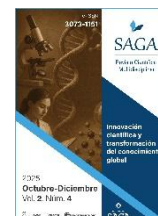


Artículo de Investigación

Evaluación hidráulica del sistema de alcantarillas pluviales utilizando el programa HEC-RAS: Caso de estudio, sector La Pila, Manabí-Ecuador

Hydraulic Evaluation of the Storm Sewer System Using the HEC-RAS Program: Case Study, La Pila Sector, Manabí-Ecuador

Avaliação Hidráulica do Sistema de Drenagem Pluvial Utilizando o Programa HEC-RAS: Estudo de Caso, Setor La Pila, Manabí-Ecuador



Josué David Mendoza Cedeño¹  , Elvis Junior Sornoza Arteaga¹  ,
César Iván Palma Villavicencio¹  

¹ Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Recibido: 2025-08-25 / **Aceptado:** 2025-10-02 / **Publicado:** 2025-10-20

RESUMEN

La gestión adecuada de los sistemas pluviales urbanos es esencial para minimizar los impactos de las precipitaciones intensas en zonas propensas a inundaciones. Este estudio evalúa el desempeño hidráulico del sistema de alcantarillas pluviales en la parroquia La Pila, provincia de Manabí (Ecuador), utilizando el software HEC-RAS 6.4 para simular el flujo bidimensional del agua durante eventos de lluvia. A partir de un modelo digital de elevación (MDE) de 3 m de resolución, registros pluviométricos del INAMHI y levantamientos topográficos, se caracterizó el comportamiento hidráulico del sistema y se identificaron los puntos críticos de desbordamiento. Los resultados indican que la red presenta secciones subdimensionadas y pendientes insuficientes para evacuar caudales generados en tormentas de recurrencia quinquenal y decenal. Se proponen medidas de rediseño, incluyendo ampliación de secciones y disposición de cunetas complementarias.

Palabras clave: drenaje pluvial, HEC-RAS 2D, alcantarillado urbano, modelación hidráulica, Manabí

ABSTRACT

Proper management of urban stormwater systems is essential to minimize the impacts of intense rainfall in flood-prone areas. This study evaluates the hydraulic performance of the stormwater drainage system in La Pila parish, Manabí province (Ecuador), using HEC-RAS 6.4 software to simulate two-dimensional water flow during rainfall events. Using a 3-m resolution digital elevation model (DEM), INAMHI rainfall records, and topographic surveys, the system's hydraulic behavior was characterized, and critical overflow points were identified. The results indicate that the network has undersized sections and insufficient slopes to evacuate flows generated during five- and ten-year storms. Redesign measures are proposed, including section widening and the provision of complementary ditches.

keywords: stormwater drainage, HEC-RAS 2D, urban sewers, hydraulic modeling, Manabí

RESUMO

A gestão adequada dos sistemas pluviais urbanos é essencial para minimizar os impactos das chuvas intensas em áreas propensas a inundações. Este estudo avalia o desempenho hidráulico do sistema de drenagem pluvial na paróquia La Pila, província de Manabí (Ecuador), utilizando o software HEC-RAS 6.4 para simular o escoamento bidimensional da água durante eventos de chuva. A partir de um modelo digital de elevação (MDE) com resolução de 3 m, registros pluviométricos do INAMHI e levantamentos topográficos, foi caracterizado o comportamento hidráulico do sistema e identificados os pontos críticos de transbordamento. Os resultados indicam que a rede apresenta seções subdimensionadas

e declividades insuficientes para escoar las vazões geradas em tempestades com recorrência de cinco e dez anos. Propõem-se medidas de redesenho, incluindo ampliação de seções e implantação de valetas complementares.

palavras-chave: drenagem pluvial, HEC-RAS 2D, esgoto urbano, modelagem hidráulica, Manabí

Forma sugerida de citar (APA):

Mendoza Cedeño, J. D., Somoza Arteaga, E. J., & Palma Villavicencio, C. I. (2025). Evaluación hidráulica del sistema de alcantarillas pluviales utilizando el programa HEC-RAS: Caso de estudio, sector La Pila, Manabí-Ecuador *Revista Científica Multidisciplinar SAGA*, 2(4), 285-302. <https://doi.org/10.63415/saga.v2i4.291>



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons de Atribución No Comercial 4.0

INTRODUCCIÓN

El diseño y evaluación de los sistemas de drenaje urbano constituyen un aspecto fundamental dentro de la ingeniería civil moderna, especialmente ante el incremento de la variabilidad climática y los eventos hidrometeorológicos extremos. En contextos urbanos, el manejo inadecuado de las escorrentías pluviales puede generar anegamientos, erosión y deterioro de las infraestructuras, afectando tanto la seguridad vial como la calidad ambiental (Chow et al., 2023). La correcta planificación hidráulica, basada en estudios técnicos actualizados, resulta esencial para garantizar la eficiencia de los sistemas de conducción y evacuación del agua lluvia.

En Ecuador, la provincia de Manabí se caracteriza por su alta vulnerabilidad frente a fenómenos asociados a la variabilidad climática, lo que demanda una gestión más rigurosa del recurso hídrico superficial. Las precipitaciones irregulares, combinadas con la expansión urbana desordenada y la falta de mantenimiento de las estructuras pluviales, provocan una disminución progresiva de la capacidad de conducción de los sistemas de drenaje (Jiménez et al., 2023). En consecuencia, muchas zonas urbanas presentan deficiencias hidráulicas que comprometen la funcionalidad de sus alcantarillados pluviales.

La parroquia La Pila, situada en el cantón Montecristi, constituye un ejemplo representativo de esta problemática. Su desarrollo urbano ha avanzado sin una planificación hidráulica integral, lo que ha generado conflictos entre la infraestructura

construida y las condiciones naturales del terreno. Durante los periodos de lluvia, el incremento del escurrimiento superficial sobrepasa la capacidad de las alcantarillas, ocasionando encharcamientos y erosión en las márgenes de los canales de drenaje. Estos eventos ponen en evidencia la necesidad de realizar estudios técnicos que permitan comprender el comportamiento hidráulico del sistema y establecer medidas correctivas (Arcement & Schneider, 2022).

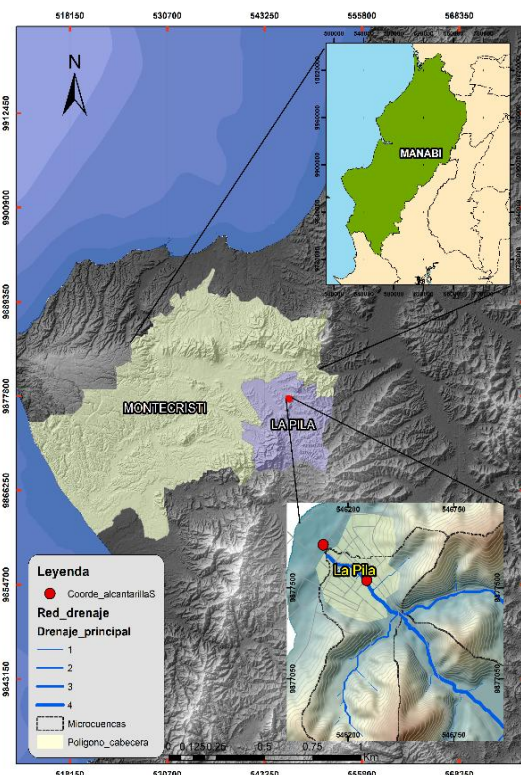


Figura 1. Mapa de ubicación de la evaluación hidráulica de las alcantarillas.

A esto se suma el progresivo cambio en los patrones de uso y cobertura del suelo. La sustitución de áreas naturales por superficies

impermeables, como pavimentos y construcciones, ha reducido significativamente la infiltración, acelerando la concentración del flujo superficial (USACE, 2023). Dichos cambios no solo modifican el tiempo de concentración y la velocidad de escurrimiento, sino que también afectan la capacidad de autodepuración de los cauces, incrementando la sedimentación y el transporte de contaminantes.

En este contexto, la evaluación hidráulica de los sistemas de alcantarillado pluvial se convierte en una herramienta indispensable para el diagnóstico de la infraestructura existente. Su aplicación permite determinar la eficiencia de las estructuras frente a diferentes escenarios hidrológicos, identificando posibles puntos de colapso o sobredimensionamiento (Brunner, 2023). Además, constituye la base para la formulación de propuestas de mejora que garanticen la resiliencia de los sistemas urbanos ante eventos extremos.

El empleo de modelos numéricos bidimensionales, como los implementados en el software HEC-RAS, ha revolucionado la manera en que se analizan los flujos en canales y estructuras hidráulicas. Estos modelos permiten representar con alta precisión los procesos de inundación, tránsito de caudales y pérdidas de energía, integrando parámetros geomorfológicos, hidráulicos y climáticos en un solo entorno de simulación (Maidment & Mays, 2022). Su uso en proyectos de ingeniería civil favorece la toma de decisiones basadas en evidencia técnica y en escenarios reproducibles.

Asimismo, la aplicación de metodologías hidrológicas estandarizadas, como el método del número de curva del Soil Conservation Service (SCS), proporciona una base sólida para estimar la respuesta del terreno ante eventos de lluvia. Este enfoque es especialmente útil en regiones donde la información pluviométrica es limitada, ya que permite caracterizar el comportamiento de las cuencas en función de la cobertura vegetal y el tipo de suelo (USDA, 2022). En combinación con herramientas de modelación hidráulica, estos métodos posibilitan una comprensión

más integral de la dinámica de las aguas pluviales.

El deterioro de los sistemas de alcantarillado pluvial no solo implica una disminución de su eficiencia hidráulica, sino también un impacto directo sobre el entorno ambiental y social. La acumulación de sedimentos, residuos sólidos y vegetación en las estructuras impide el flujo libre del agua, generando condiciones de riesgo y posibles focos de contaminación (CEPAL, 2024). En este sentido, la evaluación técnica y el mantenimiento preventivo deben ser considerados como parte esencial de la gestión sostenible del recurso hídrico urbano.

Finalmente, esta investigación busca aportar una visión técnica sobre el desempeño hidráulico de las alcantarillas pluviales en la parroquia La Pila, destacando la importancia del análisis hidrológico e hidráulico como base para la planificación territorial. Su enfoque integra la ingeniería civil y ambiental, proponiendo soluciones fundamentadas en criterios de sostenibilidad, eficiencia y resiliencia ante el cambio climático (UNESCO, 2023). El estudio pretende servir como referencia para futuras intervenciones en zonas urbanas con condiciones similares dentro de la región litoral ecuatoriana.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en la parroquia La Pila, provincia de Manabí, Ecuador, dentro de un contexto de creciente vulnerabilidad frente a los eventos hidrometeorológicos extremos. El proceso metodológico se estructuró en tres etapas principales: recopilación de información hidrológica, delimitación de microcuencas y modelación hidráulica de las alcantarillas pluviales. Cada una de estas fases se diseñó para garantizar la coherencia entre los resultados hidrológicos e hidráulicos, permitiendo obtener una representación precisa del comportamiento del flujo en condiciones de lluvia intensa.

En la primera etapa se recopilaron los registros pluviométricos históricos de la estación meteorológica M448 “La Laguna”,

perteneciente al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Los datos abarcaron un período de 24 años (2000-2024), con resolución mensual, permitiendo determinar la precipitación promedio anual de aproximadamente 500 mm. Esta información fue empleada como base para el cálculo de la lluvia de diseño y la estimación de los caudales máximos de escorrentía en la zona de estudio (INAMHI, 2024).

Posteriormente, se efectuó la delimitación de las microcuencas mediante el uso de

información cartográfica oficial obtenida del MAGAP y del Instituto Geográfico Militar (IGM). Se emplearon modelos digitales de elevación (MDE) con una resolución espacial de 12.5 m, procesados en el software ArcGIS Pro y HEC-GeoHMS para identificar la red de drenaje, cabeceras y divisorias topográficas. De esta manera se establecieron tres unidades de análisis hidrológico: S_1, S_2 y S_3, con áreas de aportación diferenciadas y características morfométricas calculadas mediante herramientas SIG.

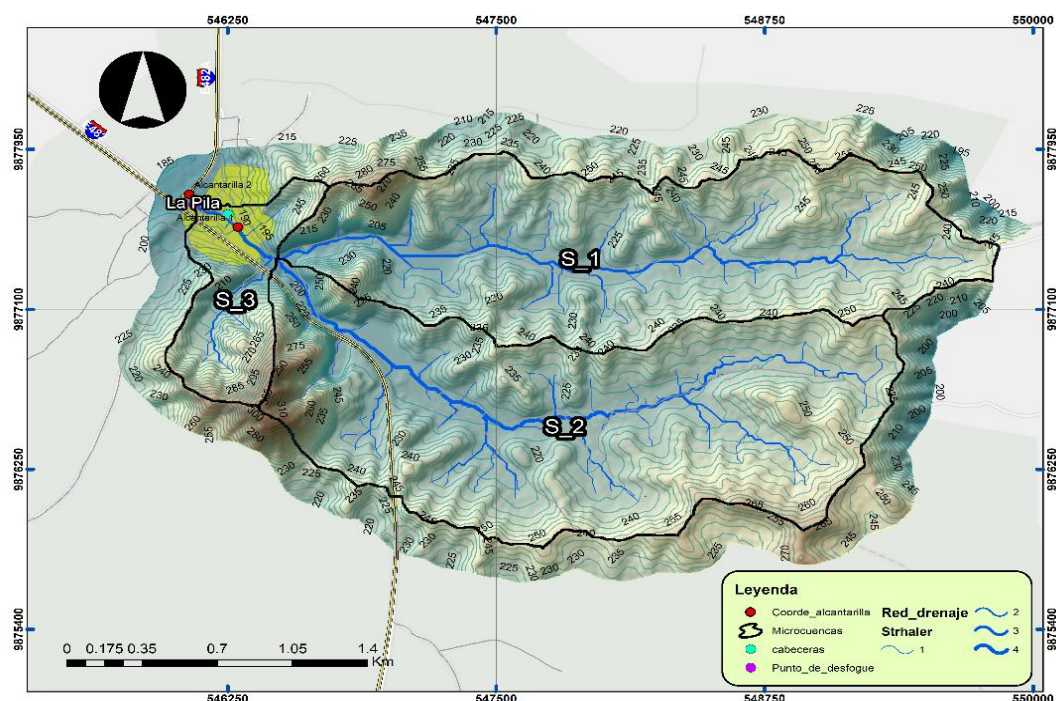


Figura 2. Mapa de ubicación de la evaluación hidráulica de las alcantarillas.

En la segunda etapa se aplicó el método del Número de Curva (CN) del Soil Conservation Service (SCS), considerando las combinaciones de tipo de suelo y cobertura vegetal obtenidas de imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel-2. Los valores de CN ponderado se determinaron de acuerdo con la tabla de hidrología del SCS, adaptada a las condiciones locales de textura y permeabilidad del suelo. Este procedimiento permitió estimar la infiltración potencial y definir la escorrentía efectiva para cada microcuenca (USDA, 2022).

La modelación hidrológica se efectuó utilizando el método de tránsito de avenidas de

Muskingum, que permite estimar la atenuación y el desfase de los hidrogramas entre las secciones de entrada y salida de cada subcuenca. El proceso fue implementado en el software HEC-HMS, integrando los parámetros de precipitación efectiva, número de curva, tiempo de retardo y longitud de flujo. Los hidrogramas generados sirvieron como insumo para la simulación hidráulica posterior (Maidment & Mays, 2022).

En la tercera etapa se llevó a cabo la simulación hidráulica bidimensional en el programa HEC-RAS 6.3, considerando la geometría obtenida del modelo digital de elevación y los caudales de entrada calculados.

Las ecuaciones de Saint-Venant en dos dimensiones (2D) se emplearon para representar el flujo no permanente dentro de las alcantarillas y sobre la superficie, tomando en cuenta los efectos de fricción, transporte y pendiente. Este modelo permitió evaluar la distribución espacial del calado, la velocidad del flujo y las condiciones de energía específica a lo largo de los conductos (Brunner, 2023).

El trabajo de campo se determinó las dimensiones, diámetros, materiales y estado estructural. Se identificaron alcantarillas de sección circular de 1.0 m de diámetro, ubicadas a lo largo de la vía principal de La Pila, con distancias aproximadas de 279.10 m entre estructuras. Asimismo, se registraron las coordenadas geográficas mediante GPS de alta precisión para georreferenciar los puntos de entrada y salida del sistema pluvial. Los datos de campo fueron comparados con los planos topográficos y validados dentro del entorno de modelación.

Adicionalmente, se efectuó un levantamiento fotográfico de las condiciones físicas de las estructuras para analizar el grado de sedimentación, obstrucción por vegetación y acumulación de residuos sólidos. Este

registro visual permitió relacionar los resultados del modelo hidráulico con la capacidad funcional real de las alcantarillas, identificando sectores con pérdida de eficiencia o reducción de área hidráulica efectiva (Jiménez et al., 2023).

Finalmente, los resultados obtenidos fueron integrados en un análisis comparativo entre los escenarios de 25 y 50 años de periodo de retorno. Los datos de calado, velocidad y energía específica fueron exportados desde HEC-RAS y representados gráficamente mediante herramientas de análisis estadístico y visualización. Este proceso permitió identificar los tramos críticos y proponer medidas técnicas de mitigación enfocadas en la mejora del sistema de drenaje urbano (CEPAL, 2024).

RESULTADOS

En cuanto al procesamiento de los datos infiltración de las microcuencas que se muestra en la tabla 1, se puede observar la variación del número de curva que se presenta tanto en S_1, S_2 y S_3, estos valores evidencian una correlación directa entre el grado de intervención antrópica y la respuesta hidrológica de cada microcuenca.

Tabla 1. Número de curva (CN) ponderado según el tipo de suelo y cobertura vegetal predominante en las microcuencas

Microcuenca	Tipo de suelo predominante	Cobertura vegetal principal	CN ponderado
S_3	Franco arcillo-limoso y franco arcilloso	Bosque natural	71.00
S_2	Franco arcilloso y arcilloso	Bosque natural / Pasto cultivado	76.96
S_1	Franco arcilloso y arcilloso (>35% de arcilla)	Cultivos de ciclo corto / Pasto cultivado / Bosque natural	77.04

Nota: Los valores más altos de CN corresponden a suelos con menor capacidad de infiltración y mayor escorrentía superficial

En cuanto al análisis de datos de lluvia, la figura 3, presenta el comportamiento espacial de la precipitación anual que se aproxima a los

500 mm, lo que caracteriza a la zona como de régimen semiárido a subhúmedo, con marcadas estacionalidades.

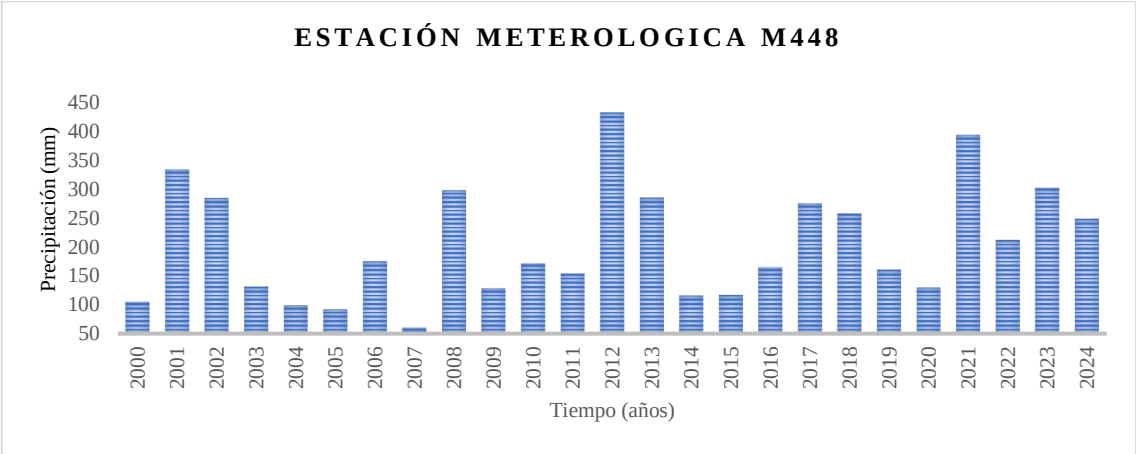


Figura 3. Precipitación anual registrada en la estación meteorológica M448 “La Laguna”, periodo 2000–2024

Así mismo el procesamiento morfométrico de las microcuencas aportante, que se presentan en la Tabla 2, indica el comportamiento físico de la microcuenca S_3 la cual está influenciado por una pendiente promedio más pronunciada, a diferencia de la microcuenca S_1 la cual registra menores pendientes y densidades de drenaje, sugiriendo

un flujo más retardado y condiciones de infiltración más favorables. En el caso de la microcuenca S_2, los valores intermedios reflejan un comportamiento mixto, con una pendiente moderada y una longitud de flujo mayor, lo que contribuye a una respuesta hidrológica más equilibrada.

Tabla 2. Parámetros morfométricos calculados para las microcuencas del sistema pluvial de La Pila, Manabí

Microcuenca	Longitud máxima del recorrido de flujo (km)	Pendiente de trayectoria de flujo más larga (m/m)	Pendiente de la cuenca (m/m)	Relieve de la cuenca (m)	Relación de relieve	Relación de elongación	Densidad de drenaje (km/km²)
S_2	4.111	0.016	0.148	125.02	0.03	0.466	0.485
S_1	3.973	0.013	0.147	94.66	0.024	0.44	0.347
S_3	1.543	0.084	0.218	129.92	0.084	0.501	1.14

Nota: Los valores presentados corresponden a los parámetros morfométricos calculados a partir del modelo digital de elevación (MDE)

En la tabla 3 se establecieron los valores del método de Muskingum como lo es la longitud del cauce del Reach R_1 así como el factor de

pendiente del río y su constante de almacenamiento.

Tabla 3. Parámetros del modelo Muskingum para el tránsito de avenidas en la microcuenca R_1.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Longitud del cauce	Δx	1.54	km
Pendiente del cauce	i	0.084	m/m
Constante de almacenamiento	K	0.40	h
Coeficiente de ponderación	x	0.20	—

Nota: Los valores corresponden a los parámetros del método Muskingum definidos en el software HEC-HMS (v.4.12) para la microcuenca R_1 del sistema pluvial de La Pila, provincia de Manabí

En la figura 4 se representa el comportamiento combinado de los caudales generados en los Microcuencas S_1 y el

enrutamiento Reach R1, integrados en el punto de control de salida.

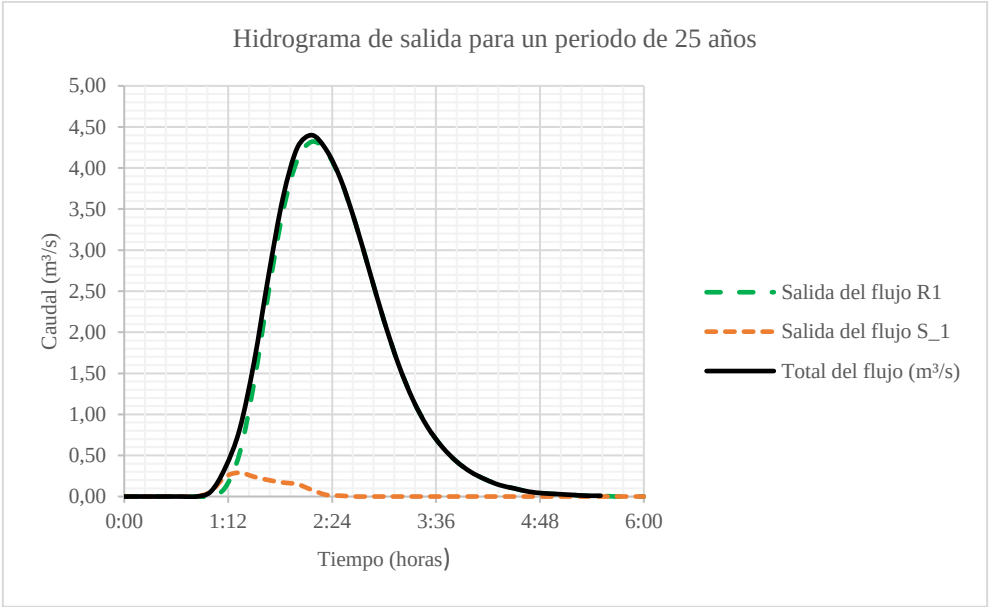


Figura 4. *Hidrograma de salida para un periodo de retorno de 25 años*

La figura 5 se representa el caudal total de salida del sistema modelado con HEC-HMS, utilizando el método del Número de Curva

(CN) para la lluvia efectiva y el tránsito de avenidas de Muskingum.

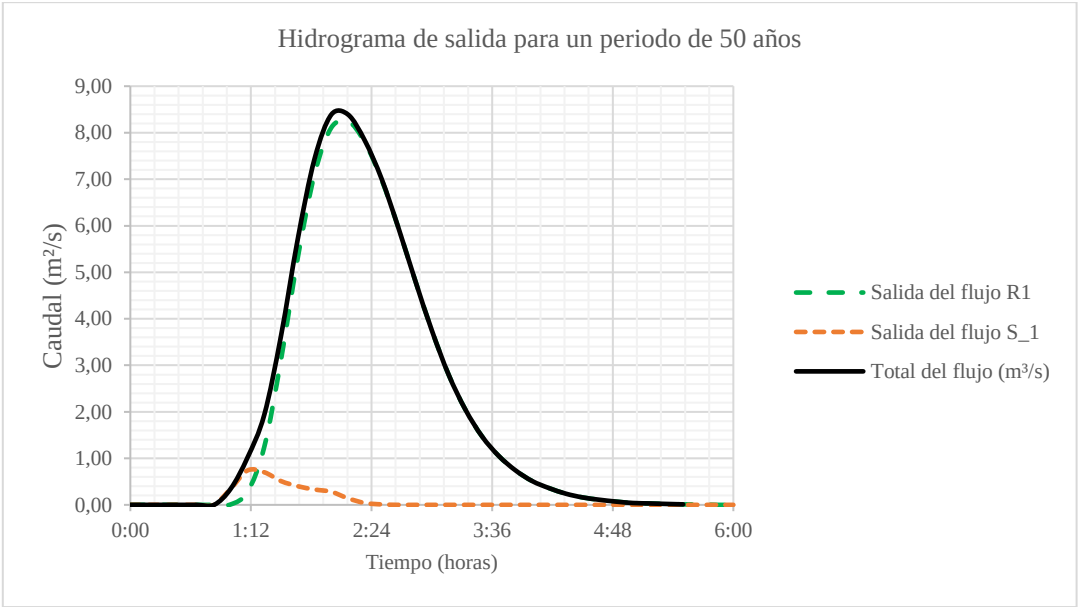


Figura 5. *Hidrograma de salida para un periodo de retorno de 50 años*

La figura 6 muestra la simulación hidráulica obtenida mediante el software Hec-Ras 6.4.1, representando la distribución espacial de la

altura del agua (m) y la velocidad (m/s) en el entorno de la alcantarilla principal del sistema pluvial de La Pila.

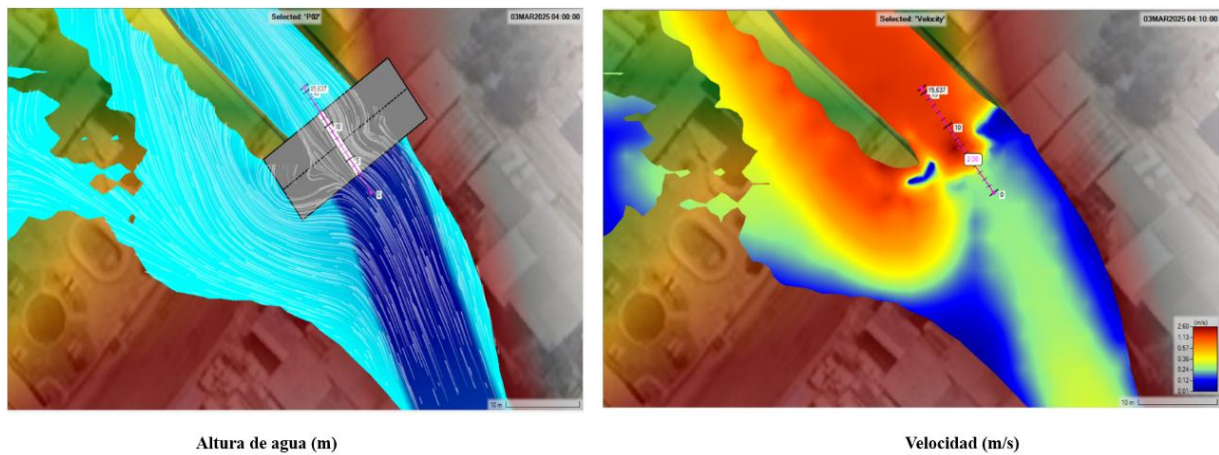


Figura 6. Distribución bidimensional de altura y velocidad del flujo para un evento con periodo de retorno de 25 años

La figura 7, presenta la variación longitudinal de la altura del agua (m) y la velocidad (m/s) a lo largo del conducto principal, obtenidas mediante la simulación

unidimensional en HEC-RAS 6.4.1. Los resultados evidencian el comportamiento hidráulico del flujo dentro del tramo.

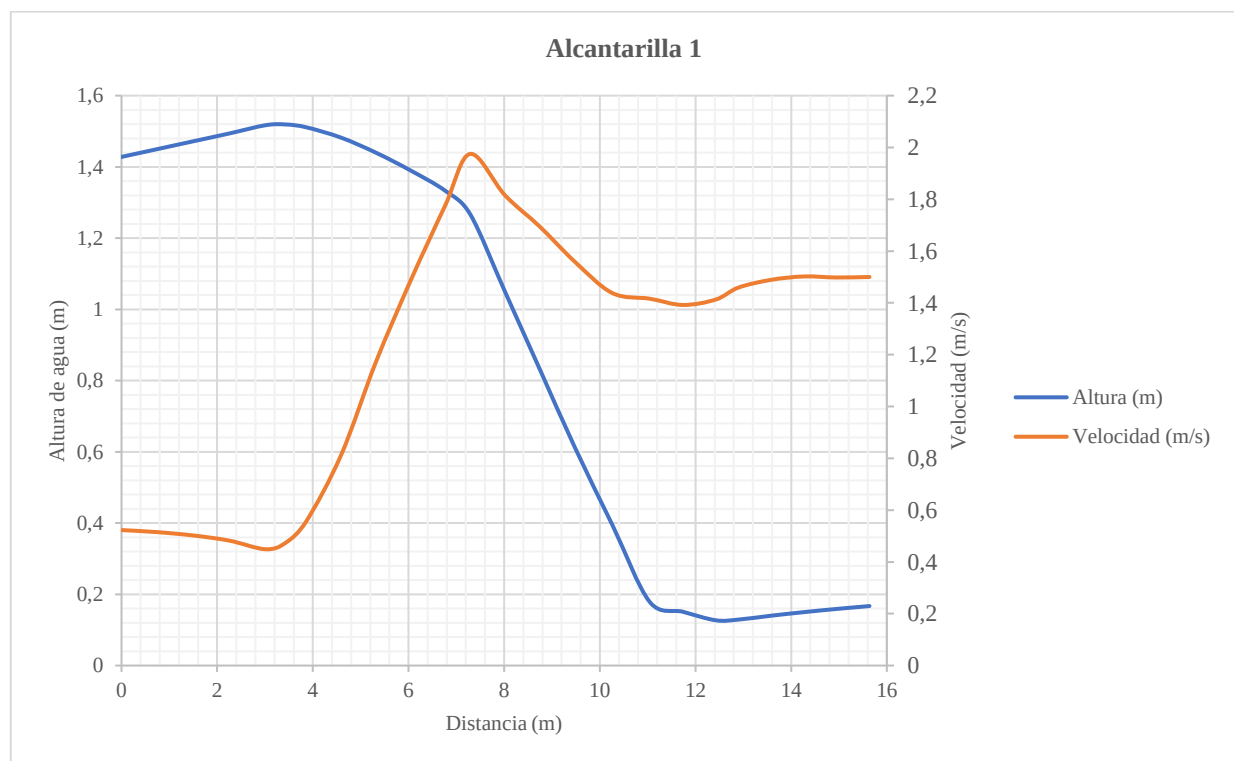


Figura 7. Relación entre altura de agua y velocidad del flujo en la alcantarilla 1 para un evento con periodo de retorno de 25 años

La figura 8 muestra la simulación hidráulica bidimensional fue elaborada en el software Hec-Ras en 2D, mostrando la variación espacial de la altura del agua (m) y la velocidad

(m/s) en la alcantarilla 2 del sistema pluvial de La Pila, bajo condiciones de caudal de entrada generadas en HEC-HMS.

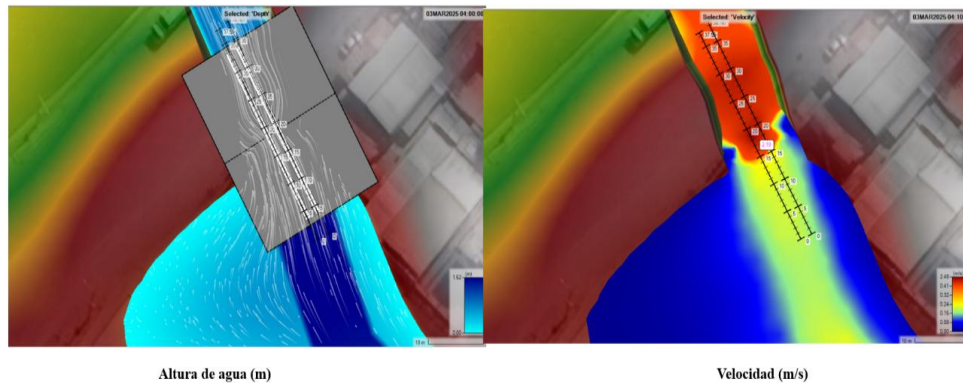


Figura 8. Distribución bidimensional de altura y velocidad del flujo en la alcantarilla 2 para un periodo de retorno de 25 años

Los resultados de la figura 9 y 10 en HEC-RAS evidencian un comportamiento hidráulico complejo en la alcantarilla 2,

caracterizado por altas concentraciones de flujo y gradientes pronunciados de velocidad en el punto de descarga.

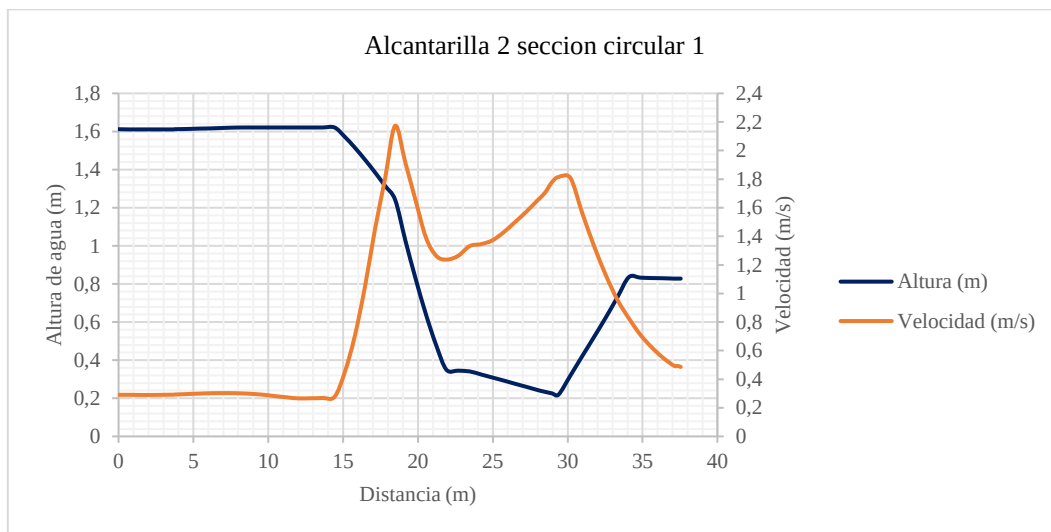


Figura 9. Relación entre la altura del agua y la velocidad del flujo en la alcantarilla 2 (sección circular 1) para un periodo de retorno de 25 años

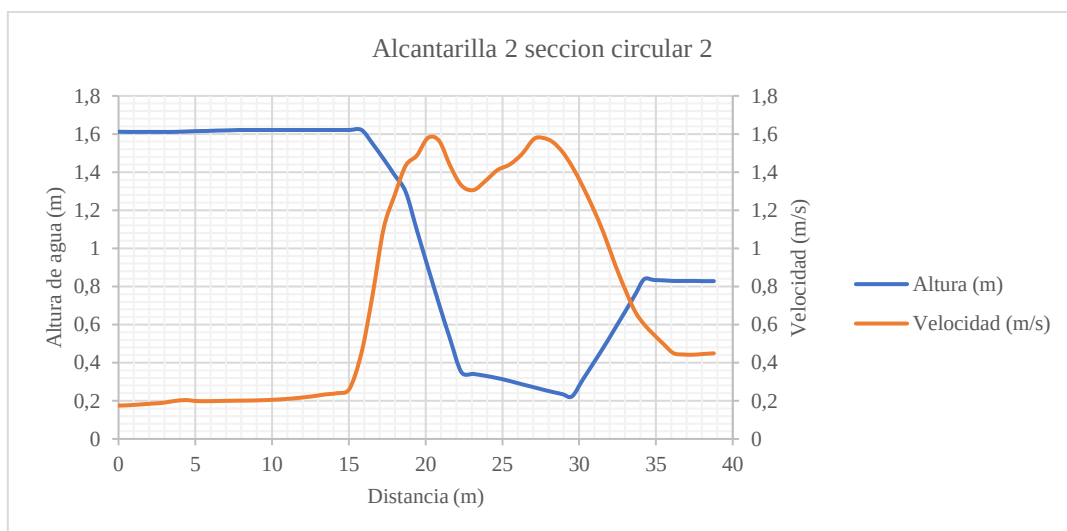


Figura 10. Relación entre la altura del agua y la velocidad del flujo en la alcantarilla 2 (sección circular 2) para un periodo de retorno de 25 años

La figura 11 muestra el resultado de la simulación hidráulica bidimensional fue elaborada en el Hec-Ras, representando la

distribución espacial de la altura del agua (m) y la velocidad (m/s) bajo un evento extremo con un tiempo de retorno de 50 años.

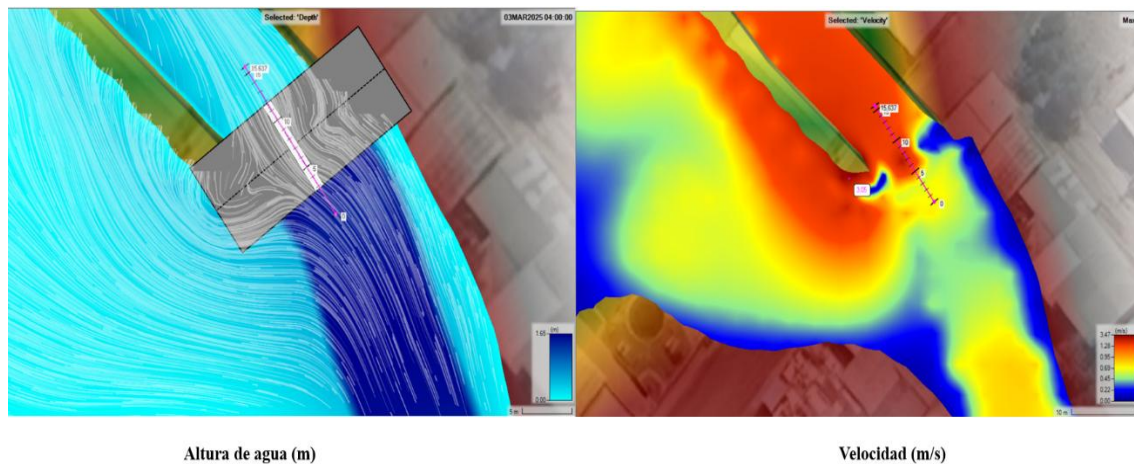


Figura 11. Distribución bidimensional de altura y velocidad del flujo en la alcantarilla 1 para un periodo de retorno de 50 años

La figura 12 representa el comportamiento longitudinal del flujo en la alcantarilla 1, mostrando la variación de la altura del agua (m) y la velocidad (m/s) obtenidas mediante simulación unidimensional en HEC-RAS. El

análisis corresponde al mismo escenario hidrológico de 50 años, con condiciones de borde derivadas del hidrograma de salida generado en HEC-HMS.

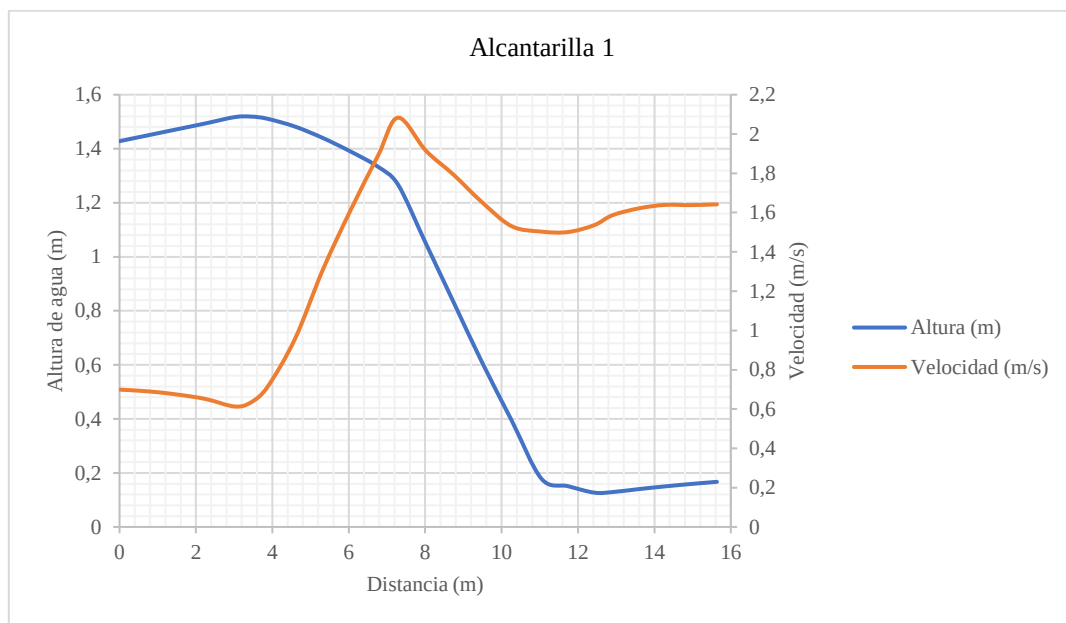


Figura 12. Relación entre la altura del agua y la velocidad del flujo en la alcantarilla 1 para un periodo de retorno de 50 años.

La figura 13, muestra como resultado la simulación hidráulica bidimensional, representando la distribución espacial de la

altura del agua (m) y la velocidad (m/s) en la alcantarilla 2.

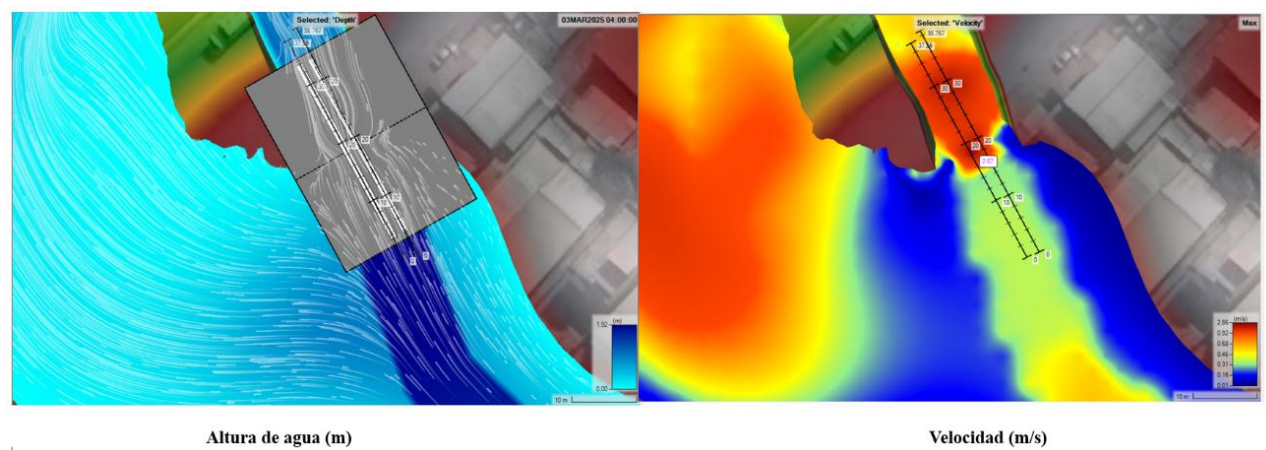


Figura 13. Distribución bidimensional de altura y velocidad del flujo en la alcantarilla 2 para un periodo de retorno de 50 años

Se muestra en la figura 14 y 15, el escenario simulado para un periodo de retorno de 50 años muestra un incremento significativo tanto en la altura del flujo como en la velocidad media, respecto al evento de 25 años.

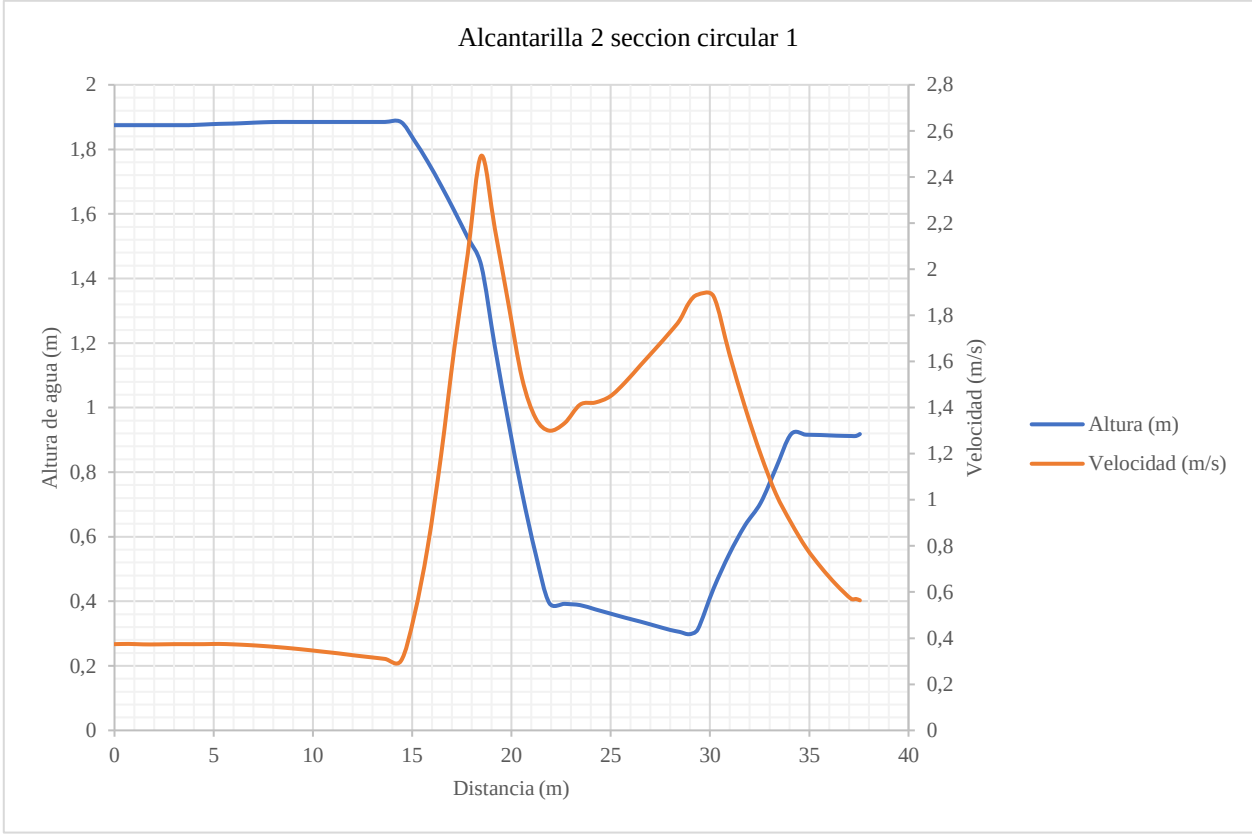


Figura 14. Relación entre la altura del agua y la velocidad del flujo en la alcantarilla 2 (sección circular 1) para un periodo de retorno de 50 años

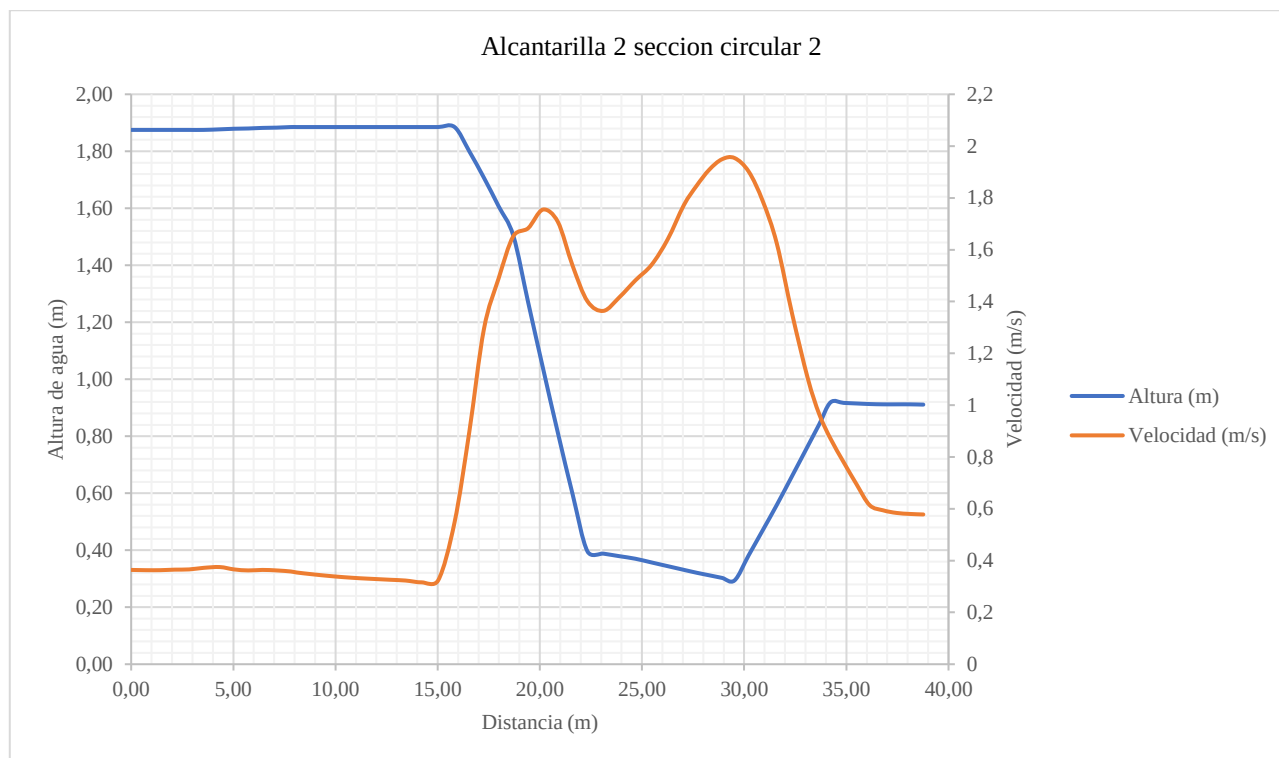


Figura 15. Relación entre la altura del agua y la velocidad del flujo en la alcantarilla 2 (sección circular 2) para un periodo de retorno de 50 años

La visita de campo que se muestra en la figura 16, realizada reveló condiciones de deterioro estructural y funcional, evidenciando bloqueos parciales, crecimiento excesivo de vegetación ribereña y presencia de desechos sólidos.

En la figura A, el ingreso de flujo se ve comprometido por acumulación de material vegetal, lo que puede reducir la capacidad hidráulica del sistema durante eventos de alta precipitación. La figura B muestra un tramo con escurrimiento a cielo abierto y posible pérdida de sección hidráulica por invasión de vegetación, lo que incrementa la fricción y el riesgo de desbordamientos.

En la figura C, el interior del conducto presenta sedimentación y formación de biopelículas, indicio de flujo lento y condiciones anóxicas. Finalmente, la figura D evidencia descarga contaminada y residuos sólidos urbanos, lo cual no solo afecta la eficiencia hidráulica, sino también la calidad ambiental y sanitaria del entorno.

Estos hallazgos sustentan la necesidad de implementar mantenimiento periódico, limpieza de sedimentos y rehabilitación estructural de los conductos, además de acciones de gestión ambiental que mitiguen la contaminación y el deterioro del sistema pluvial.



Figura 16. Evaluación visual del sistema de alcantarillado pluvial en el sector La Pila, Manabí

Se presenta a continuación los resultados obtenidos en la encuesta realizada, para la tabla 4 y figura 17.

Tabla 4. Frecuencia de inundaciones en el sistema de alcantarillado pluvial.

	¿Con qué frecuencia se presentan inundaciones en su sector durante la temporada de lluvias?				
	Nunca	Rara vez	Algunas veces	Frecuentemente	Siempre
Recuento	0	0	10	19	1
% de N filas de capa válidas	0.0%	0.0%	33.3%	63.3%	3.3%

La mayoría de los encuestados (63.33%) afirmó que las inundaciones ocurren frecuentemente durante la temporada de lluvias, mientras que un 33.33% indicó que se

presentan algunas veces. Solo el 3.33% consideró que las inundaciones ocurren siempre.

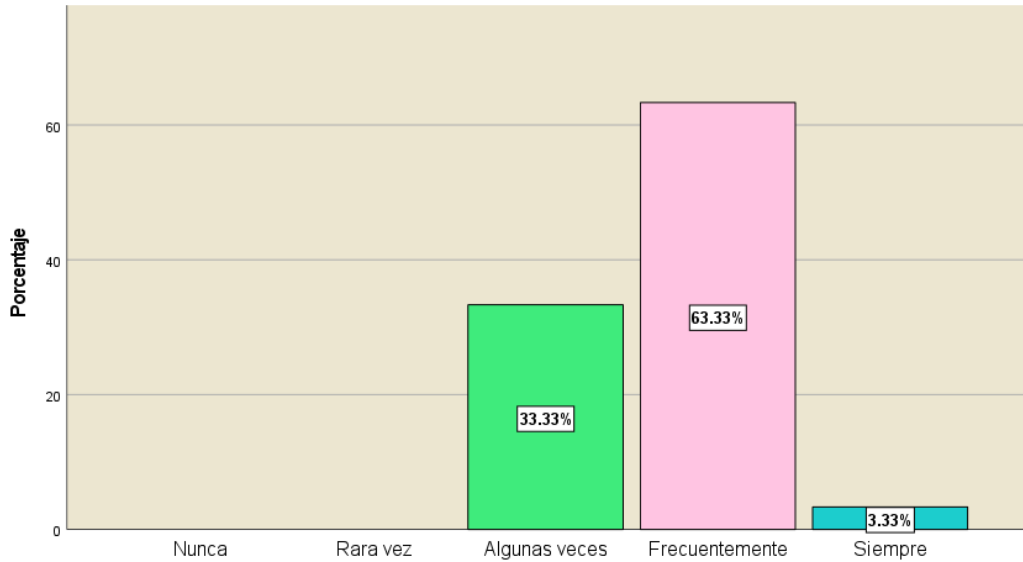


Figura 17. Recurrencia de inundaciones en los sistemas de drenaje

Se muestra los resultados de la encuesta tanto en la tabla 5 y figura 18, en lo que respecta a la presencia del sistema de alcantarilla pluvial.

Tabla 5. Conocimiento sobre el sistema de alcantarillado pluvial de la Pila

	¿Conoce usted si su barrio cuenta con un sistema de alcantarillado pluvial funcional?			
	Sí, y funciona bien	Sí, pero no funciona adecuadamente	No estoy seguro	No cuenta con sistema
Recuento	16	8	4	2
% del N de fila	53.3%	26.7%	13.3%	6.7%

El 53.33% de los encuestados afirmó conocer y reconocer un sistema pluvial funcional en su sector, mientras que el 26.67% considera que no opera correctamente, evidenciando percepciones divididas sobre su efectividad. Además, un 13.33% manifestó desconocimiento sobre la existencia del

sistema, lo que sugiere falta de información comunitaria y participación ciudadana en la gestión del drenaje urbano. Un 6.67% confirmó no contar con alcantarillado, lo que representa sectores vulnerables con mayor exposición a inundaciones.

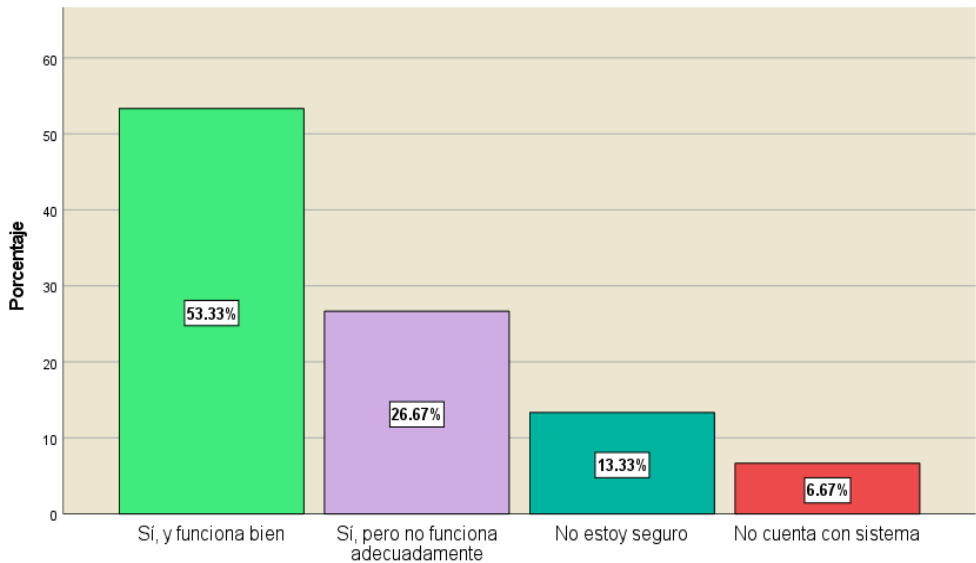


Figura 18. Valoración sobre la existencia de sistemas de alcantarillado pluvial de la Pila

Se presentan los resultados de las causas principales que producen inundaciones en el sector de la Pila que muestra en la tabla 6 y figura 19

Tabla 6. Principales causas de las inundaciones según los habitantes.

¿A qué atribuye usted principalmente las inundaciones en su sector?				
	Falta o mal estado del sistema de alcantarillado pluvial	Obstrucción por desechos	Lluvias excesivas	Falta de mantenimiento
Recuento	2	15	5	8
% del N de fila	6.7%	50.0%	16.7%	26.7%

La obstrucción por desechos sólidos (50%) fue identificada como la causa principal de las inundaciones, seguida por la falta de mantenimiento (26.67%) del sistema pluvial. Estos resultados reflejan una problemática tanto ambiental como de gestión municipal, donde el mal manejo de residuos y la ausencia

de limpieza preventiva reducen la capacidad hidráulica de las alcantarillas. Las lluvias intensas (16.67%) y el mal estado del sistema (6.67%) también contribuyen, pero en menor medida, mostrando que el problema es más de operación que de diseño.

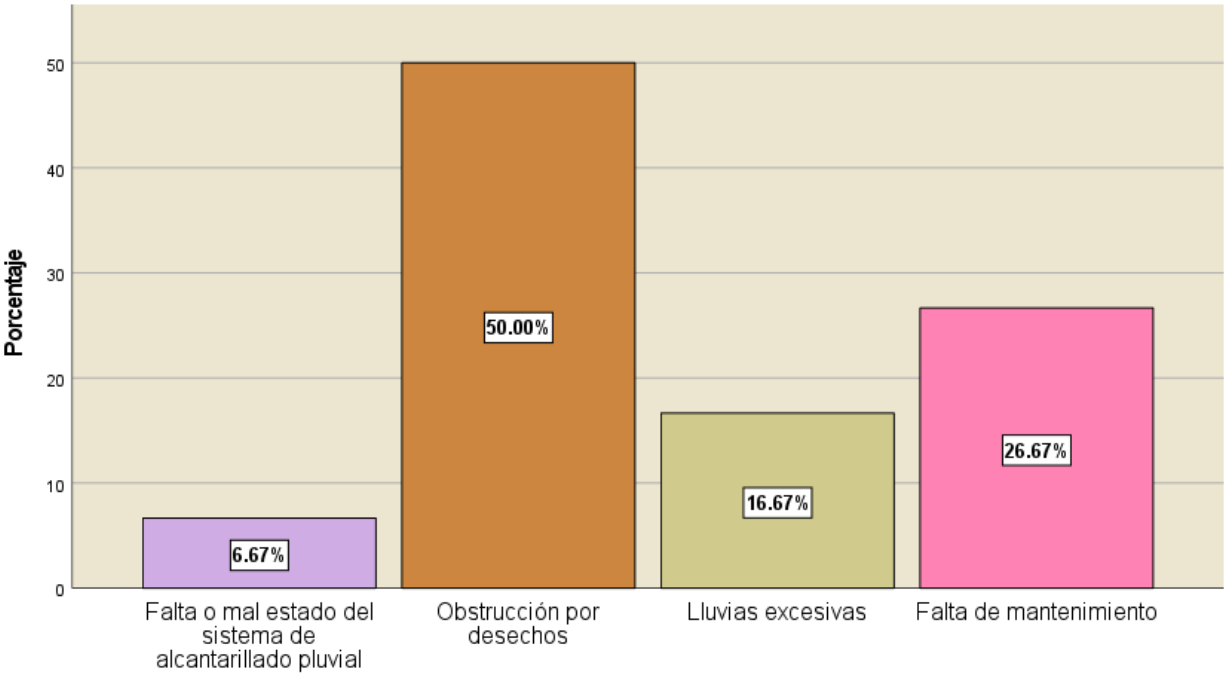


Figura 19. Análisis del mantenimiento del sistema de alcantarillado pluvial.

Se presentan los resultados de los datos obtenidos por la comunidad en cuanto al tiempo que se tarda en evacuar el agua después de un evento de precipitación extrema se evidencia en la tabla 7 y figura 20.

Tabla 7. Tiempo que tarda en retirarse el agua estancada después de una lluvia.

¿Cuánto tiempo tarda en retirarse el agua estancada luego de una lluvia fuerte?					
	Menos de una hora	Entre 1 y 3 horas	Entre 3 y 6 horas	Más de 6 horas	Permanece por días
Recuento	0	3	16	2	9
% del N de fila	0.0%	10.0%	53.3%	6.7%	30.0%

Más de la mitad de los habitantes (53.33%) señaló que el agua tarda entre 3 y 6 horas en retirarse, mientras que un 30% indicó que el agua permanece por días, lo que implica deficiencias en la pendiente hidráulica o en la capacidad del sistema para evacuar el caudal

pluvial. Este tiempo prolongado de drenaje favorece el deterioro de las vías, la proliferación de vectores y la afectación a viviendas, representando un riesgo tanto sanitario como estructural.

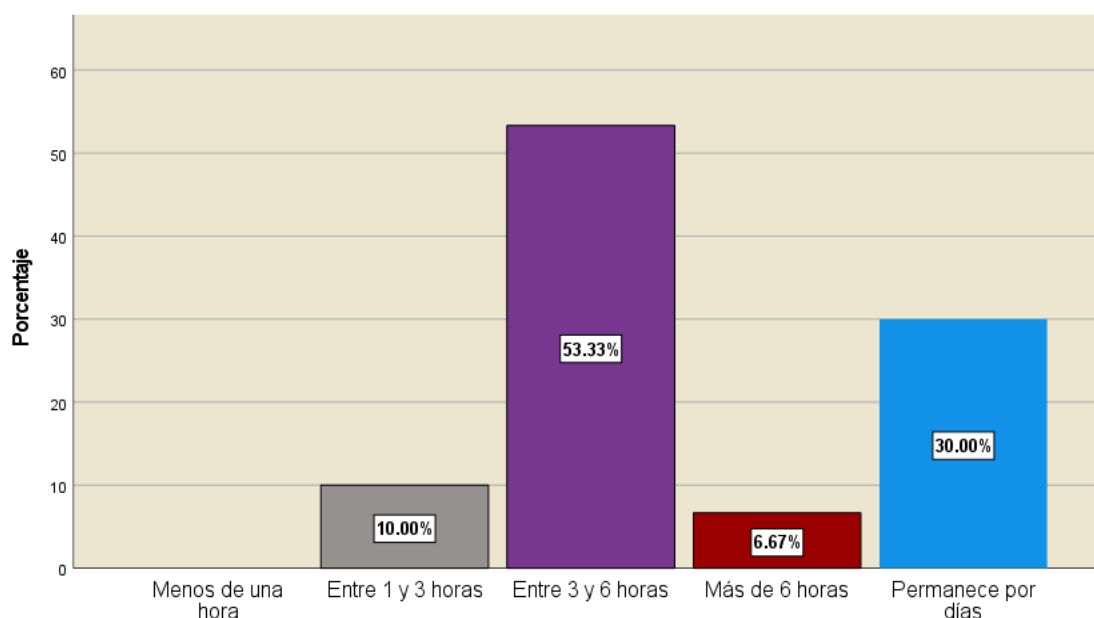


Figura 20. Tiempo en que el tarda el agua en evacuar zonas de inundables en la parroquia La Pila.

DISCUSIÓN

El análisis hidrológico e hidráulico desarrollado en la parroquia La Pila permitió identificar la respuesta del sistema pluvial frente a eventos de precipitación con periodos de retorno de 25 y 50 años. Los resultados obtenidos mediante la modelación en HEC-HMS y HEC-RAS evidenciaron un comportamiento no lineal entre el aumento de la precipitación y la magnitud del caudal de salida, mostrando incrementos significativos de las velocidades y alturas del flujo, particularmente en las alcantarillas 1 y 2. Este comportamiento confirma la sensibilidad del sistema frente a lluvias extremas, característica común en cuencas urbanizadas con alta impermeabilización superficial (Maidment & Mays, 2022).

Los valores del Número de Curva (CN), comprendidos entre 71 y 77, reflejan diferencias en la cobertura vegetal y el tipo de suelo de las microcuencas analizadas. Aquellas

con mayor intervención antrópica registraron valores de CN más altos, lo que implica una menor capacidad de infiltración y, por tanto, una mayor escorrentía superficial. Este patrón concuerda con lo señalado por USDA (2022), quien indica que las superficies con cobertura reducida tienden a generar respuestas hidrológicas rápidas y caudales pico elevados. La modelación de Muskingum complementó este análisis, mostrando que el coeficiente de almacenamiento ($K = 0.40$ h) y el factor de ponderación ($x = 0.20$) representaron adecuadamente el tránsito de avenidas a lo largo del cauce, confirmando la confiabilidad del modelo hidrológico empleado.

La modelación hidrológica e hidráulica desarrollada en los programas HEC-HMS y HEC-RAS permitió determinar que el sistema de alcantarillado pluvial de La Pila se encuentra operando al límite de su capacidad durante eventos de precipitación con tiempos de retorno de 25 y 50 años, evidenciando velocidades de flujo superiores a 3.6 m/s y

calados de hasta 1.52 m. Este comportamiento refleja una condición de sobrecarga hidráulica que puede derivar en desbordamientos locales y erosión estructural en los puntos de descarga, lo cual coincide con los parámetros identificados por Brunner (2023) y USACE (2023), quienes destacan que sistemas con pendientes reducidas y secciones colmatadas tienden a perder eficiencia bajo escenarios de lluvia extrema. Este hallazgo coincide con las observaciones de campo, donde se constató la acumulación de sedimentos, residuos sólidos y vegetación dentro de los conductos, reduciendo su sección hidráulica efectiva y generando pérdidas de energía por fricción (Jiménez et al., 2023).

En cuanto al componente social, los resultados de las encuestas evidenciaron una alta frecuencia de inundaciones (63.33 %) y una percepción comunitaria que atribuye la causa principal a la obstrucción por desechos sólidos (50 %) y a la falta de mantenimiento del sistema (26.67 %). Estos hallazgos se alinean con las conclusiones de CEPAL (2024), quien advierte que la falta de gestión ambiental urbana incrementa la vulnerabilidad hidráulica de las zonas pobladas. Adicionalmente, el 53.33 % de los encuestados reconoció contar con un sistema pluvial funcional, aunque un 26.67 % indicó que no opera adecuadamente, lo que pone de manifiesto la desigualdad en la calidad de la infraestructura y la limitada participación ciudadana en su mantenimiento.

Finalmente, el análisis de tiempos de drenaje reveló que más del 53 % de los habitantes manifestó que el agua tarda entre 3 y 6 horas en retirarse, y un 30 % indicó que permanece por días, confirmando que la eficiencia del sistema está comprometida. Estos tiempos prolongados de evacuación pueden asociarse a pendientes bajas, diseños insuficientes de las alcantarillas y ausencia de mantenimiento preventivo, aspectos que deben ser priorizados dentro de la planificación hidráulica urbana de La Pila (Arcement & Schneider, 2022).

CONCLUSIONES

El sistema de alcantarillado pluvial de La Pila presenta condiciones de sobrecarga hidráulica durante eventos de lluvia con periodos de retorno de 25 y 50 años, evidenciando la necesidad de redimensionar las estructuras y optimizar su capacidad de conducción.

Los valores del Número de Curva (CN) y los parámetros morfométricos de las microcuencas reflejan una alta susceptibilidad a la escorrentía superficial, especialmente en zonas con menor cobertura vegetal y mayor grado de urbanización.

La obstrucción por desechos sólidos y la falta de mantenimiento fueron identificadas como las principales causas de las inundaciones, lo que resalta la importancia de fortalecer la gestión ambiental y la educación ciudadana.

Las simulaciones hidráulicas mostraron velocidades y calados críticos que podrían generar desbordamientos en puntos específicos del sistema, lo cual representa un riesgo estructural y social si no se implementan medidas correctivas.

Se recomienda desarrollar un plan de mantenimiento integral, acompañado de monitoreo técnico mediante modelación hidrodinámica periódica, para garantizar la sostenibilidad del sistema y su resiliencia frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcement, G. J., & Schneider, V. R. (2022). *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains*. U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/wsp/2339/report.pdf>
- Brunner, G. W. (2023). *HEC-RAS River Analysis System User's Manual* (Version 6.4). Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation.aspx>
- CEPAL. (2024). *Gestión sostenible del agua y drenaje urbano en América Latina*. Comisión Económica para América Latina

- y el Caribe.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2023). *Applied hydrology* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
<https://www.mheducation.com/highered/product/applied-hydrology-chow-maidment/>
- INAMHI. (2024). *Anuario meteorológico 2000–2024: Estación M448 “La Laguna”*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador.
<https://www.inamhi.gob.ec/>
- Jiménez, F., Paredes, C., & Zambrano, J. (2023). Evaluación hidráulica de drenajes urbanos mediante modelación numérica 2D en Ecuador. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 15(2), 45–61.
<https://revistas.utpl.edu.ec/index.php/rlic>
- Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2022). *Hydrology and floodplain analysis* (6th ed.). Pearson Education.
<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/hydrology-and-floodplain-analysis/P2000000004812>
- UNESCO. (2023). *Water security and urban resilience: Global framework for action*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386239>
- USACE. (2023). *Hydrologic modeling system HEC-HMS: Technical reference manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.aspx>
- USDA. (2022). *National engineering handbook, part 630: Hydrology*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
<https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17757.wba>

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.



DERECHOS DE AUTOR

Mendoza Cedeño, J. D., Sornoza Arteaga, E. J., & Palma Villavicencio, C. I. (2025)



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo la licencia Creative Commons de Atribución No Comercial 4.0, que permite su uso sin restricciones, su distribución y reproducción por cualquier medio, siempre que no se haga con fines comerciales y el trabajo original sea fielmente citado.



El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en esta publicación es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la revista.