



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**

Seréis mis testigos

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE HIDRÁULICA

TRABAJO DE TITULACIÓN

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES EN EL
CANTÓN ROCAFUERTE, MANABÍ**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

**GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
NATURALES**

**PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICO**

AUTOR

JOSÉ GREGORIO CARRANZA CEVALLOS

TUTOR

ING. JIMMY LEANDRO REYES ZAMBRANO, M.Sc.

PORTOVIEJO, ENERO 2026

Certificación de la Tesis

Ing. Jimmy Leandro Reyes Zambrano, M.Sc.

Tutor del plan de investigación curricular

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Ing. Jimmy Leandro Reyes Zambrano, M.Sc.

C.I. 131362004-7

Aprobación del Tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí:

(F)_____

Ing. Jimmy Leandro Reyes Zambrano, M.Sc.

Presidente del tribunal

(F)_____

Ing. José Ramón Alarcón Llor, M. Sc.

Primer Lector

(F)_____

Ing. Fabian Rodrigo Espinales Cedeño, M. Sc

Segundo Lector

Declaración de Originalidad

Este manuscrito, no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en la información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Autor:

F. _____

José Gregorio Carranza Cevallos

Dirección: Rocafuerte, Manabí

E-mail: jcarranza4553@pucesm.edu.ec

Celular: 0963346198

Declaración de Derecho del Autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos, con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Autor:

F. _____
José Gregorio Carranza Cevallos
C.I. 1315434553

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por ser mi mayor motivación y sostén en los momentos de mayor desafío, a quienes creyeron en mí incluso cuando el camino se tornó complejo, este logro es fruto de su amor, sus palabras de aliento y su presencia constante; también lo dedico a todos quienes comparten el sueño de transformar nuestro entorno a través de la ingeniería hidráulica y el compromiso con el bienestar de nuestras comunidades.

José Gregorio Carranza Cevallos

Agradecimiento

Agradezco profundamente a Dios por la fortaleza y claridad otorgadas durante todo este proceso académico, a mi familia, por su apoyo incondicional, paciencia y confianza, elementos que fueron esenciales para culminar esta etapa.

Extiendo mi gratitud a mis docentes y tutores de la carrera de Ingeniería Hidráulica, quienes con su guía, exigencia y conocimientos contribuyeron al desarrollo profesional y personal que hoy llevo conmigo, a todas las personas que, de una u otra manera, aportaron a la realización de este trabajo, mi sincero reconocimiento.

José Gregorio Carranza Cevallos

Resumen

Se genera una investigación de tipo no experimental descriptiva, con un análisis mixto de las zonas más propensas a inundarse en la cuenca del río Portoviejo, considerando su influencia sobre el cantón Rocafuerte. Para ello se usó información hidrometeorológica y topográfica reciente, lo cual permitió generar lluvias de diseño para periodos de retorno entre 2 y 100 años a partir de las curvas IDF, así como caracterizar la cuenca y estimar los caudales asociados a eventos de 50 y 100 años mediante herramientas SIG para aporta mapas de inundación y caudales de diseño que orientan planificación territorial. Se delimitó en la cuenca un área de 36.44 km², con un perímetro de 43.43 km y un curso principal de 10.87 km, cuya pendiente media del cauce es de 0.0313 m/m y la de la cuenca de 0.007 m/m, donde se estimó un caudal de 367.80 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, alcanzando profundidades máximas de 2.68 m y velocidades de hasta 1.00 m/s en zonas de bajo gradiente; mientras que para un periodo de 100 años, el caudal se incrementa a 483.70 m³/s, generando profundidades de hasta 3.63 m y velocidades entre 0.25 y 0.75 m/s. Las condiciones evidencian un incremento significativo en la extensión de las áreas susceptibles a inundación, así como en los procesos de saturación y sedimentación, lo que resalta la necesidad de implementar medidas de mitigación y planificación territorial para reducir el riesgo en el cantón Rocafuerte.

Palabras clave: cuenca, caudal, mitigación.

Abstract

A non-experimental descriptive study was conducted, using a mixed analysis of the areas most prone to flooding in the Portoviejo River basin, considering its influence on the Rocafuerte canton. Recent hydrometeorological and topographic information was used, which made it possible to generate design rainfall for return periods between 2 and 100 years from IDF curves, as well as to characterize the basin and estimate the flows associated with 50- and 100-year events using GIS tools. An area of 36.44 km² was delineated in the basin, with a perimeter of 43.43 km and a main channel of 10.87 km, whose average channel slope is 0.0313 m/m and basin slope is 0.007 m/m. A flow of 367.80 m³/s was estimated for a 50-year return period, reaching maximum depths of 2.68 m and velocities of up to 1.00 m/s in low-gradient zones; whereas for a 100-year return period, the flow increases to 483.70 m³/s, generating depths of up to 3.63 m and velocities between 0.25 and 0.75 m/s. These conditions show a significant increase in the extent of flood-prone areas, as well as in saturation and sedimentation processes, highlighting the need to implement mitigation measures and territorial planning to reduce risk in the Rocafuerte canton

Keywords: Basin, flow rate, mitigation.

Índice

Certificación de la Tesis.....	ii
Aprobación del Tribunal	iii
Declaración de Originalidad	iv
Declaración de Derecho del Autor.....	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Resumen.....	viii
Abstract	ix
Índice de Figuras	12
Índice de Tablas	13
Índice de Formulas.....	14
Introducción	15
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos.....	18
Materiales y Métodos.....	18
Características de la Investigación.....	18
Características del Lugar.....	19
Métodos.....	20
Caracterización hidrológica y geomorfológica de la cuenca.....	20
Modelación hidráulica de eventos de inundación con HEC-RAS.....	26

Zonificación de áreas susceptibles a inundaciones	28
Resultados y Discusiones.....	29
Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Portoviejo	29
Precipitaciones de Diseño.....	29
Ecuación de Intensidad y Curvas de Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF). 32	
Hietogramas.....	34
Simulación Hidrológica.....	35
Tiempo de concentración y de Retardo	36
Caudales Máximos Probable	37
Modelación Hidráulica de Eventos de Inundación con HEC-RAS	38
Conclusiones	43
Recomendaciones.....	44
Bibliografía	45
Anexos	51

Índice de Figuras

Figura 1. Localización cuenca del Río Portoviejo	19
Figura 2. Curva de ajuste por regresión	32
Figura 3. Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).	33
Figura 4. Hietograma de precipitación (Tr = 50 años).	34
Figura 5. Hietograma de precipitación (Tr = 100 años).	34
Figura 6. Cuenca de río Portoviejo, con su influencia en el cantón Rocafuerte	35
Figura 7. Comportamiento de las profundidades del agua para un tr de 50 años	39
Figura 8. Comportamiento de las velocidades del agua para un tr de 50 años	40
Figura 9. Comportamiento de las profundidades del agua para un tr de 100 años	41
Figura 10. Comportamiento de las velocidades del agua para un tr de 100 años	42
Figura 11. Hidrograma Unitario para periodo de retorno de 50 años y 100 año	56
Figura 12. Generación de mallado del cauce del Río Portoviejo.....	57

Índice de Tablas

Tabla 1: Precipitaciones máximas en 24 horas desde los años 2009 al 2023	21
Tabla 2: Precipitaciones Máximas Probables	29
Tabla 3: Intensidades de lluvias	30
Tabla 4: Primera regresión de tipo potencial	31
Tabla 5: Segunda regresión de tipo potencial	31
Tabla 6: Intensidades asociadas a cada duración y periodo de retorno	33
Tabla 7: Características morfométricas de la cuenca del Río Portoviejo	36
Tabla 8: Variables σ_y y μ_y según la cantidad de datos de Gumbel	51
Tabla 9: Coeficientes de escorrentía	52
Tabla 10: Números de Curvas	53
Tabla 11: Hietograma por bloques alternos para periodo de 50 años	54
Tabla 12: Hietograma por bloques alternos para periodo de 100 años	55

Índice de Formulas

Fórmula 1. Media estadística	22
Fórmula 2. Desviación estándar.....	22
Fórmula 3. Probabilidad Gumbel.....	22
Fórmula 4. Probabilidad Gumbel.....	23
Fórmula 5. Probabilidad de ocurrencia.	23
Fórmula 6. Precipitación	24
Fórmula 7. Corrección de intervalos fijos.....	25
Fórmula 8. Intensidades de Lluvia.....	25
Fórmula 9. Ecuación de intensidad	26
Fórmula 10. Modelo de regresión múltiple.....	26
Fórmula 11. Tiempo de concentración Kirpich	27
Fórmula 12. Tiempo de retardo	27
Fórmula 13. Ecuación de intensidad de la zona.....	32

Introducción

A nivel mundial, las inundaciones constituyen el desastre natural más frecuente que se ven agravadas por el cambio climático, donde en países como Ecuador, especialmente en las zonas costeras y cuencas bajas influenciadas por El Niño, estos eventos provocan pérdidas humanas, económicas, sociales y ambientales significativas (Burgos *et al.*, 2019). En las áreas urbanas, la combinación del cambio climático y el crecimiento desordenado en zonas ambientalmente frágiles, como humedales y espacios de drenaje natural, ha incrementado la vulnerabilidad, generando anegamientos recurrentes y pérdidas materiales, lo que evidencia la necesidad de infraestructura y planificación territorial sostenible (Da Silva *et al.*, 2022).

En este contexto, la problemática global de las inundaciones se manifiesta con particular intensidad en Ecuador, donde enfrenta un incremento significativo en la frecuencia e intensidad de las inundaciones, particularmente en las comunidades costeras, donde la vulnerabilidad social y la limitada coordinación interinstitucional aumentan los riesgos, mientras que los sistemas de alerta temprana requieren una mayor integración de tecnologías para mejorar su eficacia (Brambilla, 2025). Esta realidad se refleja de manera evidente en la provincia de Manabí, que debido a sus características geográficas y climáticas registra cada invierno lluvias intensas que provocan desbordamientos, anegamientos y daños sociales, económicos y ambientales, siendo cantones como Portoviejo, Tosagua, Santa Ana, Paján, 24 de Mayo, Rocafuerte, Bolívar, Sucre, Jipijapa y Tosagua ubicados en un valle de inundación los más vulnerables (PRIMICIAS, 2025).

Frente a este escenario de creciente riesgo, la aplicación de modelaciones hidrológicas e hidráulicas se vuelve fundamental para identificar y analizar las zonas susceptibles a inundaciones, especialmente en regiones semiáridas con escasa información hidrometeorológica, donde el acoplamiento de modelos hidrológicos, como HEC-HMS, con modelos hidráulicos como

HEC-RAS o IBER, permiten estimar con mayor precisión el comportamiento de los caudales y la extensión de las áreas inundables en función de diferentes periodos de retorno, facilitando la planificación urbana, el diseño de infraestructuras y la gestión del riesgo de desastres, con información confiable sobre profundidades de inundación y superficies afectadas, aspectos críticos para la protección de la población y la infraestructura urbana (Salazar *et al.*, 2020; Tenesaca *et al.*, 2024). Dentro de este marco metodológico, el modelo HEC-RAS destaca por su capacidad de definir geometrías de estructuras y tramos de canales de manera sencilla, complementa estas herramientas al permitir la simulación de flujos unidimensionales y bidimensionales con soporte de métodos numéricos (Cueva *et al.*, 2021).

Bajo esta perspectiva, diversos estudios desarrollados en la cuenca baja del río Portoviejo ha enfocado en comprender la naturaleza y magnitud del riesgo mediante la evaluación de amenazas y el análisis de escenarios de vulnerabilidad, los cuales pueden generar afectaciones tanto a la población como al medio ambiente, con el objetivo de identificar zonas susceptibles a inundaciones en el cantón Rocafuerte, Manabí (Santana y Lima, 2021). Complementariamente, mediante la aplicación de un enfoque multicriterio con Sistemas de Información Geográfica SIG en la microcuenca San Marcos, se determinó que aproximadamente el 90% de la zona presenta alta susceptibilidad a inundaciones, debido a factores como pendientes bajas, geomorfología plana, alta saturación del suelo y acumulación de flujos superficiales (Loor *et al.*, 2023).

En este sentido, la ejecución de la presente investigación permite identificar y delimitar las zonas con mayor vulnerabilidad a inundaciones en el cantón Rocafuerte, provincia de Manabí, considerando las características de su geomorfología, régimen climático y dinámica hídrica. Asimismo, la aplicación de la modelación hidrológica e hidráulica, en conjunto con herramientas informáticas especializadas, posibilita la estimación precisa de caudales, profundidades de flujo y

áreas potencialmente afectadas. Estos resultados constituyen un insumo técnico fundamental para la planificación urbana segura y la gestión integral del riesgo de inundaciones, contribuyendo a la protección de la población, la infraestructura y los recursos ambientales, y proporcionando información clave para el diseño e implementación de estrategias de mitigación efectivas.

Objetivos

Objetivo General

Modelar los procesos hidrológicos e hidráulicos para la identificación de zonas susceptibles a inundaciones en el cantón Rocafuerte, Manabí.

Objetivos Específicos

Determinar las características hidrológicas y geomorfológicas de la cuenca de río Portoviejo y su influencia en el cantón Rocafuerte.

Simular posibles eventos de inundación mediante la modelación hidráulica con el software HEC-RAS.

Identificar áreas de alta susceptibilidad a inundaciones en función a los eventos climáticos.

Materiales y Métodos

Características de la Investigación

Se llevó a cabo una investigación descriptiva de tipo no experimental, la cual se basó en la simulación y el análisis de datos sin intervención de sus variables, buscando observar sus efectos.

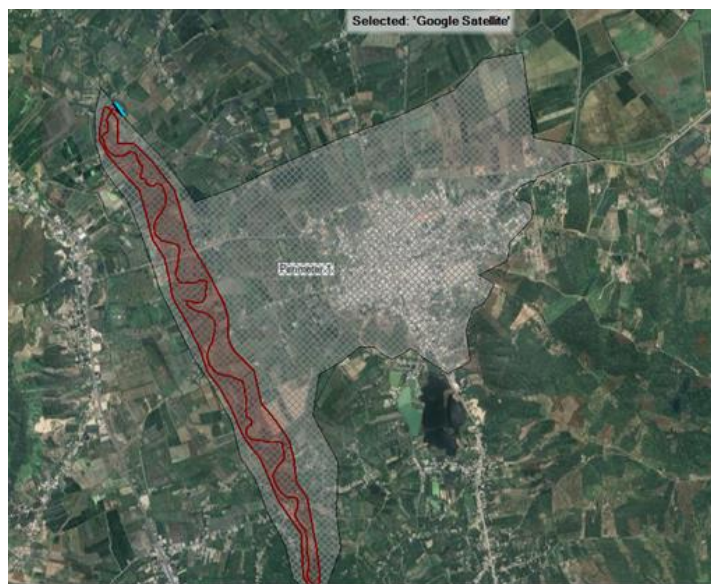
Para ello, se emplearon datos cuantitativos que permitieron realizar una caracterización cualitativa de la microcuenca San Marcos, vinculada al área urbana del cantón Rocafuerte, para identificar las zonas propensas a inundarse (Haro *et al.*,2024).

Características del Lugar

La microcuenca del río San Marcos se localiza en la provincia de Manabí, la cual atribuye hacia la zona urbana de la ciudad de Rocafuerte, que posee un clima tropical cálido, con temperaturas entre 23 °C y 26 °C, poca lluvia anual (397 mm), alta radiación solar y dos variantes: tropical megatérmico seco al oeste y tropical megatérmico semiárido al este (Ponce *et al.*,2022); donde se desarrolló la presente investigación durante junio a octubre del 2025.

Figura 1

Localización cuenca del Rio Portoviejo.



Métodos

Caracterización hidrológica y geomorfológica de la cuenca

Datos Topográficos y Cartográficos Empleados

Para realizar la caracterización hidráulica e hidrológica fue necesario usar información topográfica, considerando un Modelo Digital de Elevación (DEM) proveniente de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), facilitado por la institución SIGTIERRAS, con resolución de 10 m $\times$ 10 m correspondiente al año 2020; asimismo, se utilizó un mapa de textura y cobertura del suelo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP), a escala 1:60 000 (2020), y la cartografía base del Instituto Geográfico Militar (IGM), también a escala 1:60 000 del mismo año.

Lluvia de Diseño

La lluvia de diseño es la cantidad de precipitación estimada en un lugar durante un periodo específico, asociada a un tiempo de retorno que indica la frecuencia con la que se espera que ocurra, su estimación requiere un análisis estadístico regional de datos provenientes de estaciones meteorológicas cercanas a las zonas en estudio, lo que permite obtener resultados más confiables que sirven como base fundamental para el diseño de obras hidráulicas (Domínguez *et al.*, 2020).

Se generaron curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) considerando las particularidades locales de la cuenca, donde se aplicó la distribución de Gumbel por su practicidad para representar eventos extremos de baja ocurrencia y alta intensidad, como los de la región estudiada (Tenesaca *et al.*, 2024). Se consideraron datos de precipitación máxima en 24 horas entre los años 2009 y 2023, obtenidos desde la National Aeronautics and Space Administration (NASA), como se los presentan en la tabla 1.

Tabla 1

Precipitaciones máximas en 24 horas desde los años 2009 al 2023.

Año	Máxima Precipitación en 24 h (mm)
2009	164.00
2010	232.20
2011	210.10
2012	437.10
2013	215.10
2014	182.50
2015	234.20
2016	220.20
2017	284.80
2018	284.70
2019	208.70
2020	132.10
2021	297.80
2022	217.40
2023	261.10

Análisis de Precipitaciones Máximas mediante la Distribución de Gumbel

La distribución de Gumbel es un método estadístico especializado que permite representar y prever fenómenos extremos, como las lluvias más intensas registradas en un periodo específico (Ramos y Rodríguez, 2019); aunque existen otras distribuciones comúnmente empleadas, como Pearson Tipo III, Log-Normal y Exponencial, no se realizó una comparación estadística entre ellas, ya que el estudio adoptó Gumbel de forma directa por su eficacia en la estimación de valores extremos hidrológicos, especialmente precipitaciones máximas y caudales pico.

Se calculó la media y la desviación estándar mediante las fórmulas 1 y 2, a partir de los valores máximos de precipitación en 24 horas, los cuales corresponden a sucesos poco frecuentes

y alejados del comportamiento habitual que pueden generar impactos significativos, posteriormente se aplicó el modelo probabilístico de Gumbel (Sánchez, 2013).

Media.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Fórmula 1. Media estadística.

Donde:

$\bar{x}$ = Media estadística.

X_i = Conjunto de observaciones.

n = Número de observaciones.

Desviación Estándar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Fórmula 2. Desviación estándar.

Donde:

S = Desviación estándar.

n = Número de observaciones.

x_i = Observación número i de la variable x .

$\bar{x}$ = Media estadística.

Probabilidades Gumbel.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

Fórmula 3. Probabilidad Gumbel.

Donde:

α = Probabilidad de Gumbel.

S = Desviación estándar de la muestra.

$$u = \bar{x} - \mu_y * \sigma_y$$

Fórmula 4. Probabilidad Gumbel.

Donde:

u = Probabilidad de Gumbel.

$\bar{x}$ = Media estadística.

σ_y, μ_y = Factores de Gumbel según el número de datos (ver tabla en anexos).

Precipitación Máxima Diaria

Una precipitación máxima diaria es el mayor valor de lluvia registrado en un solo día dentro de un periodo de análisis, lo cual permite identificar los días con lluvias más intensas, útiles para estudiar la variabilidad climática y comprender los patrones de lluvia en una región (Paliz *et al.*, 2021). Según Sánchez (2013), la estimación de esta variable se realiza mediante el uso de la probabilidad de ocurrencia, los valores de precipitación y la definición de intervalos fijos para calcular la intensidad de la lluvia, empleando las fórmulas desde la 5 a la 8 que se detallan a continuación.

$$F(xt) = 1 - \frac{1}{Tr}$$

Fórmula 5. Probabilidad de ocurrencia.

Donde:

$F(xt)$ = Probabilidad de ocurrencia.

Tr = Periodo de retorno (años).

$$P = \mu_y - \ln \left(\frac{-\ln(F(xt))}{\frac{1}{\sigma_y}} \right)$$

Fórmula 6. Precipitación.

Donde:

P = Precipitación (mm).

u_y = Probabilidad de Gumbel.

σ_y = Factores de Gumbel.

F (xt) = Probabilidad de ocurrencia.

$$XT = P * 1,14$$

Fórmula 7. Corrección de intervalos fijos.

Donde:

XT= Corrección del Intervalos.

P = Precipitación.

$$I = \frac{P}{t}$$

Fórmula 8. Intensidades de Lluvia.

Donde:

I= Intensidades de Lluvia (mm).

P = Precipitación (mm).

t = Tiempo de duración (horas).

Curvas IDF (Intensidad Duración Frecuencia)

Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) permiten establecer la relación entre la intensidad de la lluvia, su duración y la frecuencia con la que puede presentarse un evento de determinada magnitud, a través de las cuales es posible estimar la intensidad de precipitación esperada para distintos periodos de retorno, utilizados en el análisis hidrológico y el diseño de obras hidráulicas (Félix *et al.*, 2021); en la zona de estudio se estimó la ecuación de intensidad de lluvia (ver fórmula 9) para obtener las curvas IDF (INAMHI, 2015).

$$I = \frac{k * T^m}{D^n}$$

Fórmula 9. Ecuación de intensidad.

Donde:

I = Intensidad de precipitación (mm/h).

k, m y n = Constantes calculadas mediante una regresión lineal múltiple.

T = Periodo de retorno (años).

D = Duración (horas o minutos).

Para crear la ecuación de intensidad, previamente se estimaron las precipitaciones máximas anuales de lluvia para distintas duraciones (D) y periodos de retorno (T) mediante la distribución de Gumbel, se linealizó mediante logaritmos (ver formula 10) y se aplicó regresión múltiple para obtener los parámetros *k*, *m* y *n*, los cuales se sustituyeron en la ecuación original para generar las curvas IDF y verificar el ajuste con los datos observados (INAMHI, 2015).

$$\log I = \log k + m \log T - n \log D$$

Fórmula 10. Modelo de regresión múltiple.

Modelación hidráulica de eventos de inundación con HEC-RAS

Simulación Hidrológica

La simulación hidrológica permite modelar el comportamiento del agua en una cuenca, considerando la lluvia, escorrentía, caudales y procesos de infiltración, a fin de comprender su dinámica, para ello resulta conveniente el uso de herramientas informáticas especializadas como el software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), el cual permite integrar datos topográficos, geomorfológicos e hidrometeorológicos, facilitando la calibración y validación de eventos de lluvia específicos, lo cuales permiten analizar adecuadamente el comportamiento de la cuenca (Fernández *et al.*, 2024).

Además, mediante el software se estimaron parámetros hidrológicos fundamentales de la cuenca como: su área (A) en km², el perímetro (P) en km, la longitud del cauce principal (L) en km, la pendiente del cauce (j) en m/m, y la pendiente media de la cuenca (J) en m/m), siendo valores que permiten caracterizar la forma y dimensiones de la cuenca, así como la dinámica del flujo de escorrentía, determinando los caudales probables y la velocidad de desplazamiento del agua dentro del sistema (Castro, 2023).

Tiempo de Concentración y de Rezago

El tiempo de concentración (t_c) representa el lapso que demora en caer una gota de agua desde la zona más alejada en la cuenca hasta el punto de desagüe, factor estimado mediante el método de Kirpich (ver fórmula 11); por su parte, el tiempo de rezago (t_r) señala el retraso entre el inicio de la lluvia y la respuesta de la cuenca en el caudal, estimando la velocidad con que la escorrentía llega al punto de desagüe (ver fórmula 12) (Vélez y Gutierrez, 2011).

$$tc = 0,02 * L^{0,77} * S^{0,385}$$

Fórmula 11. Tiempo de concentración Kirpich.

Donde:

tc = Tiempo de concentración (minutos).

L = Longitud máxima a la salida (m).

S = Pendiente media del lecho (m/m).

$$tr = 0,35 * tc$$

Fórmula 12. Tiempo de retardo.

Donde:

tr = Tiempo de rezago (minutos).

tc = Tiempo de concentración (minutos).

Caudales Asociados a Distintos Periodos de Retorno

Para estimar los caudales de la cuenca, se utilizó el modelo hidrológico Muskingum-Cunge en el software HEC-HMS (Cunge, 1969), el cual permite simular la propagación de ondas de flujo en ríos y canales mediante un enfoque basado en la conservación de masa y momento; además se ajustaron las características físicas de la cuenca, integrando factores como el coeficiente de escorrentía, según lo propuesto por Ibáñez *et al.* (2011), y el número de curva del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1986) (ver tablas en los anexos), las cuales permiten reflejar la capacidad del terreno para absorber o generar escorrentía.

Al combinar estos parámetros con la lluvia de diseño, se pudieron estimar los caudales asociados a periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, información requerida para identificar áreas de alta susceptibilidad a inundaciones (Tenesaca *et al.*, 2024).

Zonificación de áreas susceptibles a inundaciones

En la identificación de zonas propensas a inundarse se considera el uso del software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), siendo un modelo hidrológico e hidráulico utilizado para simular y analizar inundaciones en ríos y cuencas, permitiendo estudiar tanto flujos estables (permanentes) como flujos inestables (no permanentes), mediante el uso de ecuaciones diferenciales determinísticas que representan la dinámica del movimiento del agua en un cauce durante eventos hidrometeorológicos extremos (Alcántara y Castro, 2021).

Para ello, se generan mapas de inundación mediante HEC-RAS a través de una metodología integrada con sistemas SIG (ArcGIS) y modelos hidrológicos, considerando datos topográficos (modelo digital de elevación), los caudales correspondientes a periodos de retorno de 25 y 50 años y las características hidráulicas del río (como la rugosidad de Manning), obteniéndose mapas que muestren las profundidades y velocidades de inundación en las zonas afectadas para diversos periodos (Hussein *et al.*, 2022; Tenesaca *et al.*, 2024).

Resultados y Discusiones

Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Portoviejo

Precipitaciones de Diseño

Según los datos de la tabla 1 correspondientes a las precipitaciones máximas en 24 horas registradas en la cuenca del río Portoviejo, se determinaron los parámetros estadísticos necesarios para el análisis probabilístico: una media ($\bar{x}$) de 238.80 mm, una desviación estándar (s) de 71.13 mm y los factores de distribución Gumbel $\alpha = 55.46$ mm y $\mu = 206.79$ mm; a partir de estos valores, fue posible estimar las precipitaciones máximas probables para distintos periodos de retorno (2, 5, 10, 25 y 50 años), cuyos resultados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2

Precipitaciones Máximas Probables.

Periodo de retorno (Años)	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia F (XT)	Corrección de intervalo fijo XT (mm)
2	227.1153	0.5000	272.54
5	289.9754	0.8000	347.97
10	331.5942	0.9000	397.91
25	384.1798	0.9600	461.02
50	423.1907	0.9800	507.83

Estos valores muestran que, a medida que aumenta el periodo de retorno, también incrementan las precipitaciones estimadas, donde en un periodo de retorno de 2 años, la precipitación máxima probable corregida es de 272.54 mm, mientras que para 50 años alcanza 507.83 mm, evidenciando que los eventos menos frecuentes se asocian con lluvias de mayor intensidad y magnitud.

Intensidades de Lluvias

En la tabla 3, se muestran las intensidades de lluvia (mm/h) según su duración y periodo de retorno, indicando cuánta lluvia puede caer en distintos lapsos y con qué frecuencia se espera que ocurra, las cuales sirven para establecer la relación Intensidad–Duración–Periodo de Retorno (IDP), ya que a partir de ellas se pueden obtener las curvas IDP que permiten estimar la intensidad de lluvia para la duración o periodo de retorno intermedio.

Tabla 3

Intensidades de lluvias.

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr)				
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años
24	1440	11.36	14.50	16.58	19.21	21.16
18	1080	13.78	17.59	20.12	23.31	25.67
12	720	18.17	23.20	26.53	30.73	33.86
8	480	23.17	29.58	33.82	39.19	43.17
6	360	27.71	35.38	40.45	46.87	51.63
5	300	31.07	39.67	45.36	52.56	57.89
4	240	35.43	45.24	51.73	59.93	66.02
3	180	41.79	53.36	61.01	70.69	77.87
2	120	53.14	67.85	77.59	89.90	99.03
1	60	81.76	104.39	119.37	138.30	152.35

Se observa que las intensidades de lluvia aumentan a medida que disminuye el tiempo de duración y aumenta el periodo de retorno, donde para una lluvia de 1 hora presenta una intensidad de 81.76 mm/h para un periodo de retorno de 2 años, mientras que para 50 años alcanza 152.35 mm/h, en comparación con una lluvia de 24 horas, donde las intensidades varían entre 11.36 y 21.16 mm/h, evidenciando que los eventos más cortos y menos frecuentes generan lluvias más intensas.

Regresiones Potenciales

Se elaboraron regresiones de Intensidad–Duración–Periodo de Retorno (IDP) que relacionan la duración de la lluvia, el tiempo de ocurrencia y su probabilidad asociada a un periodo determinado, cuyos resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Primera regresión de tipo potencial.

Periodo de Retorno (años)	Término constante de regresión (d)	Coefficiente de regresión [n]
2	1030.34	-0.616
5	1315.51	-0.616
10	1504.32	-0.616
25	1742.88	-0.616
50	1919.86	-0.616
Promedio	1502.58	-0.616

Mediante una segunda regresión, se estableció la relación entre el periodo de retorno y la constante de regresión (d), determinando los parámetros “k” y “m” de la ecuación de intensidad, esenciales para ajustar el modelo a las condiciones locales de precipitación (ver tabla 5).

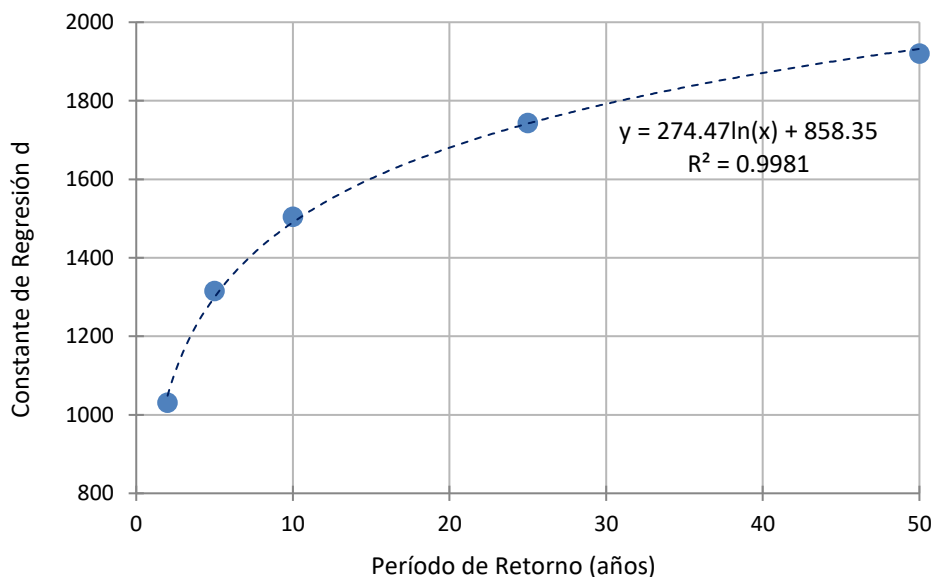
Tabla 5

Segunda regresión de tipo potencial.

N.º	x	y	Ln x	Ln y	Ln x*Ln y	(Ln x) ²
1	2	1030.3379	0.6931	6.9376	4.8088	0.4805
2	5	1315.5110	1.6094	7.1820	11.5590	2.5903
3	10	1504.3203	2.3026	7.3161	16.8459	5.3019
4	25	1742.8815	3.2189	7.4633	24.0234	10.3612
5	50	1919.8598	3.9120	7.5600	29.5749	15.3039
Ln (K) = 6.8452		K = 939.3817		m = 0.1903		

Figura 2

Curva de ajuste por regresión.



Ecuación de Intensidad y Curvas de Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF)

A partir de los valores obtenidos en las regresiones, se establece la ecuación de intensidad característica de la zona, mediante la cual se determinan las intensidades correspondientes a cada duración y periodo de retorno, los cuales permiten construir las curvas de Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF), fundamentales para la elaboración de hietogramas de diseño y el análisis hidrológico en la región.

$$I = \frac{939.3817 * T^{0.190261}}{t^{0.61639}}$$

Fórmula 13. Ecuación de intensidad de la zona.

Donde:

I = Intensidad de precipitación (mm/h).

T = Periodo de retorno (años).

t = Tiempo de duración de precipitación (minutos).

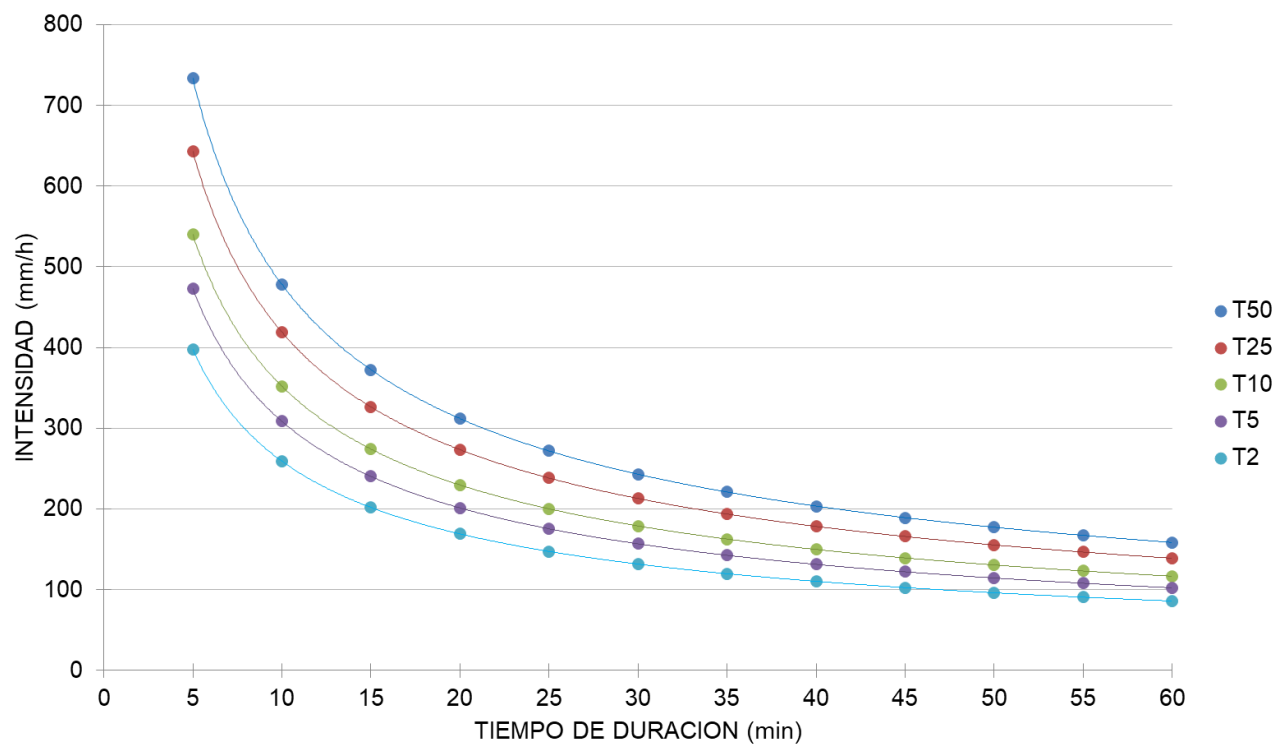
Tabla 6

Intensidades asociadas a cada duración y periodo de retorno.

Frecuencia Años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	397.45	259.26	201.92	169.11	147.38	131.72	119.78	110.31	102.59	96.14	90.65	85.92
5	473.14	308.63	240.38	201.32	175.45	156.80	142.59	131.32	122.13	114.45	107.92	102.28
10	539.84	352.14	274.27	229.70	200.19	178.91	162.69	149.84	139.34	130.58	123.13	116.70
25	642.66	419.21	326.50	273.45	238.31	212.98	193.67	178.37	165.88	155.45	146.58	138.93
50	733.25	478.30	372.53	312.00	271.91	243.00	220.98	203.52	189.27	177.36	167.25	158.51

Figura 3

Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).



Hietogramas

Mediante la aplicación del método de bloques alternos se elaboraron hietogramas de diseño, los cuales representan la distribución temporal de la intensidad de lluvia para periodos de retorno de 50 y 100 años (ver figuras 4 y 5), los cuales son fundamentales para analizar la variación de la precipitación a lo largo del evento.

Figura 4

Hietograma de precipitación ($Tr = 50$ años).

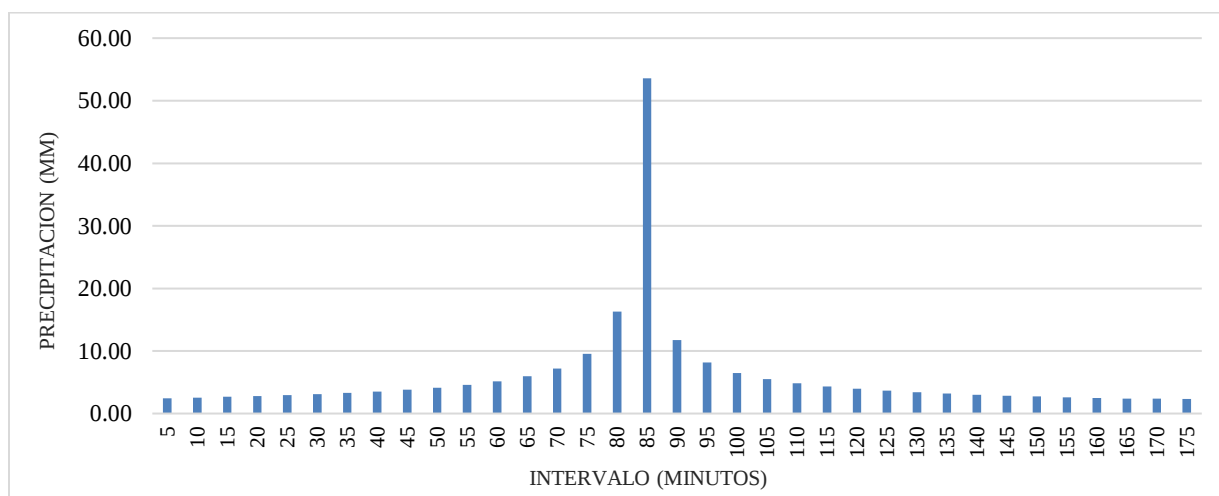
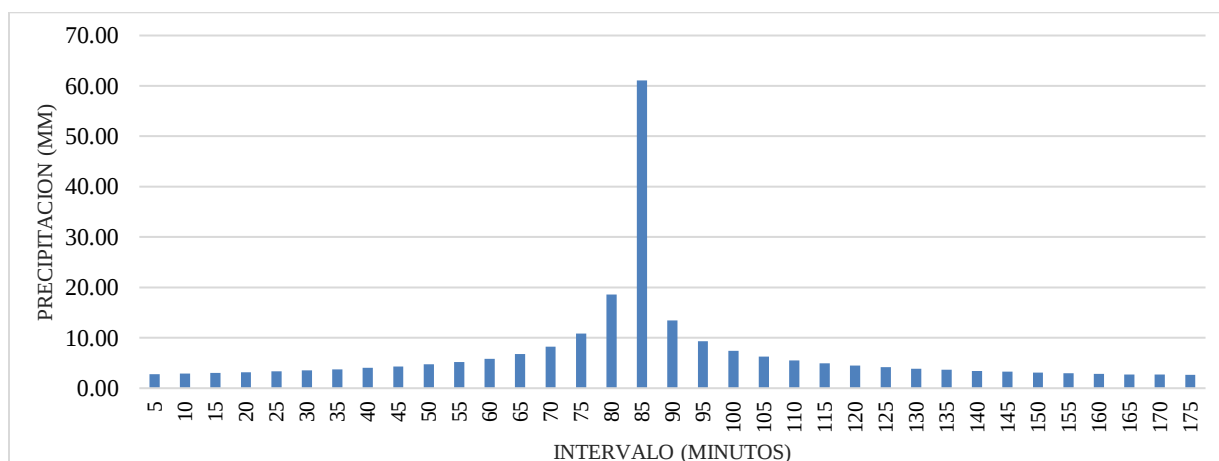


Figura 5

Hietograma de precipitación ($Tr = 100$ años).



Los resultados obtenidos en la cuenca del río Portoviejo muestran que la precipitación máxima probable pasa de 272.54 mm ($T=2$ años) a 507.83 mm ($T=50$ años) y que las intensidades de lluvia aumentan de 81.76 mm/h a 152.35 mm/h para eventos de 1 hora, comportamiento que coincide con lo reportado por Escobar *et al.*(2022), y Guerrero y Mora (2019), quienes observaron que los eventos menos frecuentes presentan intensidades más altas y que la distribución de Gumbel ajusta adecuadamente los extremos, pero en comparación con estudios andinos, en Portoviejo las intensidades resultan mayores para duraciones cortas, superando incluso el rango típico de 60–120 mm/h reportado en regiones de mayor altitud, lo que podría deberse a la influencia costera y a lluvias convectivas más intensas.

Simulación Hidrológica

Mediante el uso del software HEC-HMS se realizó una simulación hidrológica, utilizando la información previamente generada para el área de estudio y los hietogramas de precipitación correspondientes a periodos de retorno de 50 y 100 años, a fin de estimar las características morfométricas de la cuenca del río Portoviejo y analizar su influencia sobre el cantón Rocafuerte, como se detalla a continuación.

Figura 6

Cuenca de río Portoviejo, con su influencia en el cantón Rocafuerte.



Tabla 7*Características morfométricas de la cuenca del Río Portoviejo.*

Parámetro	Valor
Área (A) [km ²]	36.44
Perímetro (P) [km]	43.43
Longitud del Curso Principal (Lc) [km]	10.87
Pendiente media del cauce (j) [m/m]	0.0313
Pendiente media de la cuenca (J) [m/m]	0.007

La tabla 7 muestra que la cuenca presenta un área de 36.44 km², lo que la clasifica como una cuenca pequeña (Campos, 1992), su perímetro de 43.43 km representa la longitud total del contorno que la delimita, y el curso principal del río con una longitud de 10.87 km, describe el trayecto que sigue el flujo desde las zonas más altas hasta la salida de la cuenca. La pendiente media del cauce de 0.0313 m/m indica un relieve moderadamente inclinado, lo que influye directamente en la velocidad del flujo y en la capacidad del agua para transportar sedimentos, y la pendiente media de la cuenca de 0.007 m/m evidencia según Alcántar (2015), un relieve suavemente inclinado, favoreciendo una escorrentía más lenta y un mayor tiempo de concentración.

Tiempo de concentración y de Retardo

A partir de la información de la cuenca se logró estimar el tiempo de concentración mediante el método de Kirpich con un valor de 119.81 minutos, y un tiempo de retardo de 41.93 minutos, los cuales denotan una respuesta hidrológica moderada de la cuenca, donde el escurrimiento no es inmediato tras la lluvia.

Caudales Máximos Probable

Considerando la variabilidad temporal y espacial de los procesos hidrológicos, así como la influencia de factores externos como el cambio climático y la ocurrencia de eventos extremos, la morfometría de la cuenca del Río Portoviejo juega un papel determinante en la generación y propagación de caudales hacia el Portoviejo, en este contexto, se desarrolló una simulación hidrológica mediante el software HEC-HMS, que permitió estimar los caudales máximos probables asociados a distintos periodos de retorno. Los resultados indican que para un periodo de retorno de 50 años se obtiene un caudal máximo de 367,80 m³/s, mientras que para un periodo de retorno de 100 años el caudal máximo alcanza los 483,70 m³/s, reflejando la sensibilidad de la cuenca ante lluvias intensas y concentradas, las cuales podrían intensificarse bajo escenarios de cambio climático, incrementando el riesgo de inundaciones en las zonas bajas y urbanas del cantón.

Al comparar estos resultados con la investigación de Cedeño *et al.* (2022), quienes estimaron caudales máximos para distintos periodos de retorno en una microcuenca del cantón Rocafuerte, se obtuvieron valores de 197,1 m³/s para un periodo de 50 años y de 218,83 m³/s para 100 años; aunque son del mismo orden de magnitud presentan diferencias respecto a los de este estudio debido al método empleado (método racional), el cual se aplicó sobre un área reducida de 4.30 km² y un tiempo de concentración de apenas 5 minutos; además estudios hidrológicos y planes de gestión realizados en sectores de Portoviejo muestran valores de caudales en una magnitud semejante a los obtenidos en esta investigación, lo que valida la firmeza del modelo.

Modelación Hidráulica de Eventos de Inundación con HEC-RAS

Los resultados obtenidos en la simulación hidráulica para un caudal de 367.80 m³/s, correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, muestran profundidades de agua que oscilan entre 0.11 m y 2.68 m, concentrándose las mayores alturas en las zonas topográficamente elevadas (ver figura 7), por su parte la velocidad del flujo varía entre 0.02 m/s y 1.00 m/s (ver figura 8), evidenciando sectores con escasa energía hidráulica, donde el flujo tiende a estancarse o desplazarse lentamente, valores que podrían favorecer la acumulación de sedimentos.

Por otro lado, en la simulación con periodo de retorno de 100 años, el caudal de 483.70 m³/s registra profundidades mínimas de 0.04 m en las zonas más bajas y máximas de hasta 3.63 m en los puntos de mayor relieve (ver figura 9), las velocidades del flujo, varían entre 0.25 m/s y 0.75 m/s (ver figura 10), reflejando un desplazamiento más uniforme pero con menor capacidad de evacuación en ciertas áreas, donde en ambos escenarios las zonas del cantón Rocafuerte posee un bajo gradiente hidráulico, lo que podría acentuar los procesos de inundación o sedimentación.

Los resultados obtenidos coinciden con lo señalado por Vázquez *et al.* (2024), quienes indican que en las zonas donde el agua se mueve muy lento tiende a acumularse sedimento, lo que puede hacer que las inundaciones sean cada vez más fuertes, tal como ocurre en varios sectores del modelo; por su parte, Kreibich *et al.* (2009) explican que la combinación de diferentes profundidades y velocidades influye tanto en el avance del agua como en los daños que puede causar, donde el evento de 100 años muestra un flujo más parejo pero con zonas donde el agua tarda en salir; finalmente, estudios locales como los de Loor *et al.*, (2023) en el cantón Rocafuerte señalan que esta zona, por tener poca pendiente es propensa a inundarse, ya que las áreas donde el agua retrocede o avanza muy despacio son justamente las que presentan mayor riesgo de acumulación, erosión y afectaciones durante crecidas fuertes.

Figura 7

Comportamiento de las profundidades del agua para un periodo de retorno de 50 años.

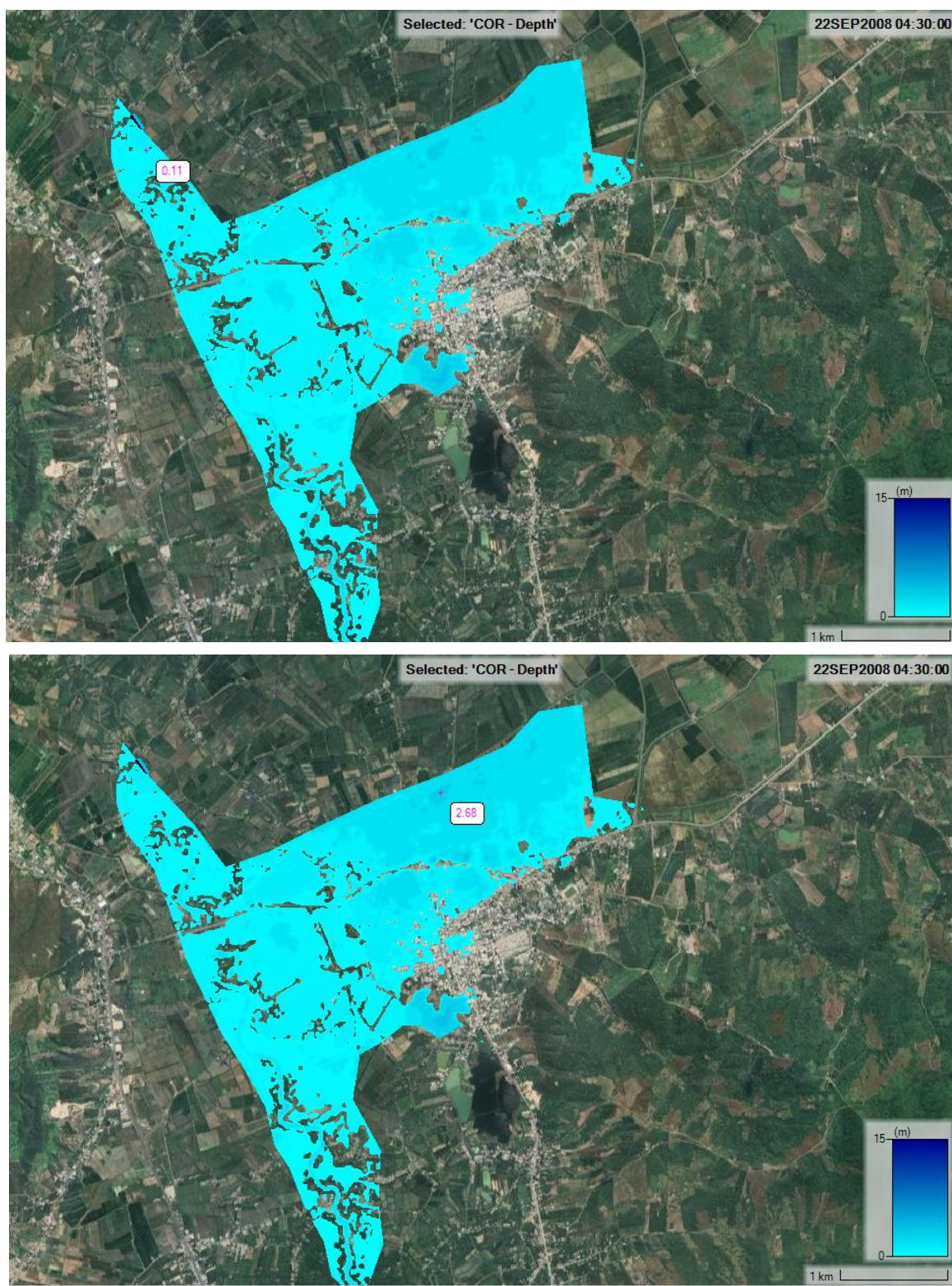


Figura 8

Comportamiento de las velocidades del agua para un periodo de retorno de 50 años

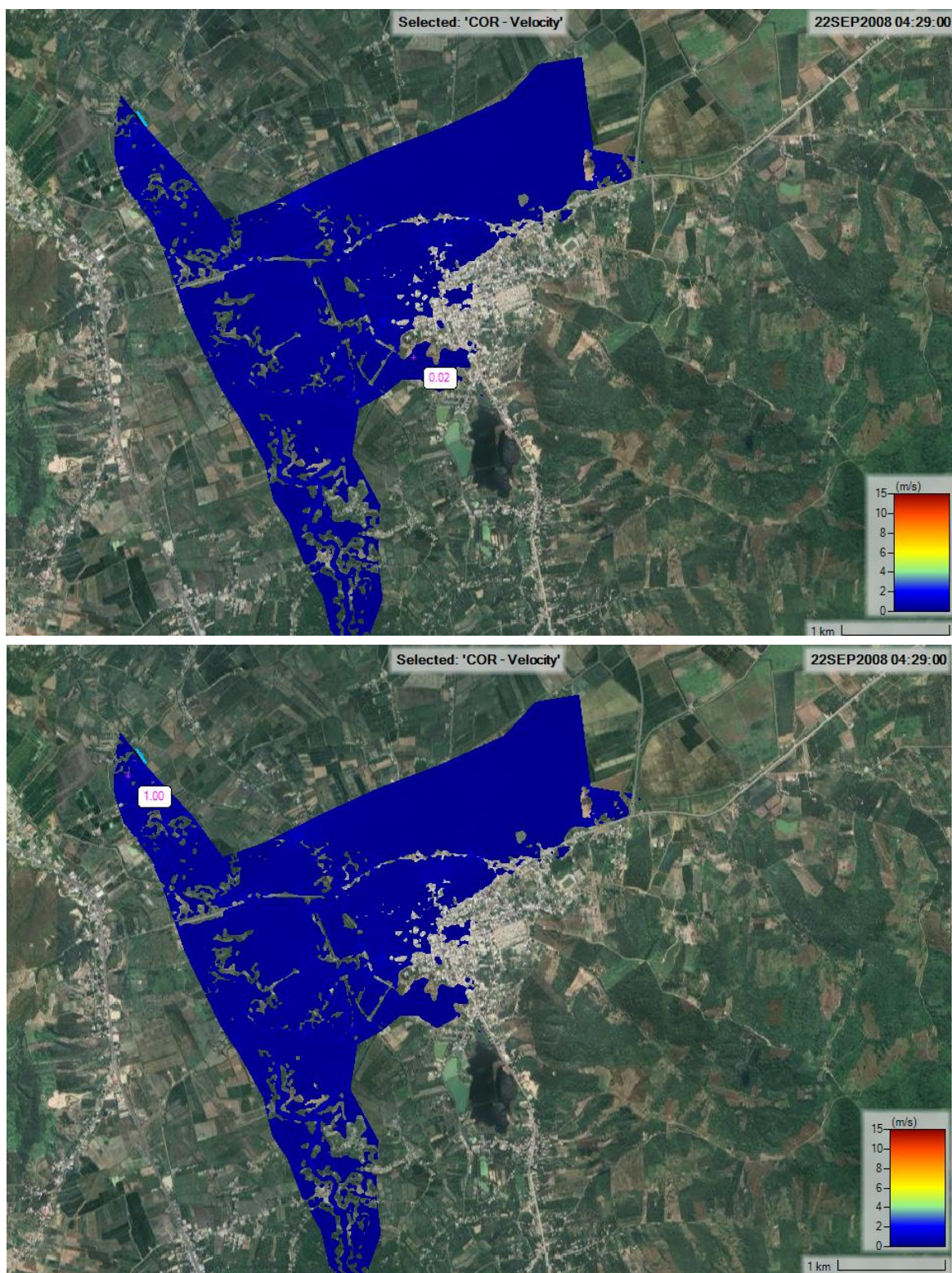


Figura 9

Comportamiento de las profundidades del agua para un periodo de retorno de 100 años.

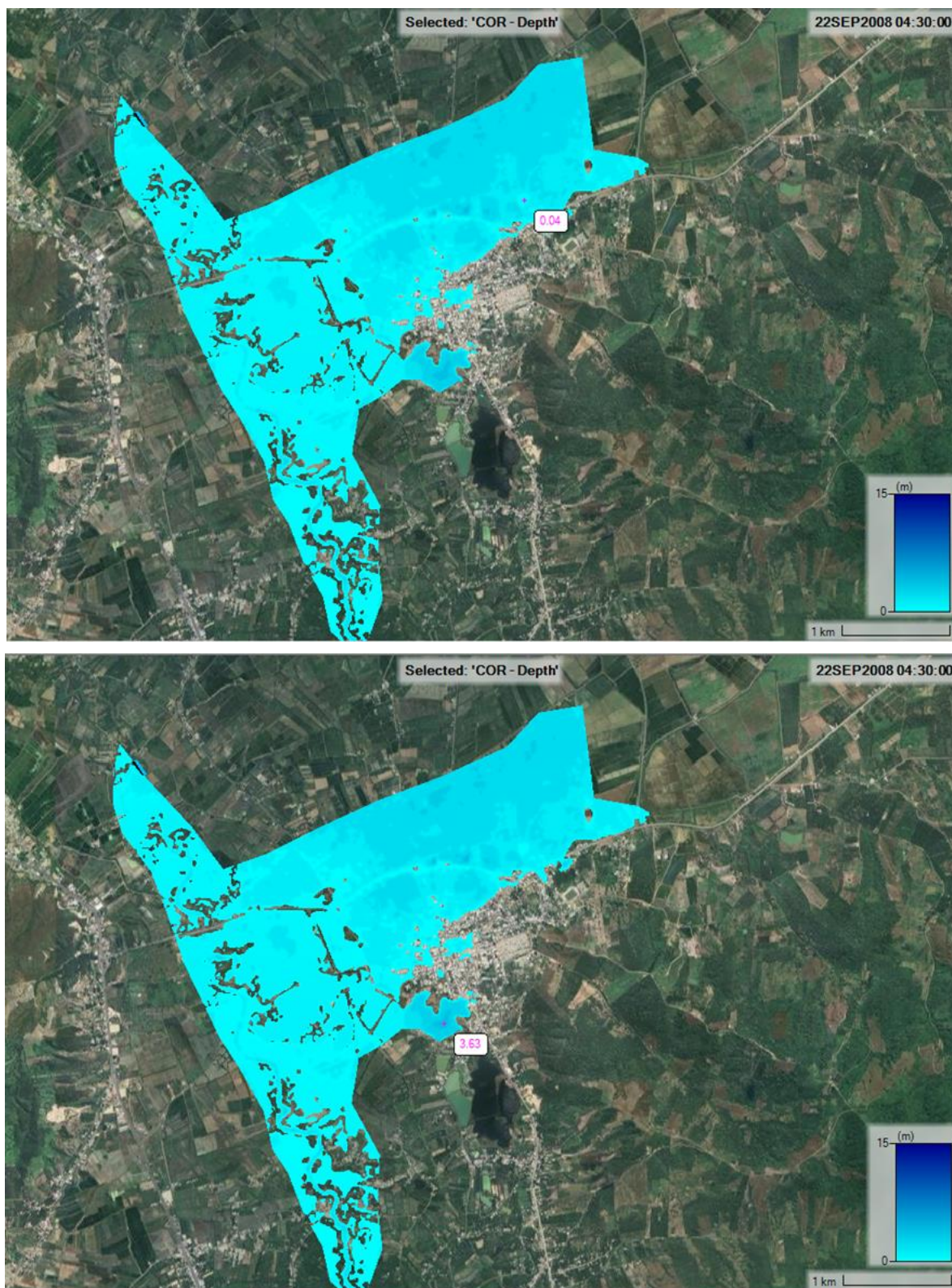
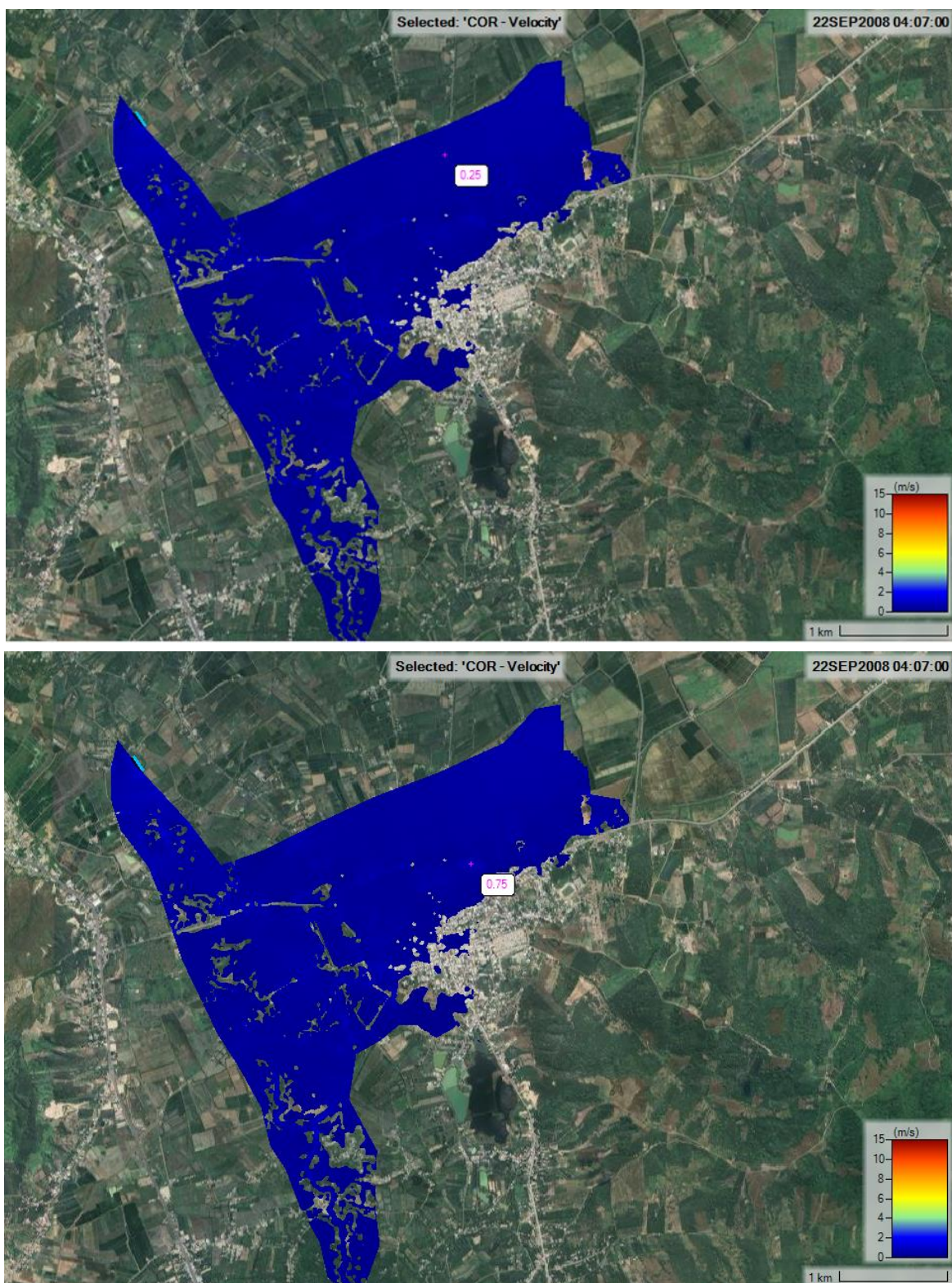


Figura 10

Comportamiento de las velocidades del agua para un periodo de retorno de 100 años



Conclusiones

La caracterización hidrológica y geomorfológica de la cuenca del río Portoviejo permitió comprender su comportamiento y su influencia en el cantón Rocafuerte, evidenciando que las lluvias más intensas se presentan en periodos cortos, lo que incrementa el potencial de escorrentía; donde la cuenca, de tamaño pequeño y con pendientes suaves a moderadas, presenta una respuesta hidrológica lenta, con un tiempo de concentración de 119.81 minutos y un retardo de 41.93 minutos; estas condiciones, sumadas a las limitaciones de transporte en zonas de bajo gradiente, favorecen la acumulación de caudales provenientes de la parte alta y aumentan la probabilidad de inundaciones durante eventos intenso.

Las simulaciones hidráulicas en HEC-RAS para los caudales de 50 y 100 años permitieron cuantificar la magnitud y distribución espacial de las inundaciones en el cantón Rocafuerte, donde para un caudal de $367.80 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Tr = 50$ años), las profundidades alcanzan hasta 2.68 m, mientras que para un caudal de $483.70 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Tr = 100$ años) se registran alturas de hasta 3.63 m, en ambos escenarios, las bajas velocidades del flujo favorecen el estancamiento del agua, la acumulación de sedimentos y la expansión del flujo sobre zonas de terreno plano.

Se identificaron zonas propensas a inundarse en los distintos escenarios de precipitación y caudal, especialmente en los sectores de bajo gradiente hidráulico cercanos al cauce principal, donde se registran mayores profundidades y velocidades que favorecen la expansión del agua, la saturación del suelo y los anegamientos; durante los escenarios de 50 y 100 años estas áreas muestran una afectación recurrente, evidenciando que la topografía local y los aportes hídricos de la cuenca alta incrementan la vulnerabilidad en las zonas pobladas.

Recomendaciones

Actualizar periódicamente la información hidrometeorológica y morfométrica de la cuenca, incorporando nuevos registros de precipitación y modelos digitales del terreno de mayor resolución, a fin de mejorar la precisión del análisis hidrológico y fortalecer la capacidad predictiva ante eventos extremos.

Establecer un sistema de monitoreo continuo en las zonas catalogadas como de alta susceptibilidad, implementando estaciones hidrométricas y pluviométricas que permitan detectar aumentos súbitos de caudal o lluvias intensas y activar protocolos de alerta temprana para reducir riesgos a la población.

Bibliografía

- Alcántara, A., y Castro, A. (2021). *Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Corillera Central de los Andes. Microcuenca del río Saraus - río La Llanga. Celedín*. Obtenido de Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, volumen 24:
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/19852>
- Alcántara, J. (2015). *Caracterización hidromorfológica de la microcuenca Puyllucana - Baños del Inca - Cajamarca, mediante la aplicación de ArcGIS*. Obtenido de Universidad Nacional de Cajamarca: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/102>
- Brambilla, D. (2025). *Gestión de riesgos por inundaciones en Ecuador*. Obtenido de Revista Aula Virtual, volumen 6: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16273110>
- Burgos, B., Cartaya, S., y Mero, D. (2019). *Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador*. Obtenido de Revista Investigaciones Geográficas, volumen 98: <https://doi.org/10.14350/rig.59767>
- Campos, D. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis de Potosí: Editorial Universitaria Potosina. San Luis Potosí, México
- Castro, F. (2023). *Atenuadores de Escorrentía para la Quebrada Cañitas, Parroquia Charapotó, Manabí, Utilizando Herramientas SIG*. Obtenido de Revista Multidisciplinaria Ciencia Latina: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6841>

- Cedeño, D., Cedeño, H., y Dueñas, S. (2022). *Caudales máximos con varios periodos de retorno de una microcuenca del cantón Rocafuerte (Manabí, Ecuador)*. Obtenido de Revista Polo del Conocimiento, volumen 7: <https://doi.org/10.23857/pc.v7i9.4583>
- Cueva, M., Cañon, J., y Gómez, L. (2021). *Uso de Iber como herramienta de aprendizaje y análisis de flujos bidimensionales en canales*. Obtenido de Revista Educación en Ingeniería, volumen 16: <https://doi.org/10.26507/issn.1900-8260>
- Cunge, J. (1969). *On the subject of A flood propagation computation method*. Obtenido de Journal of Hydraulic Research: <https://doi.org/10.1080/00221686909500264>
- Da Silva, C., López, P., y Arias, F. (2022). *Las inundaciones en las áreas urbanas: el caso del Área Metropolitana del Gran Resistencia*. Obtenido de Revista de Geografía Norte Grande, volumen 82: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022022000200333>
- Domínguez, R., Carrizosa, E., Fuentes, G., Arganis, M., Osnaya, J., y Garlván, A. (2020). *Análisis regional para estimar precipitaciones de diseño en la república mexicana*. Obtenido de Revista Tecnología y ciencias del agua, volumen 9: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-01-01>
- Escobar, D., Singaña, M., González, J., Erazo, B., Zambrano, M., Acosta, D., y Peluffo, D. (2022). *Intensity-Duration-Frequency Curve for Extreme Rainfall Event Characterization, in the High Tropical Andes*. Obtenido de Intensity – Duration – Frequency Curve for Extreme Rainfall Event Characterization, in the High Tropical Andes. Water, volumen 14: <https://doi.org/10.3390/w14192998>

- Félix, J., Chávez, J., y Muñoz, M. (2021). *Obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia a partir de distribuciones de probabilidad en la cuenca media del río Chone*. Obtenido de Revista Dilemas contemporaneos educación política valores, volumen 8:
<https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2595>
- Fernández, S., Pérez, D., Lexów, C., Fagoaga, N., y Abalo, P. (2024). *Calibración y validación del modelo HEC-HMS del comportamiento hidrológico de la cuenca Arroyo Del Águila, Buenos Aires, Argentina*. Obtenido de Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, volumen 52: <https://doi.org/10.59069/24225703ee027>
- Guerrero, F., y Mora, D. (2019). *Analysis of spatial variability of extreme rainfall events influenced by decadal oscillations in the Paute River Andean basin*. Obtenido de Geophysical Research Abstracts, volumen 21:
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-11851.pdf>
- Haro, A., Chisag, E., Ruiz, J., y Caicedo, J. (2024). *Tipos y clasificación de las investigaciones*. Obtenido de Revista Latinoamericana de ciencias sociales y humanidades, : DOI:
<https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1927>
- Hussein, A., Shuhab, K., Kaouther, N., Hamdi, N., y Younes, H. (2022). *Análisis de inundaciones utilizando HEC-RAS y HEC-HMS: Un estudio de caso del río Khazir (Oriente Medio—Norte de Irak)*. Obtenido de Revista Water, volumen 14:
<https://doi.org/10.3390/w14223779>
- Ibáñez, S., Moreno, H., y Gisbert, J. (2011). Método para la determinación del coeficiente de escorrentía C. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA [INAMHI]. (2015).

Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación.

Obtenido de <https://www.scribd.com/document/398097547/001-4-IDF-INAMHI?utm>

INSTITUTO GEOFÍSICO MILITAR [IGM]. (2020). Geoportales IGM. Obtenidos de:

<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>

Krenbich, H., Piroth, K., Seifert, I., Maiwald, H., Kunert, U., Schwarz, J., y Thieken, A. (2009). *Is*

flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? Obtenido de European

Geosciences Union: <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1679-2009>

Loor, C., Valencia, X., y Pacheco, H. (2023). *Susceptibilidad a eventos por inundaciones en un*

sector del área urbana del Cantón Rocafuerte (Manabí-Ecuador): aproximación desde un enfoque multicriterio. Obtenido de Polo del conocimiento, volumen 8:

<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5557>

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA [MAGAP].

(2020). *MAGAP genera Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra en el país para apoyar el*

cambio de la Matriz Productiva. Obtenido de: <https://www.agricultura.gob.ec/magap-genera-mapa-de-cobertura-y-uso-de-la-tierra-en-el-pais-para-apoyar-el-cambio-de-la-matriz-productiva>

Paliz, C., Perugachi, N., Martínez, J., Moreno, M., Yaucán, C., y Palaguachi, R. (2021). *Análisis*

estadístico de datos de las precipitaciones usando métodos robustos y bootstrap. Obtenido

de Revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, volumen 12:

<https://doi.org/10.29166/revfig.v12i2.3515>

Ponce, J., Hidalgo, J., y Panchana, R. (2022). *Comportamiento térmico-energético de vivienda social en la urbanización Rocafuerte Pichota del Cantón Rocafuerte, Manabí*. Obtenido de Revista San Gregorio, volumen 1: <https://doi.org/10.36097/rsan.v0i49.1947>

PRIMICIAS. (2025). *Lluvias en Manabí: Inundaciones dejan cientos de familias damnificadas y aisladas*. Obtenido de Sociedad: <https://www.primicias.ec/sociedad/inundaciones-manabi-lluvias-familias-damnificadas-invierno-emergencia-90585/>

Ramos, I., y Rodríguez, B. (2019). *Distribución de Gumbel: Antecedentes y aplicación*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: https://miscelaneamatematica.org/download/tbl_articulos.pdf2.8f3b5fceb28337a2.363930372e706466.pdf

Salazar, C., Alegría, M., Moctezuma, A., Lomelí, M., Lambraño, A., y Peredia, A. (2020). *Modelación hidrológica e hidráulica de un río intraurbano en una cuenca transfronteriza con el apoyo del análisis regional de frecuencias*. Obtenido de Revista Tecnología en ciencias del agua, volumen 9: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-03>

Sánchez, J. (2013). Valores extremos de distribución de Gumbel. Obtenido de Universidad Salamanca, España: https://hidrologia.usal.es/temas/calculos_esta.pdf

Santana, H., y Lima, P. (2021). *Propuesta de obra para el control de inundaciones en la cuenca baja del río Portoviejo, sector el Horcín - Ceibal, cantón Rocafuerte - Manabí Ecuador*.

Obtenido de Revista Polo del Conocimiento, volumen 6:

<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3168/html>

Tenesaca, M., Reyes, J., Vallejo, D., y Chavarría, J. (2024). *Modelación hidrológica e hidráulica para la identificación de zonas de inundación en la quebrada las abras, Riobamba.*

Obtenido de Revista Científica INGENIAR, volumen 7:

<https://doi.org/10.46296/ig.v7i14.0220>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE [USDA] (1986). *Urban Hydrology for Smallwatersheds*. Obtenido de: <https://tamug-ir.tdl.org/handle/1969.3/24438>

Vásquez, D., Ruíz, D., Garrote, V., Benito, J., Calle, G., y Diéz, A. (2024). *Effects of sediment transport on flood hazards: Lessons learned and remaining challenges*. Obtenido de ScienceDirect, volumen 446: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108976>

Vélez, J., y Gutierréz, A. (2011). *Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales*. Obtenido de Revista Dyna, volumen 78: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49622372006.pdf>

Anexos

Tabla 8

Variables σ_y y μ_y según la cantidad de datos de Gumbel.

Número de datos	μ_y	σ_y
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.5600	1.2065

Fuente: Sánchez (2013).

Tabla 9*Coefficientes de escorrentía.*

Cobertura del suelo	Tipo de suelo	Pendiente (%)				
		> 50	20 – 50	5 – 20	1 – 5	0 – 1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,40	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Ibáñez et al. (2011).

Tabla 10*Números de Curvas.*

Descripción del Uso						
Uso del Suelo	Promedio área impermeable	Condición Hidrológica	Grupo Hidrológico del Suelo			
			A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas		Pobre	68	79	86	89
		Media	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
Áreas Impermeables						
Aparcamientos, azoteas, carreteras			98	98	98	98
Calles y Carreteras						
Pavimentadas; cunetas y red de saneamiento			98	98	98	98
Pavimentadas; cunetas abiertas			83	89	92	93
Grava			76	85	89	91
Sucias			72	82	87	89
Zonas ajardinadas xerofitas						
Zonas naturales (solo permeables)			63	77	85	88
Zonas ajardinadas (incluidas zonas impermeables)			96	96	96	96
Zonas Urbanas						
Centros comerciales y de negocios	85%		89	92	94	95
Industrial	72%		81	88	91	93
Zonas residenciales						
0.05ha o menos (2 casas)	65%		77	85	90	92
0.10 ha	38%		61	75	83	87
0.13 ha	30%		57	72	81	86
0.20 ha	25%		54	70	80	85
0.40 ha	30%		51	68	79	84
0.81 ha	12%		46	65	77	82
Áreas Urbanas en desarrollo						
Explanaciones (zonas permeables, sin vegetación)			77	86	91	94

Fuente: United States Department of Agriculture (USDA), 1986.

Tabla 11*Hietograma por bloques alternos para periodo de 50 años.*

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Parcial (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	642.66	53.55	53.55	642.66	2.45	29.40
10	419.21	69.87	16.31	195.76	2.55	30.61
15	326.50	81.63	11.76	141.10	2.66	31.97
20	273.45	91.15	9.52	114.29	2.79	33.49
25	238.31	99.30	8.15	97.75	2.94	35.22
30	212.98	106.49	7.19	86.32	3.10	37.21
35	193.67	112.98	6.49	77.85	3.29	39.52
40	178.37	118.91	5.94	71.26	3.52	42.24
45	165.88	124.41	5.50	65.95	3.79	45.52
50	155.45	129.54	5.13	61.58	4.13	49.57
55	146.58	134.37	4.82	57.89	4.56	54.73
60	138.93	138.93	4.56	54.73	5.13	61.58
65	132.24	143.26	4.33	51.98	5.94	71.26
70	126.33	147.39	4.13	49.57	7.19	86.32
75	121.07	151.34	3.95	47.44	9.52	114.29
80	116.35	155.14	3.79	45.52	16.31	195.76
85	112.09	158.79	3.65	43.80	53.55	642.66
90	108.20	162.31	3.52	42.24	11.76	141.10
95	104.66	165.71	3.40	40.82	8.15	97.75
100	101.40	169.00	3.29	39.52	6.49	77.85
105	98.40	172.19	3.19	38.32	5.50	65.95
110	95.62	175.30	3.10	37.21	4.82	57.89
115	93.03	178.31	3.01	36.18	4.33	51.98
120	90.62	181.25	2.94	35.22	3.95	47.44
125	88.37	184.11	2.86	34.33	3.65	43.80
130	86.26	186.90	2.79	33.49	3.40	40.82
135	84.28	189.62	2.73	32.71	3.19	38.32
140	82.41	192.29	2.66	31.97	3.01	36.18
145	80.65	194.89	2.61	31.27	2.86	34.33
150	78.98	197.44	2.55	30.61	2.73	32.71
155	77.40	199.94	2.50	29.99	2.61	31.27
160	75.90	202.39	2.45	29.40	2.50	29.99
165	74.47	204.80	2.40	28.84	2.40	28.84
170	73.11	207.15	2.36	28.31	2.36	28.31

Tabla 12*Hietograma por bloques alternos para periodo de 100 años.*

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Parcial (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	733.25	61.10	61.10	733.25	2.80	33.55
10	478.30	79.72	18.61	223.35	2.91	34.93
15	372.53	93.13	13.42	160.99	3.04	36.47
20	312.00	104.00	10.87	130.40	3.18	38.21
25	271.91	113.29	9.29	111.54	3.35	40.19
30	243.00	121.50	8.21	98.49	3.54	42.45
35	220.98	128.90	7.40	88.82	3.76	45.09
40	203.52	135.68	6.78	81.30	4.02	48.20
45	189.27	141.95	6.27	75.25	4.33	51.94
50	177.36	147.80	5.85	70.26	4.71	56.56
55	167.25	153.31	5.50	66.05	5.20	62.44
60	158.51	158.51	5.20	62.44	5.85	70.26
65	150.88	163.45	4.94	59.31	6.78	81.30
70	144.14	168.17	4.71	56.56	8.21	98.49
75	138.14	172.68	4.51	54.12	10.87	130.40
80	132.76	177.01	4.33	51.94	18.61	223.35
85	127.89	181.17	4.16	49.98	61.10	733.25
90	123.46	185.19	4.02	48.20	13.42	160.99
95	119.41	189.07	3.88	46.57	9.29	111.54
100	115.70	192.83	3.76	45.09	7.40	88.82
105	112.27	196.47	3.64	43.72	6.27	75.25
110	109.09	200.01	3.54	42.45	5.50	66.05
115	106.15	203.45	3.44	41.28	4.94	59.31
120	103.40	206.80	3.35	40.19	4.51	54.12
125	100.83	210.06	3.26	39.17	4.16	49.98
130	98.42	213.24	3.18	38.21	3.88	46.57
135	96.16	216.35	3.11	37.32	3.64	43.72
140	94.03	219.39	3.04	36.47	3.44	41.28
145	92.01	222.37	2.97	35.68	3.26	39.17
150	90.11	225.28	2.91	34.93	3.11	37.32
155	88.31	228.13	2.85	34.22	2.97	35.68
160	86.60	230.92	2.80	33.55	2.85	34.22
165	84.97	233.67	2.74	32.90	2.74	32.90
170	83.42	236.36	2.69	32.30	2.69	32.30

Figura 11

Hidrograma Unitario para periodo de retorno de 50 años y 100 años.

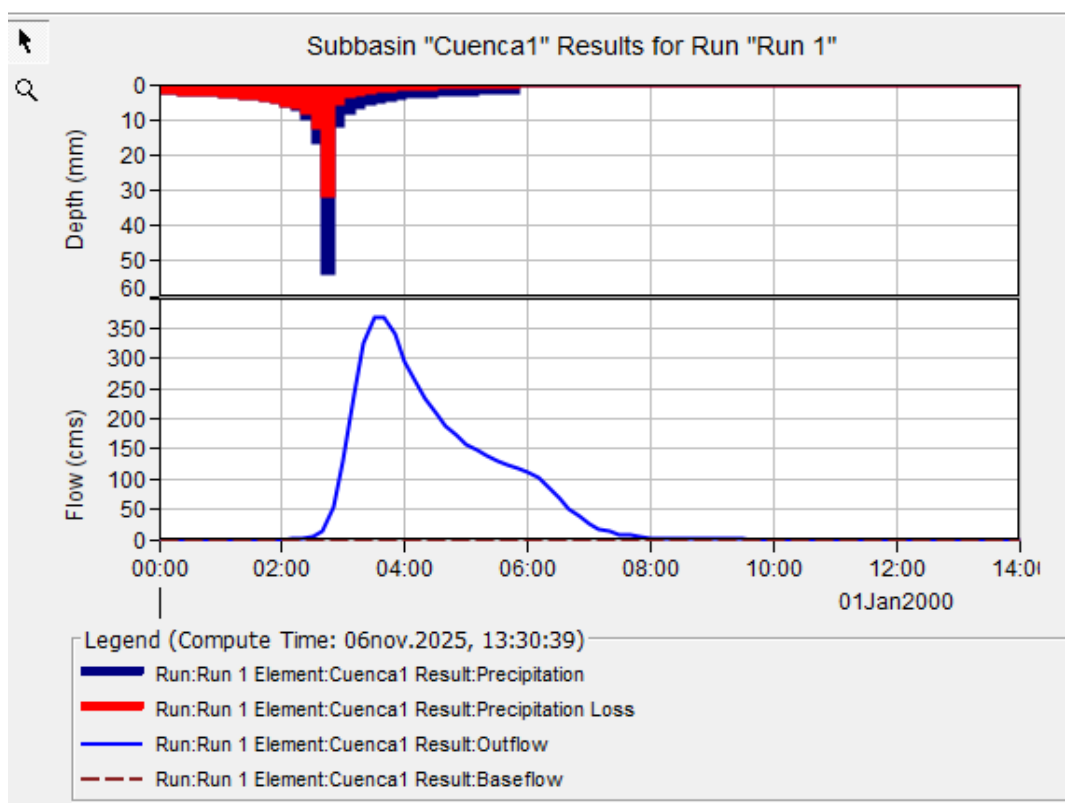
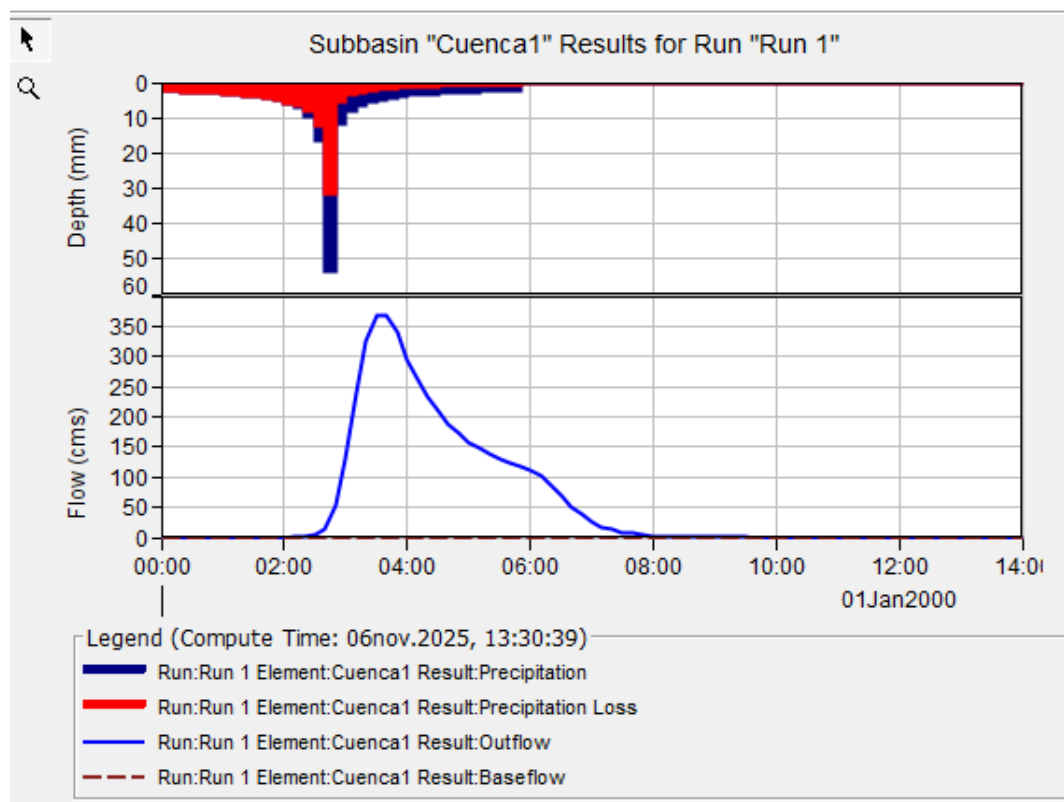


Figura 12

Generación de mallado del cauce del Río Portoviejo.

