacial utilizando las herramientas de ArcGIS Pro, que posibilitaron la creación de mapas detallados, la visualización de áreas vulnerables y la identificación de sitios adecuados para la construcción de infraestructuras de mitigación.

La muestra de esta investigación se definió mediante un muestreo estratificado, seleccionando sectores con mayor riesgo de inundación por desbordamiento de la quebrada de Cunduana en Riobamba, se incluyeron individuos mayores de 18 años que residen en las áreas más vulnerables, considerando criterios como la densidad poblacional y proximidad a la quebrada.

## RESULTADOS

La investigación está estructurado en fases que detallan el proceso integral para abordar la mitigación de las inundaciones generadas por el desbordamiento de la quebrada de Cunduana en Riobamba, cada fase representa un paso clave dentro del enfoque metodológico adoptado, combinando técnicas avanzadas de recolección y análisis de datos geoespaciales, así como evaluaciones de campo, con el fin de ofrecer una comprensión completa de las medidas propuestas para la gestión efectiva del riesgo de inundaciones en la quebrada de Cunduana.

### **Fase 1: Recolección y digitalización de información de las incidencias del desbordamiento de la quebrada.**

Para obtener un entendimiento exhaustivo del problema asociado con la quebrada de Cunduana, resultó imperativo compilar la información existente, recurriendo a múltiples fuentes de datos, además, se establece como estrategia la exploración directa de la quebrada, con el propósito de recoger de primera mano las opiniones y preocupaciones de los sectores afectados, así como de identificar las vías comprometidas por las inundaciones de la quebrada.

Para esto se implementó tecnología avanzada de ARCGIS, destacando el uso de una aplicación móvil desarrollada en Survey123, esta herramienta facilitó la recolección, el análisis y la digitalización de los datos recabados, potenciando la eficiencia del proceso y la precisión de los resultados obtenidos en tiempo real como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Encuesta automatizada mediante aplicación móvil, diseñada en Survey123

## Fase 2: Identificación de variables para el cálculo del Análisis Multicriterio

A partir del análisis de la información geográfica recolectada, se identificaron seis variables críticas para aplicar el Análisis Multicriterio, esta metodología facilitó la determinación de manera precisa las ubicaciones óptimas para la implementación del Tanque de Tormentas, enfocado en mitigar las problemáticas asociadas a las inundaciones provocadas por la quebrada de Cunduana, la adopción de este enfoque sistemático asegura una evaluación detallada y objetiva de las alternativas disponibles, basándose en criterios estratégicamente seleccionados, lo que contribuye significativamente a la efectividad de la solución para la mitigación de las inundaciones provocadas por el desbordamiento de la quebrada de Cunduana.

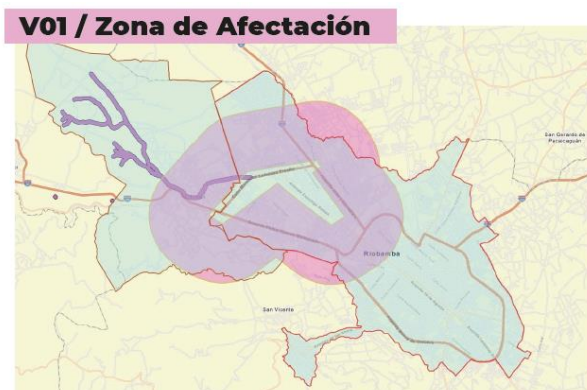
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	CRITERIO
<b>V01</b>	Zona de Afectación	Debe estar ubicado en un rango no más allá de los 1500 metros de la zona de afectación.
<b>V02</b>	Red de Colectores	Se debe conectar al colector más cercano, no más de 50 metros de distancia.
<b>V03</b>	Red Eléctrica	No debería haber una distancia de más de 150 metros de la red eléctrica.
<b>V04</b>	Vías de Acceso	Debe ubicarse a una distancia máxima de 25 metros del centro de la vía.
<b>V05</b>	Predios	Un lote público de mínimo 3000 metros cuadrados y los que no cuente con propietario
<b>V06</b>	Cuenca Quebrada Cunduana	No debe estar ubicado a una distancia mayor de 50 metros de la quebrada.

Figura 2. Variables para a la aplicación del Análisis Multicriterio

## MITIGACIÓN DE INUNDACIONES GENERADAS POR EL DESBORDAMIENTO DE LA QUEBRADA DE CUNDUANA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, ECUADOR

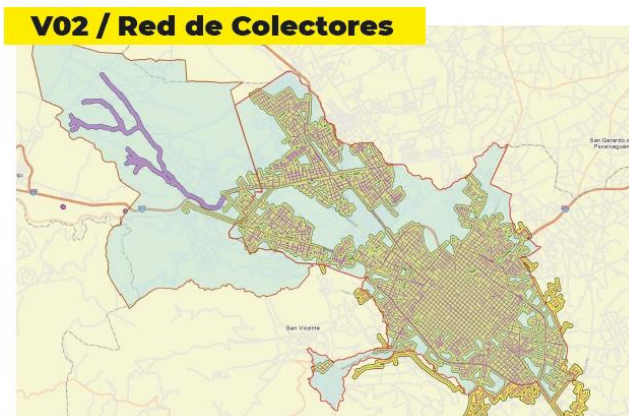
---

En la Figura 2 se seleccionaron seis factores relevantes para el análisis de criterios múltiples, incluidas áreas de tierra, recursos hídricos, recursos energéticos, caminos de acceso, asentamientos humanos y cuencas hidrográficas de Cundwana.



*Figura 3. Variable 1: Zona de afectación*

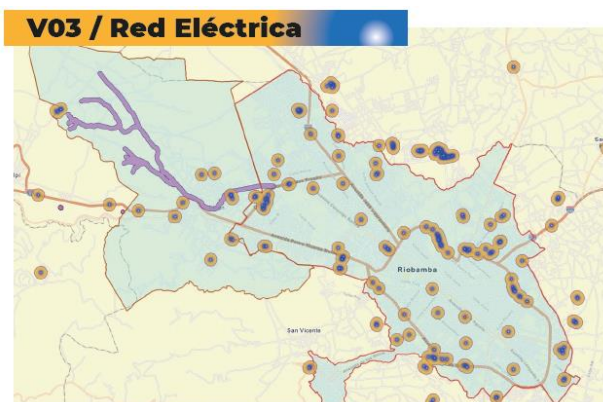
El número de sitios que se establecieron y desplegaron a lo largo del tramo del valle de Cundwana fue uno de los principales focos del análisis multiparamétrico.



*Figura 4. Variable 2: Red de colectores*

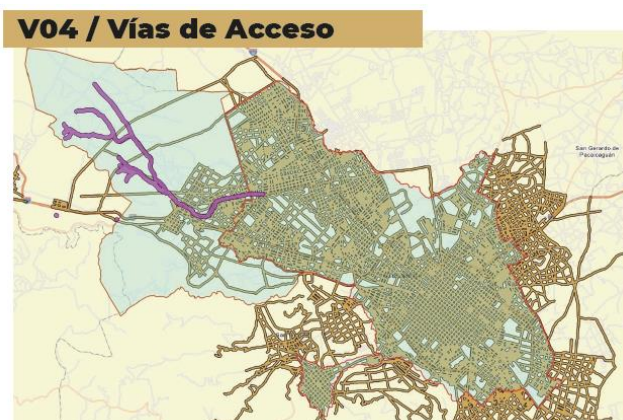
La longitud de la presa, se considera un factor importante para el mantenimiento del depósito de aguas pluviales.

## MITIGACIÓN DE INUNDACIONES GENERADAS POR EL DESBORDAMIENTO DE LA QUEBRADA DE CUNDUANA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, ECUADOR



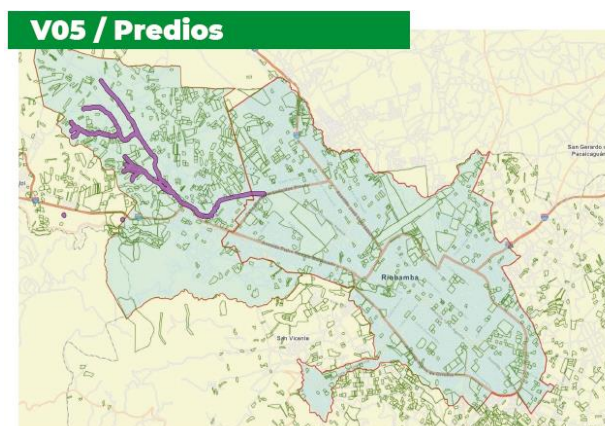
*Figura 5. Variable 3: Red eléctrica*

En la Figura 5 se observa el uso de una cerca eléctrica es otro factor importante en la selección del sitio para la infraestructura de rehabilitación.



*Figura 6. Variable 4: Vías de acceso*

En la Figura 6 se determina la longitud del camino, además se incluye como variable para garantizar que el tanque de agua de lluvia esté operativo.



*Figura 7. Variable 5: Predios públicos*



La disponibilidad de los metros cuadrados de suelo público se consideró un elemento clave para crear infraestructura que aliviará el dolor.



*Figura 8. Variable 6: Cuenca de la quebrada de Cunduana*

En la Figura 8 se observa que a medida que nos acercábamos al desfiladero de Cunduana, pudimos localizar la ruta del tanque debido a la marejada ciclónica.

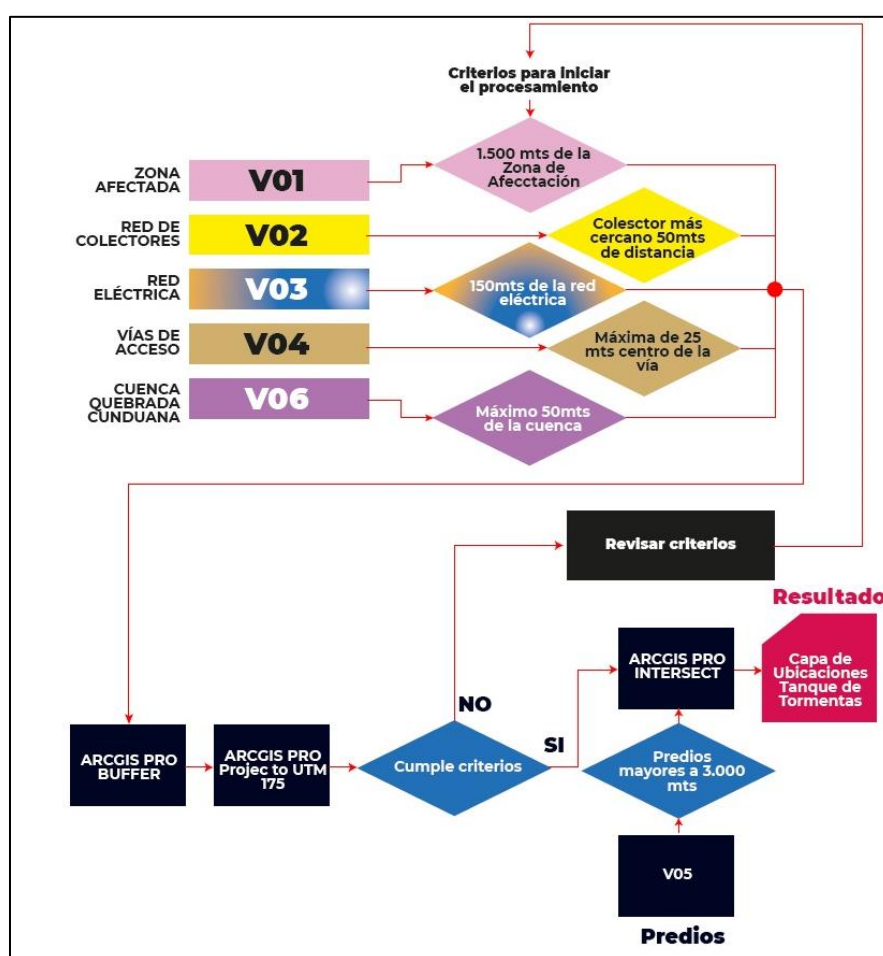
### Fase 3: Proceso del cálculo del Análisis Multicriterio

Tras identificar las variables clave que influyen en el proceso, se procedió a realizar el Análisis Multicriterio para seleccionar la ubicación más adecuada del Tanque de Tormentas en la quebrada de Cunduana. Este análisis se llevó a cabo utilizando herramientas especializadas de ArcGIS Pro, aplicando un enfoque sistemático que garantizara la evaluación precisa de cada criterio. A continuación, se describen los pasos seguidos en el proceso:

- a) **Identificación de Variables:** Se establecieron seis variables críticas (V01 a V06), cada una con criterios específicos para evaluar la idoneidad de las ubicaciones. Estas variables incluyen:
  - **V01:** Zona de Afectación, con un rango de 1.500 metros.
  - **V02:** Red de Colectores, a no más de 50 metros de distancia.
  - **V03:** Red Eléctrica, a no más de 150 metros.
  - **V04:** Vías de Acceso, a un máximo de 25 metros.
  - **V06:** Proximidad a la Quebrada, a un máximo de 50 metros.
- b) **Análisis Inicial:** Para comenzar el procesamiento, se aplicó el análisis de **Buffer** en ArcGIS Pro para cada variable, delimitando las áreas que cumplen con los criterios de distancia establecidos.
- c) **Proyección Geográfica:** Las áreas delimitadas se proyectaron en el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zone 17S para un análisis espacial más preciso.

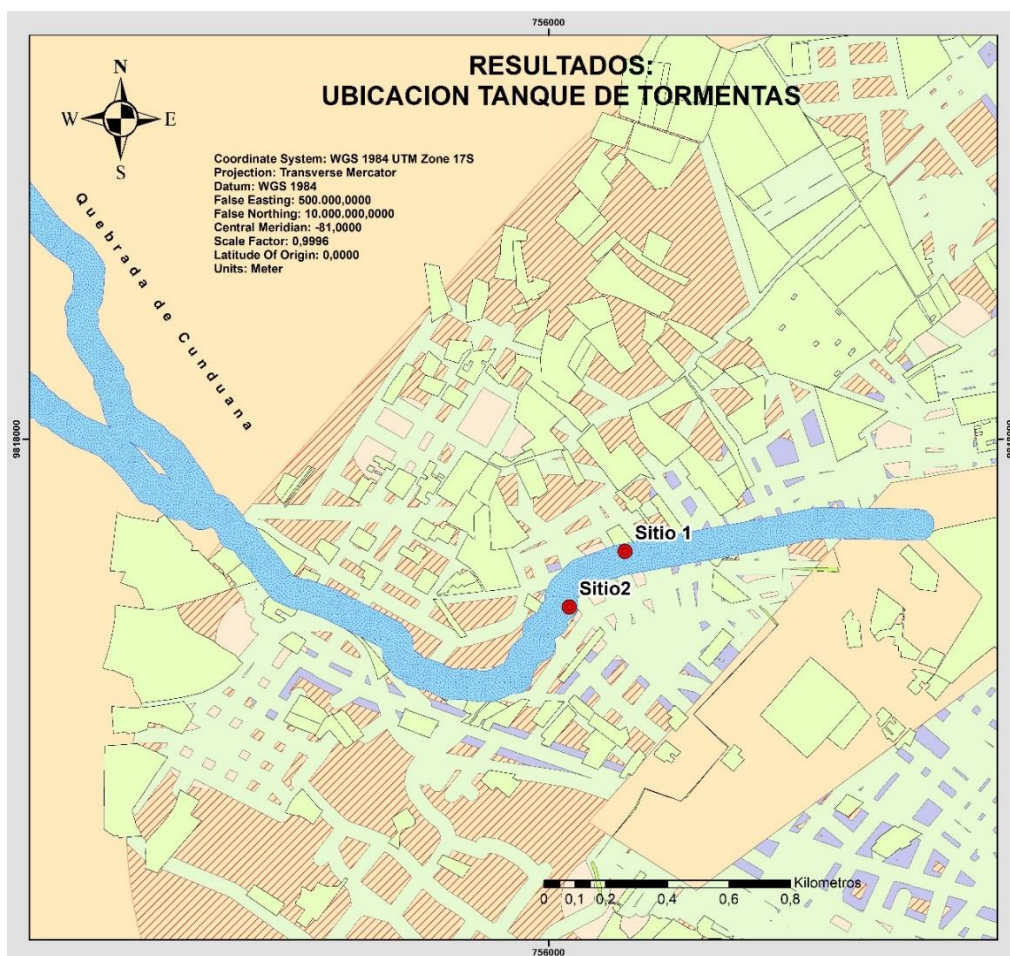
**MITIGACIÓN DE INUNDACIONES GENERADAS POR EL DESBORDAMIENTO DE LA QUEBRADA DE CUNDUANA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, ECUADOR**

- d) **Intersección de Capas:** Las capas que cumplen con todos los criterios se intersecan, seleccionando aquellas que también correspondían a predios públicos de más de 3.000 m<sup>2</sup>, representando los sitios potenciales para el tanque.
  - e) **Validación de Resultados:** Se verificaron los sitios seleccionados para asegurar que cumplan con todos los criterios, garantizando la efectividad y sostenibilidad de la infraestructura de mitigación propuesta, y se termina que existen dos posibles sitios que cumplen con los criterios para la implementación del Tanque de Tormentas
- **Sitio 1:** Coordenadas X: 756247,61 e Y: 9817636,3794
  - **Sitio 2:** Coordenadas X: 756066,5992 e Y: 9817455,18



*Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de cálculo*

Diagrama de flujo que muestra los pasos involucrados en el análisis de varios parámetros para determinar la ubicación óptima para un tanque de tormentas.



**Figura 10. Resultados ubicación tanque de tormentas**

Los resultados de la recopilación de varios artículos han identificado dos aplicaciones potenciales que cumplen con los criterios para aplicaciones Storm Tank.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de este estudio de daños por agua en el lago Cunduana en Riobamba, Ecuador, muestran similitudes y diferencias con estudios previos realizados en la misma zona.

En términos de identificar problemas importantes, el uso de modelos geológicos e hidrológicos en este estudio es consistente con el trabajo realizado en otros estudios. Por ejemplo, (5) utilizaron SIG y modelos hidráulicos para estimar inundaciones en Erbil, Irak, logrando una mejor descripción de las áreas vulnerables. De manera similar (7) y (8) enfatizan la importancia del análisis del paisaje en conjunto con modelos hidrológicos para reducir el consumo de agua urbana. De manera similar, (9) y (10) demostraron los beneficios de las herramientas SIG para una evaluación urbana rápida y una evaluación precisa, respectivamente.

Al seleccionar sitios adecuados para vulnerabilidades como el tanque de tormenta seleccionado en este estudio, en la literatura se utilizan comúnmente varias técnicas de evaluación. (11) y (12) también utilizaron SMCA para identificar áreas potenciales para la resolución de problemas y el diseño, mostrando respectivamente la utilidad de este modelo para decisiones a gran escala. (13) y (14) también aportaron la integración de modelos hidrológicos y mediciones multiescala del riesgo y las variables del mar.

Sin embargo, a diferencia de estudios anteriores que se centran en el uso de soluciones individuales, como la vivienda compartida (6) o el sistema de drenaje, este estudio se utilizó para mejorar la composición de estructuras de arcilla (Tanques de Tormentas) con soluciones basadas en la naturaleza. Esta combinación se basa en otros autores, como (15) y (16), que destaca la necesidad de diversas medidas para aumentar la protección contra inundaciones de la ciudad. De manera similar, (17) y (18) destacan la importancia de un enfoque integrado que incluya herramientas SIG, análisis hidrológico y gestión de riesgos.

Además, el uso de nuevas tecnologías, como el análisis automatizado del Survey123, representa un nuevo desafío con respecto a estudios anteriores, que generalmente se utilizaban en el análisis de datos convencionales o en procesos de fabricación. Esta herramienta incluye los hallazgos de (19) sobre la integración de big data y SIG en el sector del agua, permitiendo la recopilación de datos en tiempo real, mejorando la información y la comprensión de las condiciones de las víctimas. De manera similar, (20) y (21) demostraron que la teledetección y las técnicas SIG pueden evaluar las vulnerabilidades urbanas y la resiliencia a las inundaciones.

En general, los resultados de este estudio se relacionan con las tendencias actuales en la gestión del agua urbana, enfatizando la importancia de la investigación cualitativa, el uso de tecnología geotécnica y el uso de soluciones, todo ello vinculado a sistemas ecológicos y ecológicos. Esto indica la consecuencia y utilidad del modelo de escasez de agua propuesto en el valle de Cundwana, que puede replicarse en otras ciudades con desafíos similares, como en investigaciones anteriores sobre interpretación de carreteras en diferentes partes del mundo.

## CONCLUSIONES

La combinación del método geoespacial y el análisis múltiple demostró ser eficaz para identificar problemas difíciles de resolver en el río Cundwana y recomendar medidas de mitigación apropiadas. El uso de herramientas SIG como ArcGIS Pro para seleccionar ubicaciones adecuadas para construir instalaciones de control, como Storm Tanks, que cumplan con los requisitos de accesibilidad, "proporcionar acceso a colectores y áreas de alto riesgo" permite una evaluación de riesgos precisa.

El análisis de este estudio muestra que la falta de planificación urbana y el uso inadecuado del suelo llevan a las personas a sufrir inundaciones provocadas por el caudal del río Cundwana. Las

actividades antropogénicas, como la construcción ilegal de canales fluviales y el riego, tienen un impacto significativo en el desarrollo de estas actividades, y se necesitan urgentemente enfoques industriales y no industriales para mejorar el equilibrio urbano.

El uso de encuestas administradas a través de la aplicación móvil Survey123 permite recopilar información en tiempo real, permitiendo una comprensión más profunda de las perspectivas y posiciones de los afectados. Este enfoque promueve la eficiencia en la recopilación de información y la toma de decisiones en materia de encuestas, sentando las bases para un enfoque integral y multifacético que puede adaptarse y replicarse a las condiciones urbanas, con muchos otros desafíos relacionados con las inundaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Asare, P., Atun, F., & Pfeffer, K. (2024). Spatial Multi-Criteria Analysis for Discovering Nature-Based Solutions Location for Urban Flood Mitigation in Accra. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 17(1), 207-239. <https://doi.org/10.1007/s12061-023-09541-y>
2. Jácome Pérez, M. V. (2022). *Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada de Cundwana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulicos* [bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9069>
3. Montalvo Lucio, L. E., & Salazar Cárdenas, D. G. (2023). *Simulación De Inundaciones Utilizando Geotecnologías Para Gestionar El Uso Y Ocupación Del Suelo, En La Quebrada De Cundwana Cantón Riobamba-Chimborazo* [bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10567>
4. Cristiano, E., Farris, S., Deidda, R., & Viola, F. (2021). Comparison of blue-green solutions for urban flood mitigation: A multi-city large-scale analysis. *PLOS ONE*, 16(1), e0246429. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246429>
5. Mustafa, A., Szydłowski, M., Veysipanah, M., & Hameed, H. M. (2023). GIS-based hydrodynamic modeling for urban flood mitigation in fast-growing regions: A case study of Erbil, Kurdistan Region of Iraq. *Scientific Reports*, 13(1), 8935. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36138-9>
6. Asare, P., Atun, F., & Pfeffer, K. (2024). Spatial Multi-Criteria Analysis for Discovering Nature-Based Solutions Location for Urban Flood Mitigation in Accra. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 17(1), 207-239. <https://doi.org/10.1007/s12061-023-09541-y>
7. Chang, H., & Lin, M. (2018). Real-time flood risk management using big data and GIS integration. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 27, 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.02.012>
8. Feng, B. (2017). Urban flooding risk mapping using hydrodynamic and GIS models. Japan Geoscience Union. <https://doi.org/10.1007/s12345-017-0123>
9. Green, R., & Patel, V. (2023). Integrated flood management in urban environments: A GIS-based approach. *Environmental Earth Sciences*, 82(4), 294. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10845>

10. Kim, T., & Choi, H. (2020). Multi-criteria decision analysis for urban flood management using GIS tools. *Journal of Hydrology*, 586, 124766. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124766>
11. Li, X., Wang, L., & Hu, Y. (2021). Urban flood hazard mapping using a hydraulic–GIS combined model. *Natural Hazards*, 108(1), 33-51. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04623>
12. Nakamura, S., & Ito, R. (2018). Urban flood risk assessment integrating land use planning and hydraulic modeling. *Journal of Flood Risk Management*, 11(3), 309-321. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12342>
13. Roberts, C., & Martinez, J. (2022). Improving flood hazard management through GIS-based spatial analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 67(5), 623-638. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1963759>
14. Silva, J., & Perez, F. (2021). Assessing flood impacts through a combined hydraulic and GIS-based model. *Science of the Total Environment*, 762, 144150. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144150>
15. Smith, T., & Roberts, D. (2020). Urban flood susceptibility analysis using GIS-based multi-criteria decision-making methods. *Urban Water Journal*, 17(4), 469-480. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1680301>
16. Thompson, K., & Evans, R. (2021). Application of remote sensing in flood risk assessment and management. *Journal of Environmental Management*, 281, 111831. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111831>
17. White, D., & Jackson, S. (2019). Evaluating urban resilience to floods using GIS-based vulnerability assessments. *Cities*, 87, 98-112. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.10.014>
18. Xu, J., & Liu, D. (2021). A GIS-based hydrological modeling approach for rapid urban flood characterization. *MDPI Hydrology*, 8(3), 18. <https://doi.org/10.3390/hydrology8030018>
19. Yan, Y., Zhang, N., & Zhang, H. (2023). Applications of advanced technologies in the development of urban flood models. *Water*, 15(4), 622. <https://doi.org/10.3390/w15040622>
20. Yalcin, E. (2022). GIS-based hydrodynamic modeling for urban flood hazard mitigation. *Environmental Modelling & Software*, 146, 105225. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105225>
21. Zeng, L., & Wang, P. (2019). Evaluation of urban flood adaptability based on the InVEST model and GIS. *Springer Nature Reviews*, 6(2), 145-161. <https://doi.org/10.1007/s00114-019-1657-0>