PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

TRABAJO DE TITULACIÓN

SIMULACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA EN EL CASCO URBANO DE LA CUENCA BAJA DE RIO PORTOVIEJO EN CONSECUENCIA DE LA ROTURA DE PRESA POZA HONDA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN
HIDROLOGÍA-HIDRÁULICA

PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICO

AUTORES
OMAR ZURIEL SANGOLQUÍ CHAPI
EDWARD JOSUE QUIROZ ZULETA

TUTOR
ING. JOHN ENRIQUE FÉLIX MERA M. Sc.

PORTOVIEJO, 2024

Certificación de la Tesis

Ing. John Enrique Félix Mera

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. John Enrique Félix Mera. M.Sc.

C.I. 1313634360

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. John Enrique Félix Mera. M.Sc.

Presidente del tribunal

(F)_____

Ing. Jesús E. Chavarría Párraga. M.Sc.

Primer Lector

(F)_____

Ing. José Ramon Alarcón Loor. 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 forma de 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)_____

Omar Zuriel Sangolquí Chapi

Dirección: Urb. Ciudad del Norte, Mz G, Villa 1; Portoviejo

E-mail: osangolqui5572@pucesm.edu.ec

Celular: 0994085517

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 forma de 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)_____

Edward Josué Quiroz Zuleta

Dirección: Urb. Maratea, Mz D, Villa 16; Manta

E-mail: jquiroz6278@pucesm.edu.ec

Celular: 0989142489

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._____

Omar Zuriel Sangolquí Chapi

C.I. 2000115572

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._____

Edward Josué Quiroz Zuleta

C.I. 1350066278

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, René Sangolquí Tapi y Ana Chapi Farfán, quienes con su amor, esfuerzo y dedicación han sido mi mayor inspiración. Su ejemplo de perseverancia y valores me ha impulsado a dar siempre lo mejor de mí.

A mi hermana, Denisse Mera Chapi, y a mi hermano, Joel Sangolquí Chapi, quienes con su apoyo y cariño me recordaron constantemente la importancia de la familia como refugio y fuerza.

Omar Zuriel Sangolqui Chapi

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Lorena Zuleta Arteaga y Edward Quiroz Sierra quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. El amor incondicional y el apoyo constante, junto con los sacrificios, me han enseñado la importancia de la perseverancia y el esfuerzo. Gracias a ellos, he aprendido a enfrentar los desafíos con valentía y a nunca rendirme en la búsqueda de mis sueños.

A mi hermana, Michelle Quiroz Zuleta, mi hermano, Zaid Quiroz Zuleta, a mi abuela, Olaya Arteaga Moreira, a mi novia, Katherin Carrasco Pazmiño y a la familia de mi papá, quienes con su apoyo y cariño me recordaron constantemente la importancia de la familia como refugio y fuerza.

Edward Josué Quiroz Zuleta

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Jhon Felix Mera, mi director de tesis, y al Ing. Jimmy Reyes Zambrano, por su guía, paciencia y dedicación. Sus enseñanzas y consejos fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo, y su compromiso fue una inspiración constante para alcanzar mis objetivos.

A mi familia, especialmente a mis padres, René Sangolquí Tapi y Ana Chapi Farfán, por su apoyo incondicional, su amor y su fe inquebrantable en mí. Su esfuerzo y sacrificio son la base de todos mis logros.

A mis amigos, quienes jugaron un papel crucial en esta etapa. Su amistad fue un refugio en los momentos difíciles y un motivo de alegría en los buenos. Gracias por creer en mí, por cada conversación y por recordarme que incluso en las jornadas más arduas, siempre hay espacio para la camaradería y la alegría.

Omar Zuriel Sangolqui Chapi

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi tutor, el Ing. Jhon Félix Mera, mi director de tesis, y al Ing. Jimmy Reyes Zambrano, quienes me han guiado con su sabiduría y me han inspirado con su pasión por el conocimiento. Cada lección aprendida y cada consejo recibido han sido cruciales en mi desarrollo académico y personal. Su dedicación y compromiso con la enseñanza han dejado una marca profunda en mi vida.

A mi familia, especialmente a mis padres, Lorena Zuleta y Edward Quiroz, por su apoyo constante, su cariño y su firme confianza en mí. Su dedicación y sacrificio son el fundamento de todos mis éxitos.

A mis amigos, que han compartido este camino conmigo. Cada risa, cada momento de estudio y cada conversación profunda han hecho de esta experiencia algo inolvidable. Su compañía me ha brindado la motivación necesaria para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Estoy agradecido por su amistad y su fe en mí.

Edward Josué Quiroz Zuleta

Resumen

Esta investigación evalúa el riesgo de inundación en el casco urbano de la cuenca baja del rio Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador. El objetivo principal es simular hidráulica e hidrológicamente, ante una hipotética rotura de la presa Poza Honda. Se utilizó información topográfica, climatológica e hidrológica proporcionadas por el INAMHI y el Instituto Geográfico Militar. Para la investigación se aplicó una metodología cuantitativa, con un enfoque deductivo de síntesis y análisis, realizándose una simulación bidimensional mediante el uso de los programas HEC-HMS y HEC-RAS, donde se determinaron las características de las microcuencas aportantes a la represa poza honda, los caudales máximos para periodos de retornos de 100, 500 y 1000 años. Con estos datos, se identificaron las áreas de inundación, así como las profundidades, velocidades y cotas de lámina de agua del casco urbano de Portoviejo en caso de una rotura de la represa. La simulación mostró caudales de 5854.4 m^3/s, 7671.8 m^3/s y 8586.7 m^3/s, para los diferentes periodos de retorno. Así, usando un caudal de 5854.4 m^3/s para la simulación hidráulica, las áreas inundables en el casco urbano podrían alcanzar una extensión total de 1944.17 hectáreas que representa el 37.75 % del área total del casco urbano. Se obtuvo una profundidad máxima de 10.58 m, una velocidad máxima de 3.13 m/s y una cota de lámina de agua de 50.82 m.s.n.m. Afectando a infraestructura significativas para la ciudad como hospitales, instituciones gubernamentales, sectores urbanos y agrícolas.

Palabras clave: modelación, colapso, crecida, represa, flujo superficial

Abstract

This research evaluates the flood risk in the urban area of the lower basin of the Portoviejo River, Manabí province, Ecuador. The main objective is to simulate hydraulically and hydrologically, in the event of a hypothetical failure of the Poza Honda dam. Topographic, climatological, and hydrological information provided by the INAMHI and the Military Geographic Institute was used. A quantitative methodology was applied to the research, with a deductive approach of synthesis and analysis, carrying out a two-dimensional simulation using the HEC-HMS and HEC-RAS programs, where the characteristics of the micro-basins contributing to the Poza Honda dam were determined, as well as the maximum flows for return periods of 100, 500, and 1000 years. With this data, the flood areas were identified, as well as the depths, velocities, and water levels of the urban area of Portoviejo in the event of a dam break. The simulation showed flows of 5854.4 m^3/s, 7671.8 m^3/s, and 8586.7 m^3/s, for the different return periods. Thus, using a flow of 5854.4 m^3/s for the hydraulic simulation, the floodable areas in the urban area could reach a total extension of 1944.17 hectares, representing 37.75% of the total area of the urban area. A maximum depth of 10.58 m, a maximum velocity of 3.13 m/s, and a water level of 50.82 m.a.s.l. were obtained. Affecting significant infrastructure for the city such as hospitals, government institutions, urban and agricultural sectors.

Keywords: modeling, collapse, flood, dam, hydrodynamics, hydrological, surface flow

Índice

Certificación de la Tesis 2

Aprobación del Tribunal 3

Declaración de Originalidad 4

Declaración de Originalidad 5

Declaración de Derecho del Autor 6

Declaración de Derecho del Autor 7

Dedicatoria 8

Dedicatoria 9

Agradecimientos 10

Agradecimientos 11

Resumen 12

Abstract 13

Índice de Tablas 17

Índice de Figuras 19

Introducción 21

Objetivos 24

- Objetivo General 24
- Objetivo Específico 24

Metodología 25

Tipo de investigación 25

Recopilación de datos 25

Características del lugar 25

Localización 25

Ubicación de la Cuenca Hidrográfica 26

Geomorfología 26

Condiciones climatológicas 27

Estación hidrometeorológica 30

Enfoque Hidrológico 31

Caracterización de la cuenca 31

Características físicas de la cuenca para su utilización en la construcción del modelo 31

Parámetros hidrológicos 34

Enfoque hidráulico 43

Introducción al modelo HEC-RAS 44

Resultados 47

Análisis e Interpretación del Estudio Hidrológico 47

Caracterización de la subcuenca de aporte 47

Obtención del número de curva CN 49

Lluvia de diseño 50

Simulación hidrológica de la subcuenca 56

Análisis e Interpretación del Estudio Hidráulico 59

Rotura de presa 59

Simulación hidráulica 60

Profundidad del agua 61

Velocidad del agua 63

Cotas de Lámina de agua 64

Discusión 66

Conclusión 68

Recomendaciones 69

Referencias Bibliográficas 70

Anexos 75

Índice de Tablas

Tabla 1 Cobertura de la Cuenca del Río Portoviejo 27

Tabla 2 Condiciones Climatológicas en la Represa Poza Honda 29

Tabla 3 Condiciones Climatológicas en el Caso Urbano de Portoviejo 30

Tabla 4 Localización de la Estación Meteorológica La Teodomira (M1208) 30

Tabla 5 Caracterización de la Subcuenca 34

Tabla 6 Coeficientes para las Relaciones a la Lluvia de Duración 24 Horas 40

Tabla 7 Ecuaciones para Cálculo de Intensidad 40

Tabla 8 Métodos Utilizados en HEC-HMS para Determinar Escorrentía 42

Tabla 9 Ecuaciones Utilizadas por HEC-RAS 46

Tabla 10 Precipitaciones Máximas en 24 Horas Desde el Año 2009 Hasta el 2023 47

Tabla 11 Parámetros del Río de Tránsito 48

Tabla 12 Parámetros Morfométricos de las Microcuencas 49

Tabla 13 Numero de Curva de Cada Microcuenca 49

Tabla 14 Precipitaciones Máximas Probables Diarias para Diferentes Frecuencias 51

Tabla 15 Precipitaciones Máximas para Diferentes Tiempos de Duración de Lluvias Considerando el Coeficiente de Desagregación 51

Tabla 16 Intensidad de Lluvia Según la Duración de Precipitación y Frecuencia 52

Tabla 17 Regresión Potencial 53

Tabla 18 Segunda Regresión Potencial 54

Tabla 19 Tabla de Intensidades, Duración y Frecuencia 55

Tabla 20 Caudales Máximos para la Subcuenca Poza Honda para cada Periodo de Retorno 58

Tabla 21 Zona de Afectación 63

Tabla 22 Resumen de Resultados 65

Tabla 23 Relación Numero de Curva-Escorrentía 92

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación del Área de Estudio 26

Figura 2 Represa Poza Honda 28

Figura 3 Casco Urbano de Portoviejo 29

Figura 4 Delimitación de las Microcuencas Aportantes a la Represa Poza Honda en el Software Arc-GIS Pro. 48

Figura 5 Numero de Curva de las Microcuencas 50

Figura 6 Curva Potencial 54

Figura 7 Curvas IDF de la Cuenca de Aporte 56

Figura 8 Tránsito de Caudales para 100 Años de Periodo de Retorno 57

Figura 9 Tránsito de Caudales para 500 Años de Periodo de Retorno 57

Figura 10 Tránsito de Caudales para 1000 Años de Periodo de Retorno 58

Figura 11 Mapa de la Zona de Afectación 61

Figura 12 Mapa de Profundidades de Inundación 62

Figura 13 Mapa de Velocidades de Inundación 64

Figura 14 Mapa de Cotas de Láminas de Agua de Inundación 65

Figura 15 Mapa de las Microcuencas 75

Figura 16 Mapa de la Cobertura Vegetal de las Microcuencas 75

Figura 17 Mapa de la Textura de Suelo de las Microcuencas 76

Figura 18 Embalse 76

Figura 19 Área de Inundación 77

Figura 20 Edificación de la Presa 77

Figura 21 Mapa de Afectación de la Parroquia Picoazá 78

Figura 22 Mapa de Afectación de la Parroquia 18 de Octubre 79

Figura 23 Mapa de Afectación de la Parroquia 12 de Marzo 80

Figura 24 Mapa de Afectación de la Parroquia Andrés de Vera 81

Figura 25 Mapa de Afectación de la Parroquia Portoviejo 82

Figura 26 Mapa de Afectación de la Parroquia San Pablo 83

Figura 27 Mapa de Afectación de la Parroquia Francisco Pacheco 84

Figura 28 Mapa de Afectación de la Parroquia Simón Bolívar 85

Figura 29 Mapa de Afectación de la Parroquia Colón 86

Figura 30 Profundidad del Agua al Inicio que se Registró en la Simulación 87

Figura 31 Profundidad del Agua a la Mitad que se Registró en la Simulación 87

Figura 32 Profundidad del Agua al Final que se Registró en la Simulación 88

Figura 33 Velocidad al Inicio que se Registró en la Simulación 88

Figura 34 Velocidad a la Mitad que se Registró en la Simulación 89

Figura 35 Velocidad al Final que se Registró en la Simulación 89

Figura 36 Cota de Lámina de Agua al Inicio que se Registró en la Simulación 90

Figura 37 Cota de Lámina de Agua a la Mitad que se Registró en la Simulación 90

Figura 38 Cota de Lámina de Agua al Final que se Registró en la Simulación 91

Figura 39 Relación entre Numero de Curva-Precipitación 91

Introducción

Según Duran et al., (2020) de manera genérica, los ríos se describen como corrientes de agua dulce que fluyen de manera continua a través de la tierra. Además, en el artículo 2.4 del Parlamento Europeo (2000) el concepto río se define como masa de agua continental que fluye en su mayor parte sobre la superficie del suelo, pero que puede fluir bajo tierra en parte de su curso. Estos flujos de agua superficiales son aprovechados mediante estructuras hidráulicas multipropósitos como presa.

Una presa es una estructura construida en un río o arroyo para almacenar agua y regular su flujo. Consiste en una barrera que se construye en el cauce del río para detener el flujo de agua y crear un embalse artificial. El embalse creado por la presa puede ser utilizado para diversos fines, como la generación de energía hidroeléctrica, el suministro de agua potable, el riego de cultivos, el control de inundaciones, entre otros (Ramirez, 2011).

De acuerdo con Núñez (2020) explica que una inundación se produce cuando el agua inunda un terreno que normalmente este seco, lo que puede acontecer de múltiples maneras. Una lluvia excesiva, la rotura de una presa o un dique, el rápido deshielo de la nieve o el hielo, o incluso una presa natural, colocada de manera inapropiada, puede desbordar un rio que se extenderá por el terreño adyacente, llamando llanura de inundación.

En 1959 la presa Vega de Tera colapso, causando una gran inundación en la población de Ribadelago. La riada resultante prácticamente arrasó la población, causando la destrucción de más de la mitad de las viviendas, la muerte y desaparición de más de 140 personas. La mitad de las casas de la población sufrieron importantes daños de los que nunca se recuperaron. El balance

de fallecidos fue un total de 144, de los que solo se recuperaron veintiocho cadáveres (Fernández y Monterroso, 2023).

Uno de los desastres más devastadores en la historia reciente fue la rotura de la presa Banqiao en China en 1975. Esta presa colapsó debido a lluvias torrenciales provocadas por un tifón. El desastre resultó en la muerte de aproximadamente 171000 personas y dejo sin hogar a millones. Este evento destaco las vulnerabilidades de las infraestructuras hidráulicas ante fenómenos naturales extremos y la falta de planificación adecuada para eventos raros pero catastróficos (Yi, 2012).

Citando a Guastay y Llanes (2020) el Ecuador tiene más de 40 presas en su territorio, que son fundamentales para la gestión hídrica y la generación de energía. Estas estructuras hidráulicas no solo proporcionan agua potable y para riego, sino que también son responsables de aproximadamente el 80 % de la energía hidroeléctrica del país. La importancia de estas presas es que regulan el flujo de agua, evitando inundaciones y asegurando el suministro de agua en épocas de sequía.

La presa Poza Honda es un embalse ubicado en la parroquia Honorato Vásquez, en el cantón Santa Ana, provincia de Manabí, Ecuador. En 1971 se construyó y es la principal fuente de agua para consumo humano y riego en nueve cantones de Manabí. Tiene una capacidad de almacenamiento de 100 millones de metros cúbicos y una altura de 40 metros. La presa se forma con aguas provenientes del río Portoviejo y sus afluentes, y es administrada por el Centro de Rehabilitación Manabita (CRM) (Mera y Baque, 2020).

Teniendo en cuenta las características básicas del Cantón Portoviejo y en general el panorama de riesgo que existe en el territorio ecuatoriano, los sismos, inundaciones, deslaves de terrenos y tsunamis son algunos de los cataclismos naturales a los que Portoviejo está expuesta. Muchos de los sitios susceptibles a inundación son lugares preferenciales para el desarrollo urbano, debido a su topografía plana, fácil acceso, fertilidad y bajo costo de adquisición. A la vez, la problemática socioeconómica y el incremento de la población han llevado a que las personas ocupen áreas de inundación (Giraldo & Anchundia, 2021).

De acuerdo con Pinto y Prehn (2023) para realizar una simulación hidrológica e hidráulica de la cuenca baja del río Portoviejo, se requiere de datos e información sobre las características físicas, geográficas, climáticas e hidrológicas de la cuenca, así como de los modelos matemáticos que permitan representar los procesos hidrológicos e hidráulicos que ocurren en la misma.

Objetivos

Objetivo General

- Simular hidráulica e hidrológicamente en el casco urbano de la cuenca baja del rio Portoviejo la rotura de la presa Poza Honda para evaluar el alcance de inundación.

Objetivo Específico

- Recopilar la información geográfica, hidráulica e hidrológica de la cuenca.
- Desarrollar un modelo de rotura de la presa Poza Honda mediante la utilización de software hidráulico.
- Identificar los sectores de riesgo de inundación en el casco urbano de Portoviejo en un evento de rotura de la presa Poza Honda.

Metodología

Tipo de investigación

Se realizó una investigación mixta, por medio de un estudio y simulación hidráulica e hidrológica de las subcuencas de Poza Honda, Estero Visquije, Bonche, Lodana y Portoviejo 2 de la cuenca del Río Portoviejo para su caracterización en la zona de estudio del casco urbano de Portoviejo, con un estudio exploratorio no experimental desde abril a agosto del 2024.

Recopilación de datos

- La información topográfica fue adquirida mediante el Instituto Geográfico Militar.
- Los datos climáticos e hidrológicos fueron obtenidos de fuentes confiables como el INAMHI, EPA y SENAGUA
- Se recopilaron datos específicos de la presa Poza Honda a través de empresas gubernamentales responsables de estas como SENAGUA y la EPA.

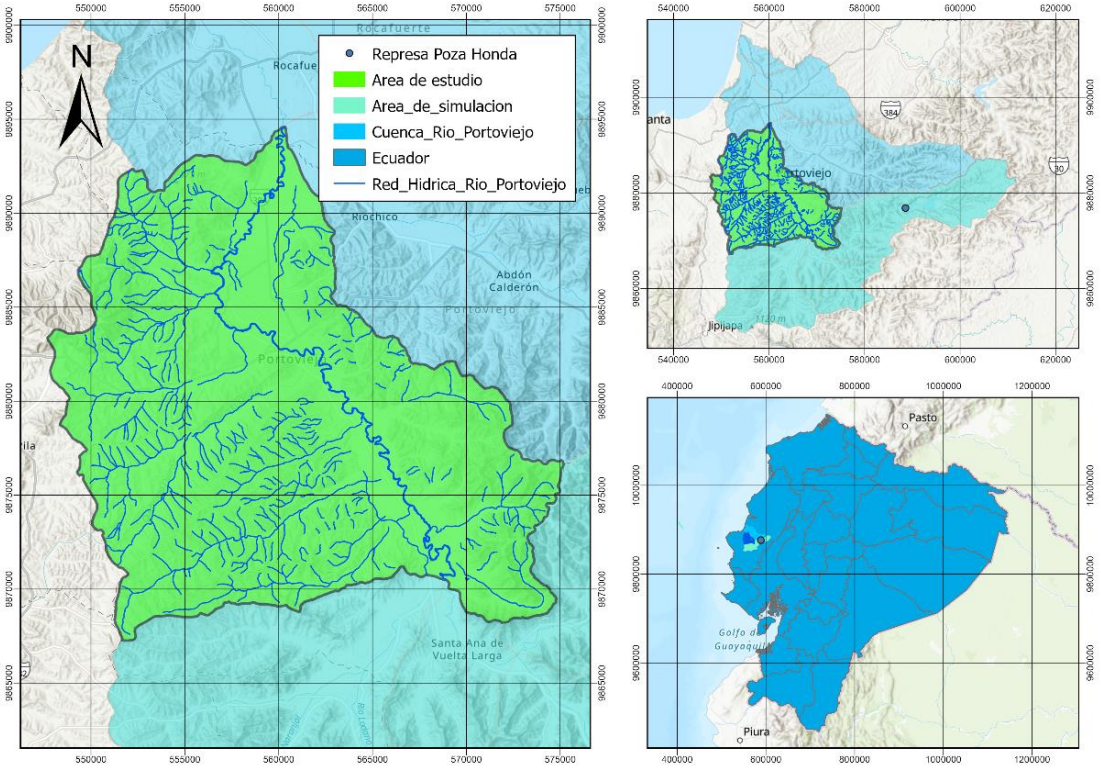
Características del lugar

Localización

La investigación se llevó a cabo en la provincia de Manabí, en la cuenca del Rio Portoviejo, aguas abajo de la represa Poza Honda abarcando hasta el casco urbano de Portoviejo. Citando a Caballero et al. (2016) describe que la represa Poza Honda posee un dique con una longitud aproximada de 1.2 km de largo, que contiene un embalse de más de 100 millones de m^3 de agua. El vertedero tiene 70 m de longitud y puede evacuar hasta 875 m^3/s. El túnel de fondo es de 3 m de diámetro con una longitud de 300 m controlado por 2 válvulas cónicas de 1500 y 500 mm, con capacidad de 30 m^3 y 4 m^3 respectivamente.

Figura 1

Ubicación del Área de Estudio



Ubicación de la Cuenca Hidrográfica

- Datum: WGS 1984 UTM zona 17 S
- Coordenada Este (X): 559932
- Coordenada Sur (Y): 9879200 (Pinto y Prehn, 2023)

Geomorfología

La localidad de Portoviejo forma parte de una cuenca sedimentaria cuyo eje anticlinal se desarrolla de NNE a SSW; en el límite SSW se produce un cambio estructural por la presencia de numerosas fallas geológicas. Morfológicamente, presenta un terreno de tipo disimétrica, con valles aluviales entre las cotas 30 y 40, y colinas con alturas que varían de 70 a 130 m. En un alto

porcentaje del área, existen terrazas aluviales del Cuaternario disectadas por la erosión fluvial (Villao & Cabrera, 2021).

Tabla 1

Cobertura de la Cuenca del Río Portoviejo

Parámetro	Área (Ha)	%
Húmedo	1264.23	1%
Bosque seco	27868.6	13%
Vegetación Densa	103121.22	50%
Agricultura	75841.77	36%

Fuente: Villao & Cabrera (2021)

La ciudad se caracteriza por la predominancia de depósitos del Holoceno principalmente de ambiente fluvial; al mismo tiempo por su geomorfología y ubicación, es propensa a inundaciones causadas por el desbordamiento del río Portoviejo, lo que genera la saturación del suelo, en especial en épocas en las que se desarrolla el Fenómeno de El Niño."

La zona cero de la ciudad de Portoviejo está asentada sobre suelos muy blandos, categorizados dentro del mapa de microzonificación sísmica con la categoría M5, como se puede apreciar en la figura 3. Estas características forman en conjunto una zona de alta vulnerabilidad para desarrollar fenómenos en los suelos, como licuefacción, asentamientos, expansividad, entre otros. (Menéndez et al., 2023).

Condiciones climatológicas

En general en la provincia de Manabí, la estación seca del año tiene una marcada influencia y su duración es de al menos 8 meses, existe la presencia de la corriente cálida del niño, que tiene influencia en las precipitaciones. Manabí esta influenciado por la orografía de la

zona, determinada de occidente a oriente con tres tipos de climas: Tropical mega térmico semiárido, tropical seco a semi húmedo, tropical mega térmico húmedo (Burbano et al., 2015). Estudios realizados por el IGM muestran que los meses de enero, febrero, marzo y abril son los que presentan el mayor valor de temperatura, mientras que los meses de julio y agosto son los que presentan valores ligeramente más bajos con respecto a la media anual.

Represa Poza Honda

Figura 2

Represa Poza Honda



Tabla 2

Condiciones Climatológicas en la Represa Poza Honda

Variable climatológica	Descripción	Datos
Precipitación	Precipitación máxima para el mes de febrero en mm	339.8
Temperatura	Temperatura media anual en ˚C	25.2
Humedad relativa	Humedad relativa anual en %	82
Velocidad del viento	Velocidad del viento máxima observada m/s	4

Nota. Adaptado de INAMHI

Casco urbano del cantón Portoviejo

Figura 3

Casco Urbano de Portoviejo

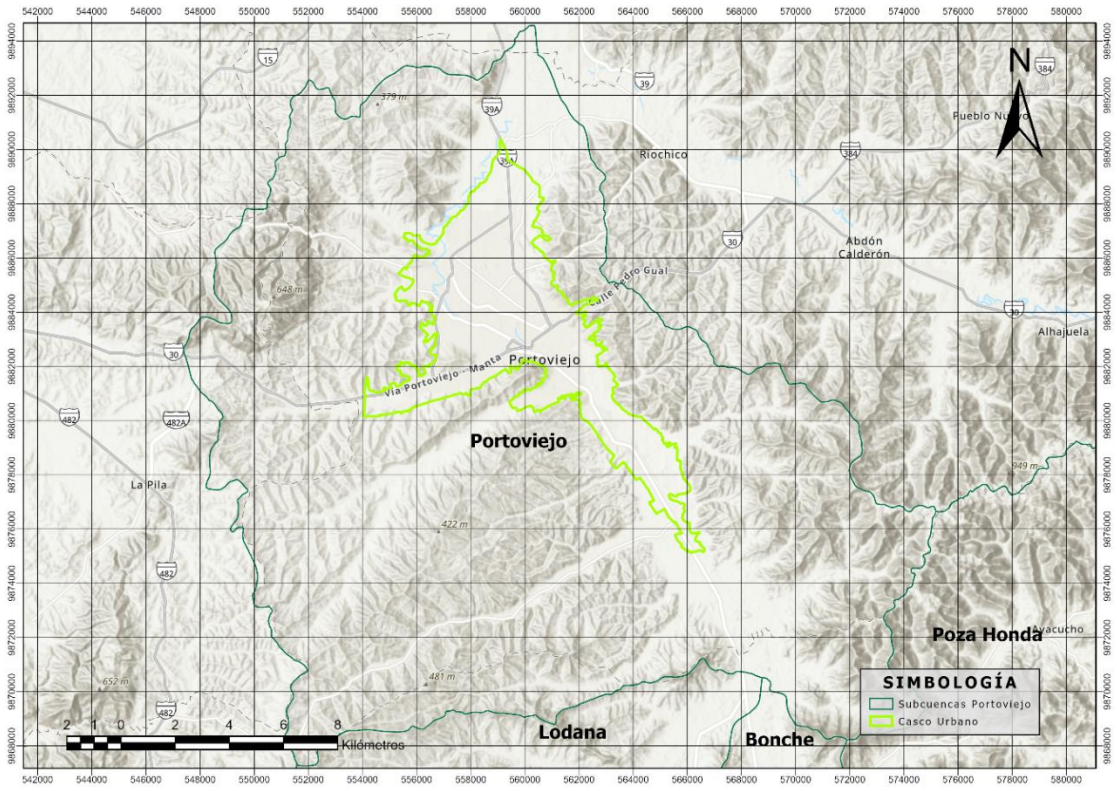


Tabla 3

Condiciones Climatológicas en el Caso Urbano de Portoviejo

Variable climatológica	Descripción	Datos
Precipitación	Precipitación anual máxima en 24 horas en mm	107.6
Temperatura	Temperatura media anual en ˚C	25-26
Humedad relativa	Humedad relativa anual en %	79
Velocidad del viento	Velocidad del viento medida en Km/h	2

Fuente: Anuarios hidrometeorológicos (Instituto Nacional de Meteorológia e Hidrológia, 2017)

Estación hidrometeorológica

Para la investigación, se empleó datos de precipitación máxima en 24 horas obtenidos de la estación La Teodomira (M1208), que forma parte de la red de monitoreo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Tabla 4

Localización de la Estación Meteorológica La Teodomira (M1208)

Código	Nombre	Tipo	X	Y	Altitud (m)
M1208	La Teodomira	Climatológica Principal	567865	9871317	60

Fuente: (Pinto & Prehn, 2023)

La estación Teodomira (M1208), ubicada en Lodana, fue elegida debido a su proximidad a la represa Poza Honda y a la disponibilidad de un conjunto completo de datos, lo que la convierte en la opción más adecuada para el análisis. Los datos fueron solicitados formalmente a

los responsables de la estación La Teodomira, quienes proporcionaron la información necesaria para el estudio.

Enfoque Hidrológico

La hidrología juega un papel importante en la operación efectiva de estructuras hidráulicas, especialmente aquellas que se destinan a la generación de energía y control de avenidas, donde se requiere con frecuencia de pronóstico de avenidas y sequias. Un estudio hidrológico se compone de un análisis morfológico de la cuenca, así como de un proceso hidrológico y los parámetros de transformación de la precipitación a escorrentía con el fin de obtener el caudal de diseño. Se utilizaron métodos manuales y softwares como HEC-HMS. (Mendoza & González, 2017).

Caracterización de la cuenca

Una cuenca hidrológica es un sistema de captación y concentración de aguas superficiales en el que interactúan recursos naturales y asentamientos humanos de un complejo de relaciones, donde los recursos hídricos aparecen como factor determinante (Reyes et al., 2015).

El Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) a través de su geo pórtales, son las entidades encargadas de proporcionar modelos de Elevación Digital (DEM), de aquí se obtuvo un DEM con un tamaño de resolución 4x4 pixeles.

Características físicas de la cuenca para su utilización en la construcción del modelo

La caracterización es un análisis detallado de los recursos y las condiciones biofísicas, socioeconómicas y ambientales de la cuenca y sus interrelaciones; además, es el primer paso en la búsqueda de las relaciones entre estos y las condiciones climáticas, geológicas e hidrológicas

que determinan la evolución de la cuenca. Estos datos son esenciales para construir un modelo hidrológico preciso y fiable (Reyes et al., 2015).A continuación se detallarán los parámetros principales que se tuvieron en cuenta para la construcción del modelo.

Área de la subcuenca (A)

Según Asensio et al., (2011) el área de una cuenca es probablemente el factor más importante en la relación escorrentía - características morfológicas. Está definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro, una línea trazada mediante fotointerpretación de fotografías aéreas en las que se aprecian las líneas divisoras de aguas o sobre un mapa topográfico en función a las curvas de nivel representadas.

Perímetro de la subcuenca (P)

Es un límite físico sobre un plano horizontal, informa sucintamente sobre la forma de la cuenca. El agua que se mueve por toda la superficie delimitada por este plano forma la red de canales que constituye el sistema fluvial o red de drenaje de la cuenca. Este parámetro se expresa normalmente en metros o kilómetros (Ibáñez et al., 2011).

Longitud del cauce principal (L)

La longitud de la cuenca está definida por la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba. Este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía y por ello es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos (Ibáñez et al., 2011).

Factor de forma (Kf)

Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca, que intenta medir cuan alargada puede ser la cuenca. Los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Una cuenca con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma (Cardona, 2016).

Pendiente media (S)

La pendiente media proporciona indicadores de la velocidad media de la escorrentía y, por lo tanto, de su poder de arrastre o poder erosivo. Se obtiene mediante una ponderación de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante (Ibáñez et al., 2011).

Citando a Cardona (2016) a mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal. Esto se refleja en el hidrograma, donde con una pendiente pronunciada resultara en picos más agudos.

Tiempo de concentración (TC)

Duración necesaria para que una gota de lluvia recorra desde el punto hidráulicamente más lejano de la cuenca hasta la salida. Un tiempo de concentración más corto generalmente se asocia con un mayor riesgo de inundaciones. El tiempo de concentración se calcula mediante la fórmula siguiente, la cual considera factores como el área de la cuenca y las características del suelo mencionadas anteriormente (Cardona, 2016).

Factor de escorrentía en la cuenca (F)

El coeficiente de escorrentía representa la fracción de agua del total de lluvia precipitada que realmente genera escorrentía superficial una vez que el suelo se ha saturado por completo. Su valor depende de las características concretas del terreno, como la textura del suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y el uso del suelo, los cuales influyen en la capacidad de infiltración del agua. Suelos más permeables, como los arenosos, permiten una mayor infiltración y, por tanto, tienden a tener un coeficiente de escorrentía más bajo, mientras que suelos arcillosos o altamente compactados suelen tener valores más altos debido a su menor capacidad de absorber agua. (Ibáñez et al., 2011).

Tabla 5

Caracterización de la Subcuenca

Parámetro	Datos
Área(km²)	183.43
Perímetro(km)	111.85
Longitud del cauce (km)	10.07
Pendiente(m/m)	0.0002
Factor forma	1.81
Tiempo de concentración	10.37

Parámetros hidrológicos

Precipitación

La precipitación es cualquier tipo de agua meteórica que cae sobre la superficie terrestre. El estudio de las precipitaciones fue fundamental en los análisis hidrológicos, para cuantificar los recursos hídricos y estimar avenidas máximas. Para el estudio de los recursos hídricos de una zona se puede trabajar con datos de precipitaciones mensuales y anuales. Por otro lado, nuestra

investigación se centró en caudales excepcionales, comenzaremos con datos de precipitaciones máximas diarias (Sánchez, 2022).

Periodos de retorno

En hidrología se usa el periodo de retorno para referirse a una probabilidad, para cualquier evento máximo hidrometeorológico como una crecida que se cree que será igualado y que tiene una probabilidad de ocurrencia. Es decir, una probabilidad de ocurrencia de 0.01 hace referencia a un periodo de retorno de 100 años (Sánchez, 2022).

Numero de curva

El número de curva es un parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de características físicas de la zona como el tipo, la densidad y de las coberturas de suelos. El número de curva se interpreta como un descriptor general de las condiciones del territorio y representa el potencial de escorrentía que tiene una superficie. A continuación, Diaz y Mercado (2017) muestran una clasificación para el grupo hidrológico de suelos

- Grupo A: son suelos predominantemente arenosos, donde el agua se transmite libremente a través del perfil y por ende tienen un bajo potencial de escorrentía cuando están completamente húmedos.
- Grupo B: son suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas que tienen un potencial de escorrentía moderadamente bajo cuando están completamente húmedos.

- Grupo C: Son suelos con una capa que limita el movimiento vertical del agua y texturas de moderadamente finas a finas. El potencial de escorrentía es moderadamente alto cuando están húmedos.
- Grupo D: son suelos con alto potencial de escorrentía y tasas de infiltración muy bajas. Las texturas son arcillosas, el nivel freático es alto o son suelos poco profundos, asentados sobre material impermeable.

Esta clasificación nos ayudó a establecer una conexión entre en número de curva y el uso de suelo como se muestra en la tabla 23 del anexo. A pesar de ello, recurrimos a un programa informáticos como ArcGIS Pro, el cual nos permitió determinar el número de curva de una forma rápida y precisa, clasificando cada celda o polígono según el uso del suelo y grupo hidrológico del suelo, asignado los valores de numero de curva según la clasificación USDA. El resultado de esta metodología es la generación de mapas de numero de curvas (ver tabla 6) que fueron utilizados para el análisis hidrológico en HEC-HMS.

Distribución de Gumbel

Según García, (2013) la distribución de Gumbel es la distribución estadística más utilizada en la actualidad para el cálculo de la precipitación para un periodo de retorno escogido y esta presentada por las siguientes ecuaciones:

Media aritmética

$$\overline{x} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n}$$

Donde:

$\overline{\boldsymbol{x}}$*: Media aritmética*

n*: Numero de observaciones*

xi*: Observación inicial x*

Desviación estándar

$$\boldsymbol{S_x} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x - \overline{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

$\boldsymbol{S_x}$: $Desviacion\ estandar$

$\overline{\boldsymbol{x}}$*: Media aritmética*

n*: Numero de observaciones*

x*: Observación inicial*

Estimación de parámetros de Gumbel

$$\boldsymbol{\alpha} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S_x$$

$$\boldsymbol{\beta} = \overline{x} - 0.5772\alpha$$

Siendo $\boldsymbol{\alpha}$ *y* $\boldsymbol{\beta}$ *la probabilidad de Gumbel*

La función de Gumbel fue la más adecuada para el ajuste de los caudales máximos, ya que presenta una alta calidad en ambas pruebas de bondad de ajuste, con una diferencia poco

significativa en el coeficiente de determinación con respecto a otros métodos. Esto aseguro una mayor precisión de los eventos extremos (Aguilera, 2007).

Precipitaciones máximas probables

La Precipitación Máxima Probable (PMP) se define como la máxima lluvia esperable, para una determinada duración. La PMP, junto con otros valores como la Creciente Máxima Probable (CMP), constituyen Valores Límites Estimados (VLE), usualmente utiliza en el diseño de estructuras hidráulicas para el control de excedentes que por su vulnerabilidad o implicancia demandan una seguridad mayor. Aunque existen múltiples metodologías para la estimación de la precipitación máxima probable, se distinguen dos escuelas principales. Por un lado, la meteorológica que considera al ciclo hidrológico como un sistema cerrado siendo la PMP el valor tope en una ubicación especifica dada. Por otro, el enfoque estadístico que asume a la PMP, como un evento de probabilidad finita. En el segundo enfoque, se encuentra el método de distribución de Gumbel Tipo I de naturaleza estadística, este método fue un punto de partida para la estimación de las precipitaciones del estudio (Bazzano et al., 2018).En el siguiente apartado se encuentran las fórmulas que conformaron parte de esta estimación.

Factor de frecuencia

$$Fr = 1 - \frac{1}{Tr}$$

Donde:

$\boldsymbol{Fr}$: $Frecuencia$

Tr*: Periodo de retorno*

Precipitación corregida

$$P_{24}^{Tr} = \left(\beta - \frac{1}{\alpha}\left[Ln\left(-Ln\frac{Tr(x)-1}{Tr(x)}\right)\right]\right)1.14$$

Donde:

$\boldsymbol{P_{24}^{Tr}}$: $Precipitacion\ maxima\ en\ 24\ horas\ para\ un\ perido\ de\ retorno\ Tr$

$\boldsymbol{Tr(x)}$: $Perido\ de\ retorno\ para\ una\ precipitacion\ x$

$\boldsymbol{\alpha}$ *y* $\boldsymbol{\beta}$*: Probabilidad de Gumbel*

Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias aplicando el coeficiente desagregación(δ).

Los índices de desagregación permitieron determinar datos de precipitaciones para diferentes duraciones de tormentas menores a 24 horas, estos índices se relacionan en función a una duración de referencia que existe entre las magnitudes de precipitación de duración para diferentes tormentas (Cahuana & Weimar, 2009).

$$\boldsymbol{Pd} = P_{24}^{Tr}\delta_{n\ horas}$$

Donde:

Pd*: Precipitación máxima (mm) por tiempos de duración*

$\boldsymbol{\delta_{n\ horas}}$***:*** *Precipitación máxima*

$\boldsymbol{P_{24}^{Tr}}$: $Precipitacion\ maxima\ en\ 24\ horas\ para\ un\ perido\ de\ retorno\ Tr$

Tabla 6

Coeficientes para las Relaciones a la Lluvia de Duración 24 Horas

Duraciones, en horas							
15 min/ 30 min	**30 min/ 1 hr**	**45 min/ 1 hr**	**1 hr/ 24 hr**	**2 hr/ 24 hr**	**6 hr/ 24 hr**	**12 hr/ 24 hr**	**24 hr**
0.70	0.78	0.89	0.59	0.65	0.81	0.85	1.18

Fuente: LHUMSS, Programa SSH.

Curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF)

Tabla 7

Ecuaciones para Cálculo de Intensidad

Ecuación	Autor	Comentario
$i(t) = \frac{KT^m}{(t_d + b)^n}$	Sherman (1931)	
$i(t) = \frac{KT^m}{t_d^n}$	Bernard (1932)	
$i(t) = \frac{a}{t_d + b}$	Linsley et al (1949)	Duraciones entre 5 y 20 minutos
$i\,(t) = \frac{c}{t_d^n}$	Linsley et al (1949)	Duraciones superiores a 60 minutos
$i(t) = \frac{K}{t_d^n + b}$	Wenzel (1982)	
$i(t) = i_1^T \frac{a}{(t_d + b)^c}$	Chen (1983)	
$i(t) = \frac{KT^m}{t_d^n + b}$	Chow et al. (1994)	
$i(t) = K\left\{\frac{m - In\left[-In(1 - \frac{1}{T})\right]}{(t_d + b)^n}\right\}$	Koutsoyiannis et al. (1998)	
$i(t) = at_d^b$	*Montana	

Fuente: (Balbastre, 2018)

Según Balbastre (2018) para determinada duración, una curva IDF se establece una relación entre la duración y la intensidad media máxima anual para esa misma duración para un período de retorno. Algunos de los métodos más utilizados es el de Sherman o Bernard que emplea una relación exponencial entre la intensidad de precipitación y su duración. Los tres elementos que componen las curvas de intensidad, duración y frecuencia son:

- Intensidad (expresada normalmente en unidades de mm/h).
- Duración (minutos). Es el tiempo durante el cual se mide la lluvia. Representa el intervalo de tiempo donde se da la mayor intensidad dentro de un evento mayor.
- Frecuencia(años): Mediante el periodo de retorno se incluye la aleatoriedad del fenómeno

Para el desarrollo de este estudio se utilizó la ecuación de Bernard

$$\mathbf{I} = \frac{\mathrm{k} * \mathrm{T}^{\mathrm{m}}}{\mathrm{t}^{\mathrm{n}}}$$

Donde:

I: *Intensidad de precipitación (mm/h).*

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

T **=** *Periodo de retorno (años).*

t **=** *Duración (horas o minutos).*

$$I = \frac{2919.9195 * T^{0.127098}}{t^{0.71689}}$$

Hietograma de diseño & HEC-HMS

Según lo indica Duque et al., (2019) el software HEC-HMS emplea modelos matemáticos que se adapten según la información disponible para trasformar lluvia en escurrimiento. HEC-

HMS fue seleccionado por que el modelo es capaz de simular satisfactoriamente los caudales de escorrentía en una cuenca utilizando una parametrización de la infiltración y las características del suelo, proporcionando hidrogramas precisos que representan el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Portoviejo. La metodología aplicada responde de forma adecuada al objetivo, el método del Número de Curva del SCS es aplicable para cuencas menores a 250 km^2 y con limitada información. En este caso logramos refinar los resultados de caudales punta debido a que disponíamos de datos completos de precipitación.

Validación del modelo

La calibración y validación del modelo hidrológico en HEC-HMS del evento simulado se comparó, analizó y se redistribuyo las precipitaciones máximas en 24 horas para la obtención de los caudales obtenido para el hidrograma de rotura. Para el modelo hidráulico en HEC-RAS, se estrago la geometría a partir de un modelo DEM 4 x 4, se comparó y validó la topografía mediante Globlar Mapper para la simulación del movimiento del agua.

Tabla 8

Métodos Utilizados en HEC-HMS para Determinar Escorrentía

Componentes del proceso de escurrimiento	Método	Parámetros
Método de perdidas	Numero de curva del SCS	Numero de curva CN, Abstracción inicial, Ia
Trasformación de lluvia en escurrimiento	Hidrograma unitario del SCS	Tiempo de retardo, lag time
Tránsito de avenidas	Muskingum Cunge	Longitud, Ancho, Pendiente, Coeficiente de Manning, n forma del cauce

Fuente: (Duque et al., 2019)

De acuerdo con Sánchez (2022) el programa calcula el hidrograma producido por una cuenca si le facilitamos datos de la cuenca y datos de precipitaciones. HMS permitió establecer varias subcuencas. El programa realizo los cálculos en tres fases (A, B, C) para cada subcuenca, y calculo la última fase (D) para cada tránsito a lo largo de un cauce. En los puntos de unión, sumó los caudales generados por varios elementos. Finalmente nos proporcionó los hidrogramas generados para cada subcuenca y para el total de la cuenca

Fase A: Calcula la precipitación neta, es decir que parte de la precipitación caída va a generar escorrentía.

- A.1: Si existe vegetación, parte de la precipitación retenida en las hojas para evaporarse después.
- A.2: Precipitación que puede quedar retenida en pequeñas retenciones superficiales, para infiltrarse o evaporarse después.
- A.3: Se calcula qué parte de las precipitaciones se infiltra en el suelo.

Fase B: Calcula la escorrentía directa producida por esa precipitación neta.

Fase C: Se suma la escorrentía directa a la escorrentía base (baseflow).

Fase D: Describe cómo evoluciona un hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce o un depósito.

Enfoque hidráulico

El análisis hidráulico se compone de un sistema que simula un objeto real, mediante la entrada de cierta información que se procesa y presenta en forma adecuada para emplearse en el diseño y operación de obras de ingeniería. La importancia de los modelos radica en que se puede

predecir lo que ocurrirá; estos modelos pueden clasificarse como físicos, en los cuales se cumplen leyes de similitud geométrica, cinemática y dinámica entre el modelo y el objeto real. Así mismo hay modelos analógicos donde se hacen analogías entre dos fenómenos físicos como por ejemplo el flujo laminar y el flujo turbulento. Existen otro tipo de modelos, que son un conjunto de hipótesis y relaciones de las variables que describen un fenómeno mediante ecuaciones. La precisión de los modelos matemáticos depende de la exactitud de los datos de entrada, el tipo de fenómeno a estudiar, la exactitud de las ecuaciones que rigen el fenómeno y la forma de aproximar las ecuaciones (Segura & Casasola, 2011).

Introducción al modelo HEC-RAS

HEC-RAS es un programa de modelación hidráulica desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. HEC-RAS, que significa River Analysis System, se utiliza para realizar análisis hidráulicos de flujo en ríos, incluyendo la modelación de flujos permanentes y no permanentes, así como la simulación de inundaciones y la evaluación de riesgos asociados a eventos hidrológicos (Vera et al., 2019).

Este modelo se basa en las ecuaciones de Saint Venant, que describen los flujos en régimen variable, capturando la dinámica de inundación con un alto nivel de precisión. Estas ecuaciones permitieron resolver tanto el flujo lento como el rápido, haciendo de HEC-RAS la herramienta más adecuada para modelar el evento de rotura de la presa Poza Honda y su impacto en el casco urbano de Portoviejo.

De acuerdo con Vera et al., (2019) explica que la importancia para la entrada de datos en el modelo HEC-RAS son necesarios para calibrar y validar el modelo, así como para simular

escenarios hidrológicos y evaluar el comportamiento de los flujos de agua en diferentes condiciones. Algunos de los datos hidrológicos y climáticos relevantes que se utilizaron en HEC-RAS incluyen:

1. Datos de caudales y niveles de agua en el río: Estos datos son fundamentales para calibrar el modelo y validar su precisión en la representación de los flujos de agua en el río.
2. Datos de precipitación: La información sobre las precipitaciones es crucial para simular escenarios de crecidas y evaluar el impacto de eventos climáticos extremos en el comportamiento hidráulico del río.
3. Datos topográficos: La topográficos del terreno es esencial para la modelación hidráulica, que influye en la velocidad y la dirección de los flujos de agua (Vera et al., 2019).

HEC-RAS utiliza las ecuaciones de Saint Venant, las cuales son una derivación de la ecuación de Navier Stokes, y corresponden a un conjunto formado por las ecuaciones de Continuidad y Momentum. El software utiliza dos esquemas para la resolución de las ecuaciones de Saint Venant, el primero ellos, “Full Momentum” resuelve las ecuaciones de cantidad de momentum sin omitir ningún término. El segundo, corresponde al Método de Onda Difusa o “Difussion Wave”, éste omite los términos de aceleración local y convectiva. En problemas relativamente simples, el modelo de onda difusa presenta tiempos de cómputo menores y resultados similares al método de Full Momentum. Sin embargo, en problemas que presenten cambios bruscos en la geometría, se recomienda de Full Momentum (Toapaxi & Acero, 2021).

Tabla 9

Ecuaciones Utilizadas por HEC-RAS

Ecuación De Continuidad	$\frac{d}{dt}\iiint pd\forall + \iiint pV * dA = 0$
$\frac{d}{dt}\iiint pd\forall$: *Representa la* región *espacial ocupata por el fluido*	
$\iiint pV * dA$: *Representa las condiciones de entrada/salida dentro de una* sección	
Ecuación De Moentum	$\frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial V}{\partial x} + g\frac{\partial y}{\partial x} - gS_0.S_f = 0$
$g\frac{\partial y}{\partial x}$:Término de fuerza de presión	
$\frac{\partial V}{\partial t}$: *A*celeración *local*	
$V\frac{\partial V}{\partial x}$: *A*celeración *convectiva*	
$gS_0.S_f$:Término de aceleración gravitacional y fricción	

Fuente: Adaptado de (Toapaxi & Acero, 2021)

Resultados

Análisis e Interpretación del Estudio Hidrológico

Aquí se muestran las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación la Teodomira que se utilizaron para el presente estudio.

Tabla 10

Precipitaciones Máximas en 24 Horas Desde el Año 2009 Hasta el 2023

Año	La Teodomira (M1208)
2009	164.0
2010	**232.2**
2011	210.1
2012	437.1
2013	215.1
2014	182.5
2015	234.2
2016	220.2
2017	284.8
2018	284.7
2019	208.7
2020	132.1
2021	297.8
2022	217.4
2023	261.1

Caracterización de la subcuenca de aporte

Se obtuvieron las características de la subcuenca y los ríos de tránsito que se muestran en las tablas 11 y 12. En la Figura 4 se pueden observar las 5 microcuencas de aporte a la represa Poza Honda.

Figura 4

Delimitación de las Microcuencas Aportantes a la Represa Poza Honda en el Software Arc-GIS Pro.

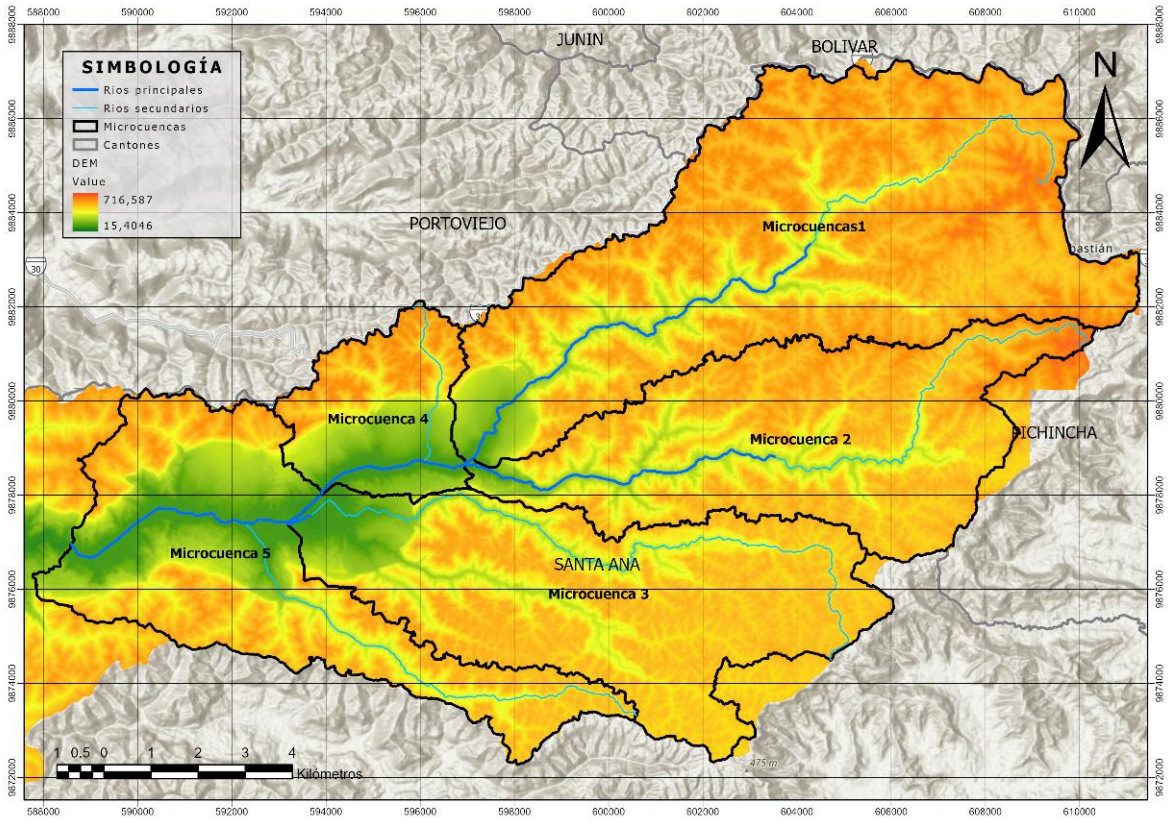


Tabla 11

Parámetros del Río de Tránsito

Rio	Longitud	Pendiente
N°	km	m/m
Rio 1	5.5607	0.0003
Rio 2	4.5087	0.0002

Tabla 12

Parámetros Morfométricos de las Microcuencas

Microcuenca	Área	Perímetro	Longitud del cauce principal	Pendiente del cauce principal	Pendiente de la cuenca
N°	km^2	km	km	m/m	m/m
Microcuenca 1	62.895	67.632	20.213	0.019	0.468
Microcuenca 2	36.506	55.904	18.533	0.022	0.505
Microcuenca 3	39.591	54.984	17.966	0.018	0.460
Microcuenca 4	11.864	26.064	7.816	0.046	0.397
Microcuenca 5	32.576	57.648	16.058	0.018	0.425

Obtención del número de curva CN

Existe una relación entre el número de curva y la profundidad de la tormenta (Figura 5), pero que, en la mayoría de los casos, se acerca a un valor constante con precipitaciones más elevadas. En la tabla 13 se muestran los números de curva correspondiente a cada microcuenca, se puede inferir que, la microcuenca 3 y 5 al tener un numero de curva mayor, las precipitaciones fueron menores.

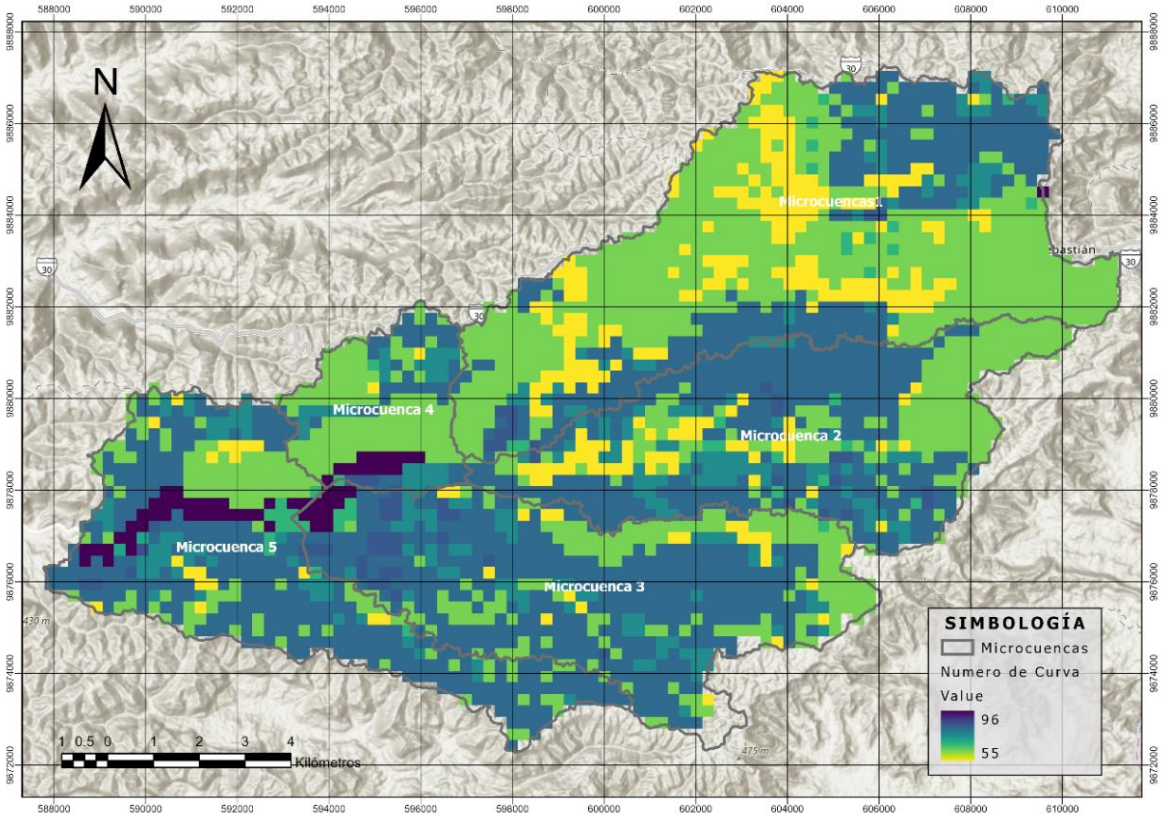
Tabla 13

Numero de Curva de Cada Microcuenca

Microcuenca	Numero de curva
N°	CN
Microcuenca 1	61
Microcuenca 2	70
Microcuenca 3	74
Microcuenca 4	61
Microcuenca 5	74

Figura 5

Numero de Curva de las Microcuencas



Lluvia de diseño

Precipitaciones máximas probables

En la tabla 14 se observan las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno. Para su obtención se analizaron las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación La Teodomira M0128 y se realizó una distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel obteniendo los factores de ajuste α=55.46 mm β= 206.79 mm. Además, se consideró una corrección de intervalo fijo de 1.14.

Tabla 14

Precipitaciones Máximas Probables Diarias para Diferentes Frecuencias

Periodo de retorno	Precipitación	Prob. de ocurrencia	Corrección de intervalo fijo
Años	**X(mm)**	**F(XT)**	**XT (mm)**
2	227.115	0.500	258.911
5	289.975	0.800	330.572
10	331.594	0.900	378.017
20	371.516	0.950	423.528
50	423.191	0.980	482.437
100	461.914	0.990	526.582
500	551.396	0.998	628.592
1000	589.866	0.999	672.447
5000	679.148	1.000	774.229
10000	717.593	1.000	818.056

Tabla 15

Precipitaciones Máximas para Diferentes Tiempos de Duración de Lluvias Considerando el Coeficiente de Desagregación

Tiempo de duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración									
		2 años	**5 años**	**10 años**	**20 años**	**50 años**	**100 años**	**500 años**	**1000 años**	**5000 años**	**10000 años**
24 hr	100%	305.52	390.07	446.06	499.76	569.28	621.37	741.74	793.49	913.59	965.31
12 hr/ 24 hr	72%	259.69	331.56	379.15	424.80	483.88	528.16	630.48	674.46	776.55	820.51
6 hr/ 24 hr	69%	247.47	315.96	361.31	404.81	461.11	503.31	600.81	642.73	740.01	781.90
2 hr/ 24 hr	55%	199.53	254.76	291.32	326.40	371.79	405.81	484.43	518.23	596.67	630.44
1 hr/ 24 hr	50%	180.25	230.14	263.18	294.86	335.87	366.61	437.63	468.16	539.02	569.53
45 min/ 1 hr	45%	160.64	205.10	234.54	262.78	299.33	326.72	390.01	417.22	480.37	507.57

30 min/ 1 hr	39%	140.60	179.51	205.28	229.99	261.98	285.95	341.35	365.16	420.43	444.23
15 min/ 30 min	27%	98.42	125.66	143.69	160.99	183.39	200.17	238.94	255.61	294.30	310.96
5 min/ 30 min	14%	50.62	64.62	73.90	82.80	94.31	102.94	122.89	131.46	151.36	159.92

Intensidad de Lluvia

En la tabla 16 se muestran los resultados las intensidades de lluvia diaria calculados según la duración de la precipitación y su frecuencia.

Tabla 16

Intensidad de Lluvia Según la Duración de Precipitación y Frecuencia

Tiempo de duración		**Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno**									
Hr	**min**	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**	**500**	**1000**	**5000**	**10000**
24.00	1440	12.73	16.25	18.59	20.82	23.72	25.89	30.91	33.06	38.07	40.22
12.00	720	21.64	27.63	31.60	35.40	40.32	44.01	52.54	56.21	64.71	68.38
6.00	360	41.24	52.66	60.22	67.47	76.85	83.88	100.13	107.12	123.33	130.32
2.00	120	99.77	127.38	145.66	163.20	185.90	202.91	242.21	259.11	298.33	315.22
1.00	60	180.25	230.14	263.18	294.86	335.87	366.61	437.63	468.16	539.02	569.53
0.75	45	214.19	273.47	312.72	350.37	399.11	435.63	520.02	556.30	640.50	676.75
0.50	30	281.20	359.02	410.55	459.98	523.96	571.91	682.70	730.33	840.87	888.47
0.25	15	393.67	502.63	574.78	643.98	733.55	800.67	955.77	1022.46	1177.22	1243.85
0.08	5	607.38	775.49	886.80	993.56	1131.76	1235.32	1474.62	1577.50	1816.28	1919.09

Representación de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno

Mediante las regresiones potenciales se relacionó la intensidad de precipitaciones con la duración y los diferentes periodos de retorno, que se enfoca en eventos extremos. Los coeficientes **d** y **n**, relacionan la intensidad de la lluvia con la duración, así un coeficiente de regresión **(n)** negativo significa que la intensidad disminuye a medida que la duración aumenta.

Tabla 17

Regresión Potencial

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	**Término ctte. De regresión (d)**	**Coef. De regresión [n]**
2	2759.5315	-0.7169
5	3523.3042	-0.7169
10	4028.9882	-0.7169
20	4514.0525	-0.7169
50	5141.9184	-0.7169
100	5612.4155	-0.7169
500	6699.6626	-0.7169
1000	7167.0851	-0.7169
5000	8251.8928	-0.7169
10000	8719.0116	-0.7169
Promedio =	5641.7862	-0.7169

El termino constante de regresión (d) tuvo como objetivo simplificar una ecuación matemática, que relaciona el coeficiente constante de regresión (k) y el coeficiente de regresión (m), con el periodo de retorno. Por lo tanto, se realizó una segunda regresión exponencial con el fin de calcular esos últimos coeficientes mencionados, que se muestran a continuación:

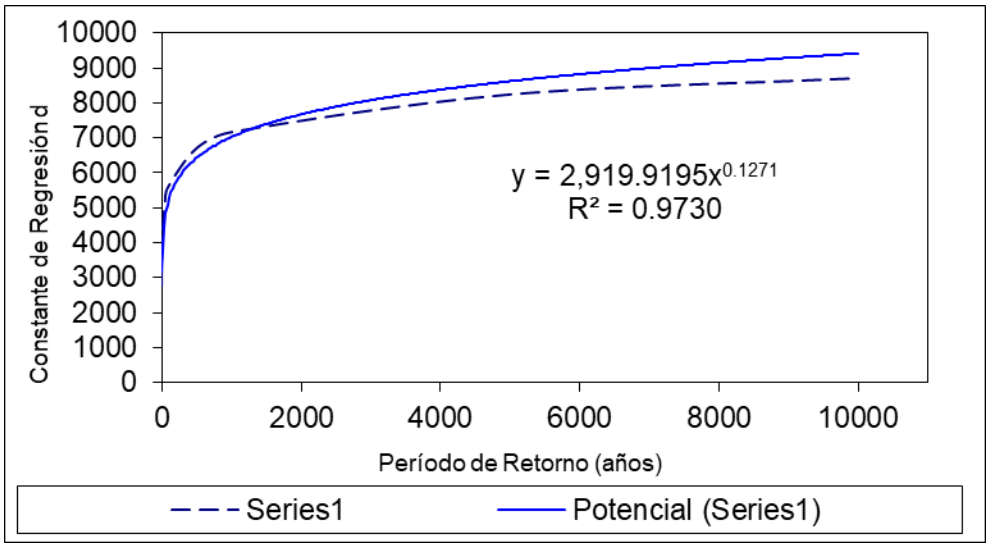
Tabla 18

Segunda Regresión Potencial

Regresión potencial						
Nº	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
1	2	2759.531	0.693	7.923	5.492	0.480
2	5	3523.304	1.609	8.167	13.145	2.590
3	10	4028.988	2.303	8.301	19.114	5.302
4	20	4514.052	2.996	8.415	25.209	8.974
5	50	5141.918	3.912	8.545	33.429	15.304
6	100	5612.416	4.605	8.633	39.755	21.208
7	500	6699.663	6.215	8.810	54.750	38.621
8	1000	7167.085	6.908	8.877	61.322	47.717
9	5000	8251.893	8.517	9.018	76.810	72.543
10	10000	8719.012	9.210	9.073	83.568	84.830
10	**16687**	**56417.862**	**46.968**	**85.763**	**412.593**	**297.570**
Ln (K) =	**7.9793**	***K =***	**2919.9195**	***m =***	**0.1271**	

Figura 6

Curva Potencial



Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Una vez que se calculó los parámetros de ajuste k, m, n mediante una regresión que se muestra en la figura 7, se aplicó la fórmula de intensidad utilizando el modelo de Bernard que se muestra en la tabla 18, calculando la intensidad de precipitación para cada duración y frecuencia.

Tabla 19

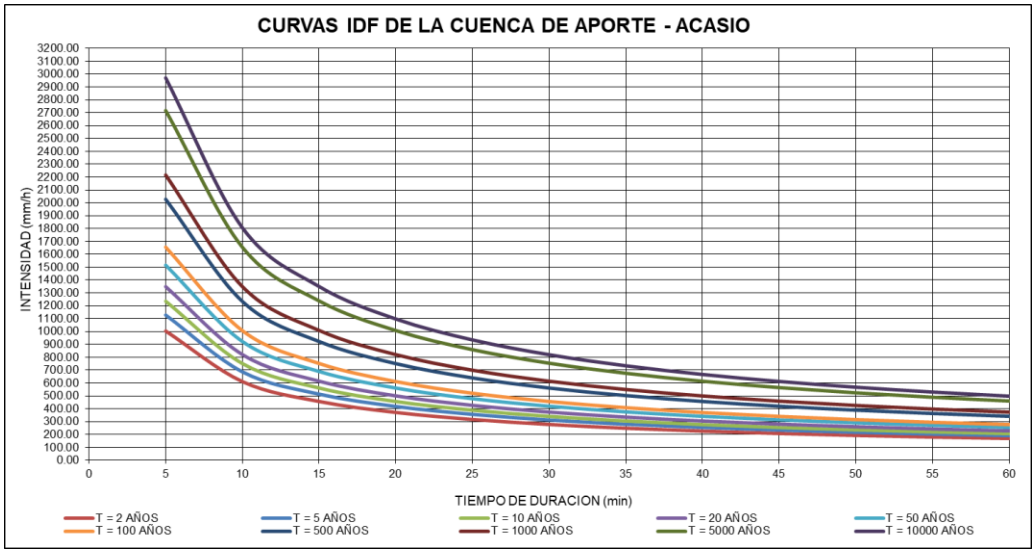
Tabla de Intensidades, Duración y Frecuencia

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia Años	**Duración en minutos**											
	5	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**	**60**
2	1006	612	458	372	317	278	249	227	208	193	180	169
5	1130	688	514	418	356	313	280	255	234	217	203	190
10	1234	751	561	457	389	342	306	278	255	237	221	208
20	1348	820	613	499	425	373	334	304	279	259	242	227
50	1514	921	689	561	478	419	375	341	313	291	271	255
100	1654	1006	752	612	522	458	410	372	342	317	296	279
500	2029	1235	923	751	640	562	503	457	420	389	364	342
1000	2216	1348	1008	820	699	613	549	499	459	425	397	373
5000	2719	1654	1237	1006	858	753	674	612	563	522	487	458
10000	2969	1807	1351	1099	937	822	736	669	615	570	532	500

Se considero periodos de retorno de 100, 500 y 1000 años para el estudio en específico, sin embargo, aquí se muestran periodos de retorno de 2 a 10000 años que pueden ser de utilidad para estudios posteriores.

Figura 7

Curvas IDF de la Cuenca de Aporte



Simulación hidrológica de la subcuenca

Los resultados de la modelación hidrológica proporcionaron hidrogramas para diferentes escenarios de precipitación, mostrando la variación del caudal a lo largo del tiempo (Figura 8, 9 y 10). Estos resultados permitieron desarrollar planes de gestión de inundaciones, identificar áreas prioritarias para la construcción de infraestructuras de control de inundaciones y apoyar la planificación urbana y territorial. Además, los caudales de diseño obtenidos como se muestran en la tabla 20 se pueden utilizar para dimensionar estructuras hidráulicas, garantizando su capacidad para manejar eventos extremos de precipitación.

Figura 8

Tránsito de Caudales para 100 Años de Periodo de Retorno

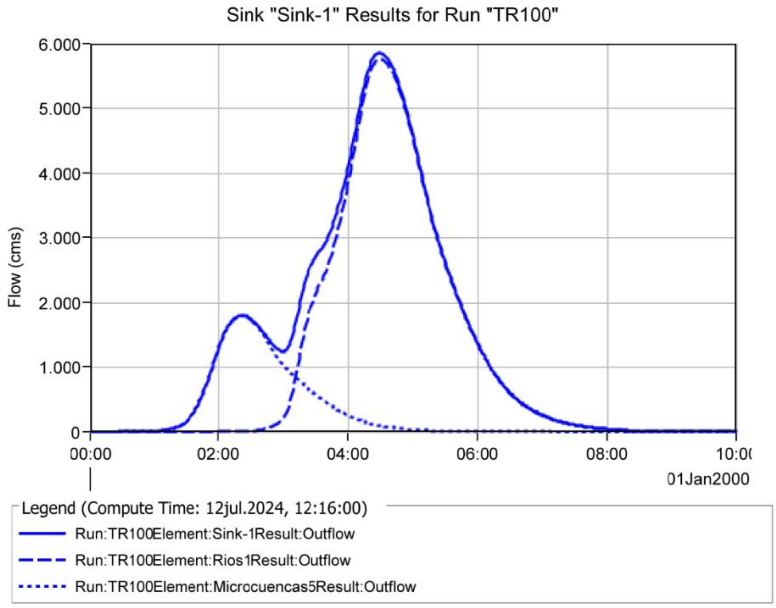


Figura 9

Tránsito de Caudales para 500 Años de Periodo de Retorno

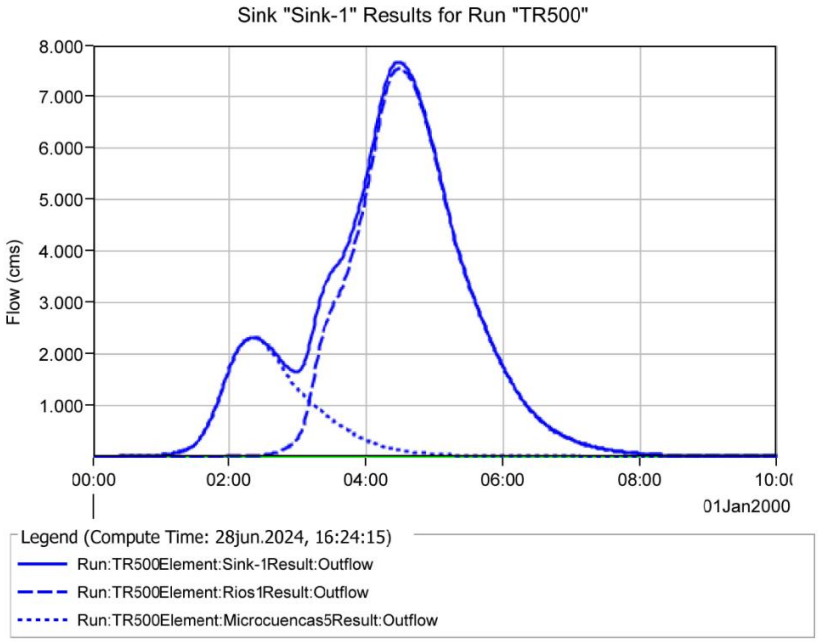
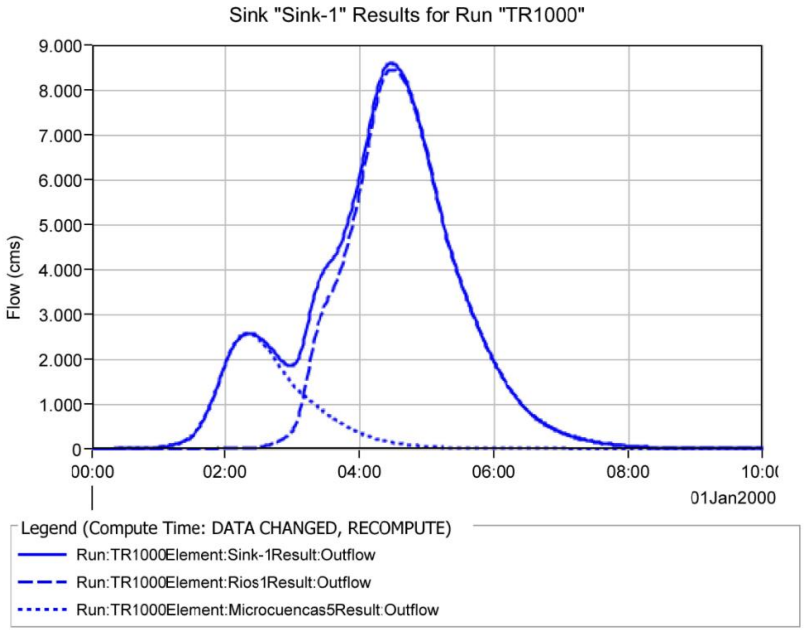


Figura 10

Tránsito de Caudales para 1000 Años de Periodo de Retorno



Se puede observar que la respuesta hidrológica de la cuenca frente a eventos de precipitación extrema tuvo un comportamiento exponencial al analizar los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, como 100, 500 y 1000 años. A media que aumenta la intensidad y duración de la tormenta, se notó un aumento en la escorrentía superficial. Estos datos fueron esenciales para el análisis hidráulico de inundación.

Tabla 20

Caudales Máximos para la Subcuenca Poza Honda para cada Periodo de Retorno

Periodo de Retorno	**Caudal**
Años	**m^3/s**
100	5854.4
500	7671.8
1000	8586.7

Análisis e Interpretación del Estudio Hidráulico

Rotura de presa

Partimos de la base del modelo digital de elevación (DEM), en este caso de 4x4 del área de la zona del estudio que es Poza Honda. Ajustamos el modelo en HEC-RAS y lo determinamos en función a la zona de inundabilidad de la presa haciendo uso de las herramientas 2D Flow Areas y SA/2D Connections.

En HEC-RAS se definió los parámetros hidrológicos en este caso el histograma de rotura del punto máximo mediante el tiempo de concentración de Kirpich, y cada uno de los parámetros morfométricos, que se tuvieron en cuenta como el número de curvas que es la clasificación de uso de suelo, la metodología del SCS y coeficiente de Manning. Al ingresar todos los parámetros respecto a la simulación hacemos correr el modelo y obtenemos nuestros mapas tanto de profundidades, velocidades y cotas de lámina de agua, identificando las zonas más vulnerables.

Embalse

Se definió el embalse en función al volumen que está registrado en la documentación existente y también se utilizó el modelo digital de elevación para usar como guía de base. Se aplicó el volumen a lo establecido por la información de la presa y ese volumen no se redujo fácilmente por la precipitación y la ruptura. Se definió la ruptura y el caudal que se liberarálos nive justamente cuando se generara la rotura de este fenómeno extremo. (Ver en la sección de anexo figura 14)

Área de inundación

Se realizó un mallado de 50 por 50 m para un refinado del ajuste de la grilla de la zona de inundación. Se definieron los parámetros de inicio aguas arriba, final aguas abajo, entrada del

caudal y de la salida, en este caso se usó el caudal para un tiempo de retorno de 100 años. Además, la sección puntual desde el inicio de la presa hasta finalizar el casco urbano de Portoviejo. (Ver en la sección de anexo figura 15)

Edificación de la presa

Se analizó la edificación para un evento máximo con una rotura completa que se genera en el punto más crítico, donde se realizó la configuración de la estructura en base a los datos existentes para el dimensionamiento adecuado de la presa, siendo la presa la conexión entre el embalse y la zona de inundación. (Ver en la sección de anexo figura 16)

Simulación hidráulica

Los resultados obtenidos permiten visualizar el impacto potencial que tendría la rotura de la presa Poza Honda sobre el casco urbano de Portoviejo. La simulación hidráulica y hidrológica reveló que, en el peor de los escenarios un caudal de 5854.4 m^3/s, un área de aproximadamente 1944.17 hectáreas (ha) sería afectada por inundaciones, lo que representa el 37.75% del área total del casco urbano.

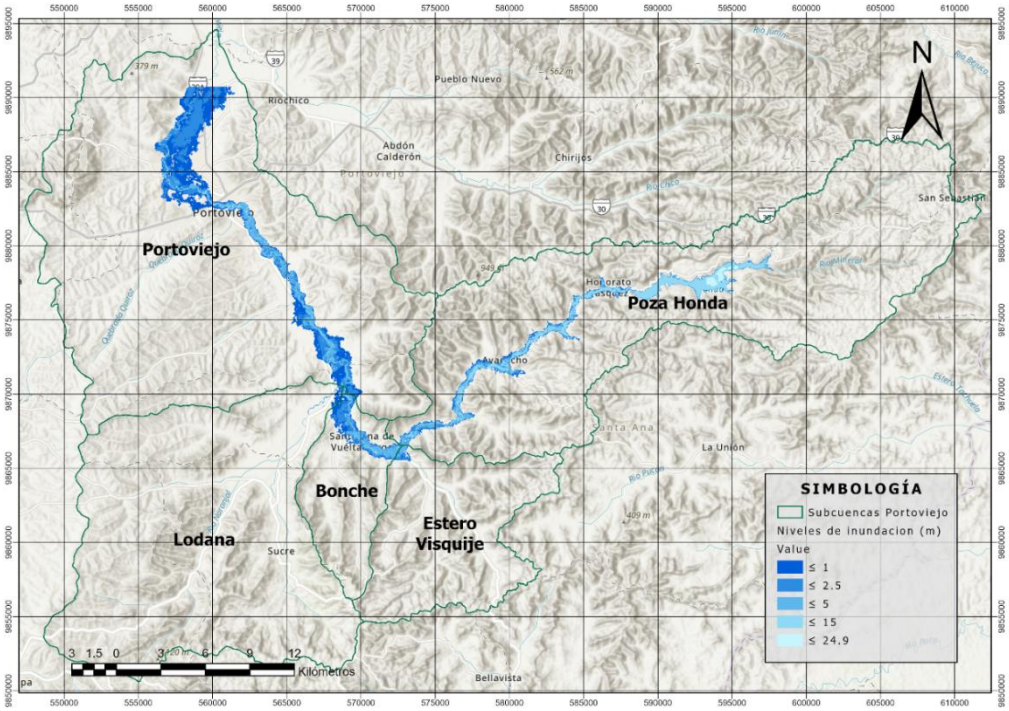
Las profundidades máximas del agua, que alcanzan hasta 10.58 metros, señalan que ciertas áreas, especialmente aquellas con infraestructuras críticas como hospitales e instituciones gubernamentales, estarían en riesgo severo. Adicionalmente, las velocidades máximas de 3.13 ms sugieren que la fuerza del flujo podría causar daños considerables a edificios y otras infraestructuras en las zonas afectadas.

La identificación de las cotas de la lámina de agua, con una máxima de m.s.n.m., refuerza la idea de que, en caso de una rotura, las áreas urbanas más bajas estarían expuestas a graves

inundaciones. Estos hallazgos destacan la necesidad de implementar planes de mitigación y respuestas rápidas ante emergencias, dada la alta vulnerabilidad de la zona estudiada.

Figura 11

Mapa de la Zona de Afectación



Profundidad del agua

Como se puede apreciar en la figura 8, la zona afectada es de 1944.17 ha equivalente a un 37.49 % del área total del casco urbano. La parroquia 18 de Octubre es la mayormente afectada, con un 48.50% del área total de inundación y la parroquia San Pablo no presenta ninguna afectación debido a su topografía accidentada. En los anexos se observan los mapas específicos para cada parroquia del casco urbano.

- La profundidad que se registró al inicio del casco urbano en la simulación es de 10 m en un tiempo de 13 minutos 44 segundos 00 milisegundos a la altura de la calle 13 de diciembre y Portoviejo en la parroquia Colón. (Ver en la sección de anexos figura 26)
- La profundidad que se registró a la mitad del casco urbano en la simulación es de 9.21 m en un tiempo de 16 minutos 22 segundos 00 milisegundos a la altura del puente Mamey, en la calle Francisco Pacheco y Sucre en la parroquia Andrés de vera. (Ver en la sección de anexos figura 27)
- La profundidad que se registró al final del casco urbano en la simulación es de 3.34 m en un tiempo de 20 minutos 01 segundos 00 milisegundos a la altura del puente Mejía, en la carretera E39A en la parroquia Picoazá. (Ver en la sección de anexos figura 28)

Figura 12

Mapa de Profundidades de Inundación

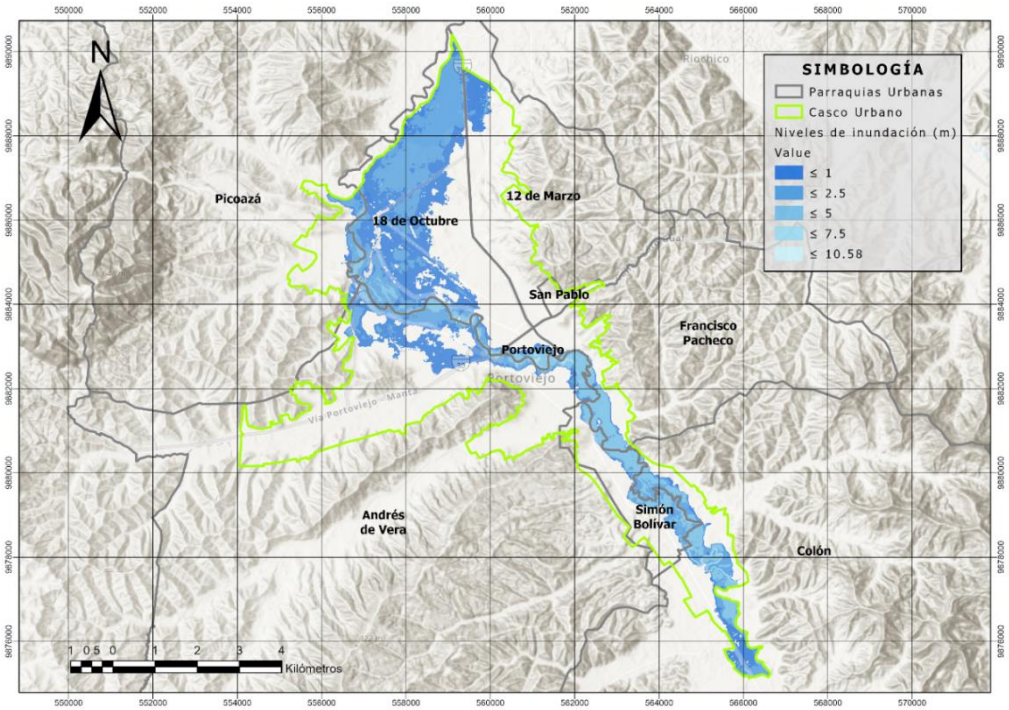


Tabla 21

Zona de Afectación

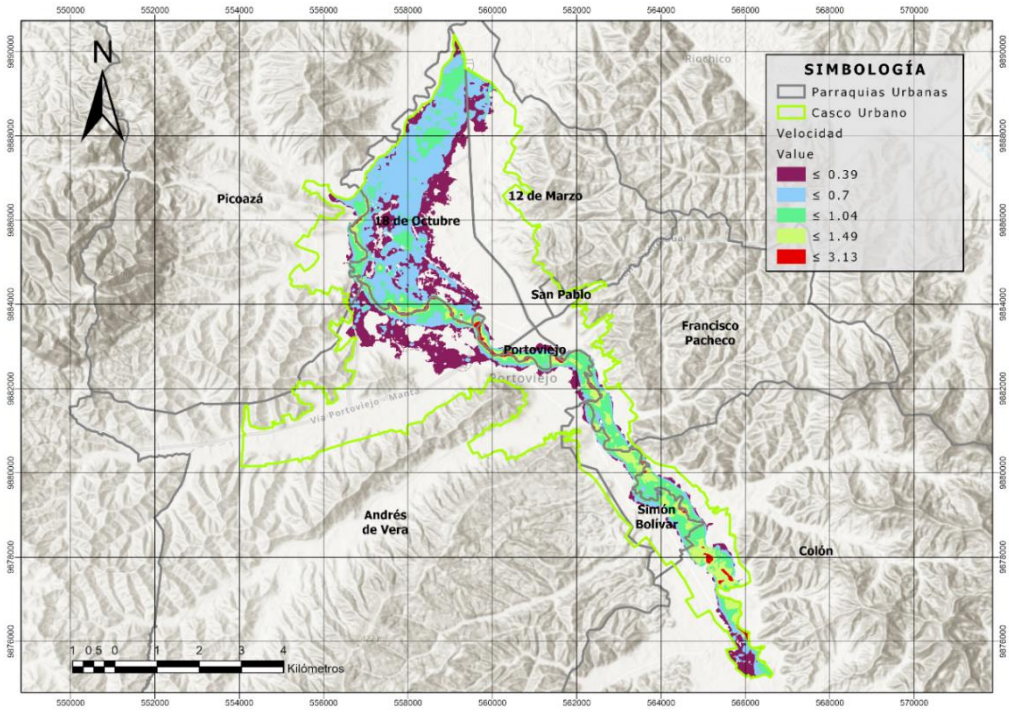
Zona de afectación			
Parroquias	**Área (km)**	**Área (ha)**	**%**
Picoazá	636116.14	63.61	3.27
18 de Octubre	9429041.57	942.90	48.50
12 de Marzo	680571.26	68.06	3.50
Andrés de Vera	3558993.08	355.90	18.31
Portoviejo	376918.29	37.69	1.94
San Pablo	0.00	0.00	0.00
Francisco Pacheco	844622.24	84.46	4.34
Simón Bolívar	1262091.21	126.21	6.49
Colón	2653323.46	265.33	13.65

Velocidad del agua

- La velocidad que se registró al inicio del casco urbano en la simulación fue de 1.12 m/s en un tiempo de 09 minutos 34 segundos 00 milisegundos a la altura de la calle 13 de diciembre y Portoviejo en la parroquia Colón. (Ver en la sección de anexos figura 29)
- La velocidad que se registró a la mitad del casco urbano en la simulación es de 1.21 m/s en un tiempo de 13 minutos 34 segundos 00 milisegundos a la altura del puente Mamey, en la calle Francisco Pacheco y Sucre en la parroquia Andrés de Vera. (Ver en la sección de anexos figura 30)
- La velocidad que se registró al final del casco urbano en la simulación es de 1.01 m/s en un tiempo de 18 minutos 39 segundos 00 milisegundos a la altura del puente Mejía, en la carretera E39A en la parroquia Picoazá. (Ver en la sección de anexos figura 31)

Figura 13

Mapa de Velocidades de Inundación



Cotas de Lámina de agua

- La cota de lámina de agua que se registró al inicio del casco urbano en la simulación fue de 50.61 m.s.n.m. en un tiempo de 13 minutos 31 segundos 00 milisegundos a la altura de la calle 13 de diciembre y Portoviejo en la parroquia Colón. (Ver en la sección de anexos figura 32)
- La cota de lámina de agua que se registró a la mitad del casco urbano en la simulación es de 41.65 m.s.n.m. en un tiempo de 16 minutos 41 segundos 00 milisegundos a la altura del puente Mamey, en la calle Francisco Pacheco y Sucre en la parroquia Andrés de Vera. (Ver en la sección de anexos figura 33)

- La cota de lámina de agua que se registró al final del casco urbano en la simulación es de 29.34 m.s.n.m. en un tiempo de 19 minutos 42 segundos 00 milisegundos a la altura del puente Mejía, en la carretera E39A en la parroquia Picoazá. (Ver en la sección de anexos figura 34)

Figura 14

Mapa de Cotas de Láminas de Agua de Inundación

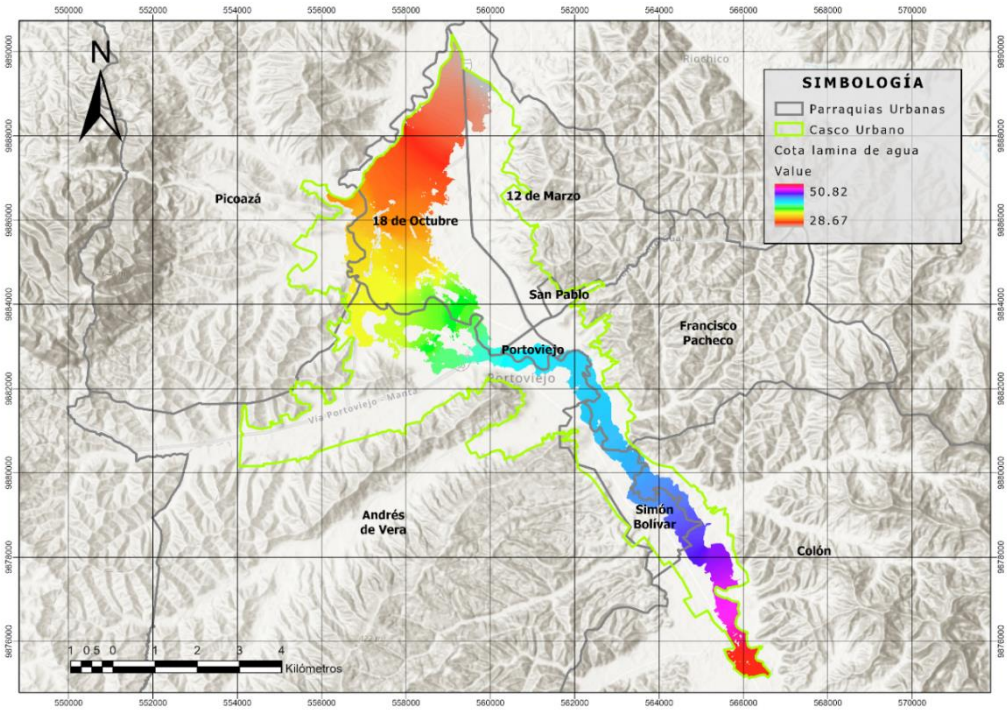


Tabla 22

Resumen de Resultados

Parámetros			
Análisis del casco urbano	**Velocidad**	**Profundidad**	**Cota**
	m/s	**m**	**m.s.n.m.**
Zona inicial	1.12	10	50.61
Zona media	1.21	9.21	41.65
Zona final	1.01	3.34	29.34

Discusión

Los resultados de este estudio destacan la relevancia de recopilar información geográfica, hidráulica e hidrológica, combinada con el desarrollo de modelos precisos, para identificar áreas de riesgo ante eventos catastróficos como la rotura de la presa Poza Honda; la integración de datos de la estación meteorológica La Teodomira y el uso de modelos digitales de elevación (DEM) con una resolución de 4x4 pixeles resultaron fundamentales para caracterizar las microcuencas de la región e identificar los caudales máximos para periodos de retorno de 100, 500 y 1000 años. Sin embargo, es importante considerar que la resolución del DEM podría limitar la precisión del análisis en áreas de topografía compleja, una limitación también observada en los estudios de Prieto et al. (2017) sobre la rotura de la presa Vega de Tera.

El modelo HEC-RAS se configuró para simular el impacto de la rotura de la presa utilizando las ecuaciones de Saint Venant. Los resultados indican un caudal máximo de 5854.4 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años, afectando un 37.75% del casco urbano de Portoviejo. Comparado con Castro y Bailón (2023), quienes estudiaron el mismo evento hasta el cantón Santa Ana, este modelo demostró una mayor capacidad para identificar zonas específicas de inundación gracias al refinamiento de los parámetros hidráulicos. Sin embargo, al igual que en el trabajo de Vera et al. (2019), se recomienda una validación adicional mediante estudios de campo.

El análisis reveló que la parroquia 18 de Octubre sería la más afectada, con un 48.50% del área total inundada. Este patrón coincide con observaciones previas de Menéndez et al. (2023) sobre la vulnerabilidad de áreas urbanas en zonas planas de Manabí. Además, la profundidad máxima de 10.58 m y las velocidades de hasta 3.13 m/s indican un alto potencial de

daño a infraestructuras críticas como hospitales y edificios gubernamentales. En comparación con eventos históricos, como el colapso de la presa Banqiao en China (Yi, 2012), los resultados destacan la necesidad de planes de mitigación y alerta temprana para evitar pérdidas humanas y económicas significativas.

Aunque el modelo utilizado presenta una sólida capacidad predictiva, su precisión podría mejorarse mediante la integración de datos más detallados sobre el uso del suelo y la permeabilidad. Similar a las recomendaciones de Duque et al. (2019), se sugiere complementar este enfoque con sensores remotos y análisis en tiempo real, tomando en cuenta los hallazgos de Pinto y Prehn (2023) sobre medidas de mitigación en cuencas ecuatorianas.

Conclusión

Al recopilar información clave sobre precipitaciones, topografía y suelos mediante herramientas como ArcGIS Pro y modelos digitales de elevación (DEM) con resolución de 4x4, lo que permitió caracterizar las microcuencas y realizar simulaciones hidrológicas. Los resultados obtenidos no solo sirven como base para la planificación urbana y la gestión de emergencias, sino que también subrayan la importancia de implementar medidas preventivas y de mitigación para proteger a la población y sus bienes.

La simulación y análisis del impacto ante una posible rotura de la presa Poza Honda se implemento en el modelo de HEC-RAS. A través del software se obtuvieron los resultados demostraron que un caudal máximo de 5854.4 m^3/s podría inundar una superficie de 1944.17 hectáreas, con una profundidad máxima de 10.58 metros y velocidades de hasta 3.13 m/s. Este análisis ha evidenciado la vulnerabilidad del área urbana ante eventos hidrometeorológicos, subrayando la importancia de contar con un sistema de gestión del riesgo adecuado.

La simulación hidráulica permitió identificar que la todas las parroquias urbanas excepto San Pablo no sufren daños de inundación, mientras que la parroquia18 de Octubre sería la más afectada, con un 48.50% del área total inundada. Estas estimaciones resaltan las zonas urbanas más vulnerables y proporcionan una base sólida para la planificación de medidas de mitigación y sistemas de alerta temprana.

Recomendaciones

Obtener una topografía detallada de la presa permitirá introducir la estructura con mayor exactitud en el software HEC-RAS y lograr una mayor precisión en la simulación hidráulica.

Incorporar los hallazgos de esta investigación en las políticas de planificación y desarrollo urbano por parte de las autoridades locales y regionales, así como en la elaboración de planes de contingencia ante posibles eventos de inundación.

Desarrollar sistemas de alerta temprana más eficientes, que permitan a las autoridades y a la población reaccionar a tiempo en caso de posibles eventos de inundación o una posible rotura de la presa, salvando vidas y reduciendo pérdidas materiales.

Mejorar los sistemas de monitoreo y mantenimiento de la presa Poza Honda para garantizar que la infraestructura se mantenga en condiciones óptimas y que los sistemas de alerta temprana sean efectivos ante un riesgo inminente de rotura.

Construir infraestructuras de control de inundaciones, como diques y canales de desvío, para reducir el impacto de una posible rotura de la presa Poza Honda. Estas estructuras ayudarán a controlar el flujo del agua y mitigar los daños en áreas vulnerables.

Referencias Bibliográficas

Aguilera, A. (2007). *Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del maule.* Universidad de TALCA , Facultad de Ciencias Forestales , Talca . http://desarrollo.utalca.cl/temporal/ctha/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/aguilera_a.pdf

Balbastre, R. (2018). *Análisis comparativo de metodologías de cálculo de tormentas de diseño para su aplicación en hidrología urbana.* Universitat Politècnica de València. Valencia: Universitat Politècnica de València. http://hdl.handle.net/10251/100090

Bazzano, F., García, C., Guillen, N., Caamaño, G., Baraquet, M., y Catalin, C. (2018). Estimación de la precipitación diaria máxima probable en Argentina. *XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidraulica* , 1-2. https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_231.pdf

Burbano, N., Becerra, S., y Pasquel, E. (Agosto de 2015). *Introducción a la hidrogeología del Ecuador.* https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/HIDROGEOLOGIA_2%20EDICION_2014.pdf

Caballero, I., Menéndez, C., Guerra, J. C., y Guerrero, M. (2016). Ánalisis de la calidad del agua: represa Poza Honda. *Revista Riemat, 1*(2), 1-3.

Cahuana, A., y Weimar, Y. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología.* Universidad Mayor de San Simon , Faculta de Ciencias y Tecnologia , Cochabamba.

Cardona, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.* Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/4482

Castro, K., y Bailón, E. (2023). *Simulación hidráulica e hidrológica de la rotura de la presa Poza Honda [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Catolica del Ecuador Sede Manabí].* Repositorio Institucional PUCESM, Portoviejo. http://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/1234

Córdova, P., Barrios, T., Zuzunaga, R., Córdova, I., Pardo, E., y Zuzunaga, E. (2022). *Analisis hidráulico del flujo de cuencas naturales y canales artificiales mediante el programa hec-ras.* Guayaquil: CIDE Editorial.

Diaz, Á., y Mercado, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. *35*(2).

Duque, P., Patiño, D., y López, X. (Dic de 2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información Tecnológica, 30*(6), 351-362. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600351

Duran, F., Pons, J., y Serrano, M. (2020). ¿Qué es un río urbano? Propuesta metodológica para su delimitación en España. *ACE: Architecture, City and Environmet, 15*(44), 1-30. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5821/ace.15.44.9035

Fernández, B., y Monterroso, J. (2023). Vega de Tera: tragedia, patrimonio, leyenda y memoria en el fondo de un pantano. *Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural, 36*, 1-21. https://doi.org/https://doi.org/10.11144/Javeriana.apu36.vttp

García, A. (2013). *Análisis de distribuciones estadísticas alternativas a las tradicionales para la optimización de los caudales de cálculo empleados en los estudios hidrológicos.* Tesis doctoral, Universidad de Extremadura Escuela de Ingenierias Industriales, Departamento de Expresion Grafica.

Giraldo, C., y Anchundia, A. (10 de Diciembre de 2021). Evaluación de zona urbana educativa ante amenazas de riesgo. *Revista Riemat Julio, VI*(2). https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/download/4289/4111/15795

Guastay, W., y Llanes, E. (2020). El uso de la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. *Universidad, Ciencia y Tecnología, 24*(104), 28-35.

Ibáñez, A., Moreno, H., y Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas.* Universidad Politecnica de Valencia: https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfología%20de%20una%20cuenca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Instituto Nacional de Meteorológia e Hidrológia. (2017). *Anuario Meteorológico.* https://drive.google.com/file/d/1mroZYqKlyNjouAj0nlGD75AO9vDkhNYS/view.

Mendoza, H., y González, M. (2017). *Evaluación hidrológica e hidráulica mediante la aplicación de modelos, del puente la zompopera, pantasma.* Universidad Nacional de Ingenieria, Facultad de Tecnología de la Construcción, Managua. https://core.ac.uk/download/pdf/250145871.pdf

Menéndez, G., García, J., y Reyna, A. (2023). Vulnerabilidad sísmica en edificaciones de la ciudad de Portoviejo. *Revista Científica y Tecnológica InGenio, 6*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i1.565

Mera, J., y Baque, B. (2020). *Composición y estructura arbórea del bosque de ribera en la parte alta de la represa Poza Honda [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]*. Repositorio Institucional, Jipijapa. https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2654/1/TESIS%20JENNI.pdf

Mullem, J., y Woodward, D. (2016). Runoff curve number method: beyond the handbook. https://www.maserconsulting.com/wp-content/uploads/2016/09/3-CN-the-Handbook.pdf

Nunez, C. (Abril de 2020). *¿Qué son las inundaciones?* National Geographic: https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/inundaciones

Parlamento Europeo. (18 de Julio de 2000). *Directiva 2000 / CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.* Unión Europea: https://www.copate.cat/sites/default/files/2021-07/Directiva%202000-60-CE%20%28Direc%20Marc%20de%20l%27Aigua%29.pdf

Pinto, C., y Prehn, C. (2023). Análisis de la cuenca del Río Portoviejo y el plan de contingencia ante el fenómeno de el niño. *Ciencia Latina*. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5327

Prieto, J., Alegría, R., Taboada, J., Montequi, I., y Sanz, G. (2017). Rotura de la presa de Vega de Tera, simulación hidráulica de la propagación de la avenida (Zamora, España). *DYNA, 84*(203), 45-54. https://doi.org/ https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.60544

Ramirez, A. (2011). La seguridad de presas desde la perspectiva hidrológica. Conferencia Enzo Levi 2010. *Tecnología y Ciencias del Agua, 2*(2), 154-173. https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531973010.pdf

Reyes, N., Aguila, R., Rodríguez, G., Enríquez, J., y Hidalgo, E. (Junio de 2015). Caracterización biológica-morfológica de una cuenca hidrológica de Oaxaca. *Revista*

Electrónica de Divulgación de la Investigación, 9. https://www.researchgate.net/publication/279963593_Caracterizacion_biologica-morfologica_de_una_cuenca_hidrologica_de_Oaxaca

Sánchez, J. (2022). *Hidrología Superficial y Subterránea* (Segunda ed.). Salamanca, España: Kindle Direct Publishing.

Segura, L., y Casasola, R. (2011). *Modelación hidráulica para el análisis y propuesta de obras de mitigación de inundaciones en finca valle la estrella.* Tesis de Masterado, Insituto Tecnologico de Costa Rica, Área Academica Agroforestal.

Toapaxi, J., y Acero, A. (2021). Análisis de Inundación por Rotura de Presa Utilizando el Modelo HEC-RAS 2D: Caso de Estudio de la Presa Mulacorral, Provincia de Tungurahua, Ecuador. *Revista Politécnica, 48*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.33333/rp.vol48n1.05

Vera, P., Ortega, P., Casa, E., Santamaría, J., y Hidalgo, X. (2019). Modelación numérica y mapas de afectación por flujo de lahares primarios en el drenaje sur del volcán Cotopaxi. *Revista Politécnica, 43*(1), 97-110.

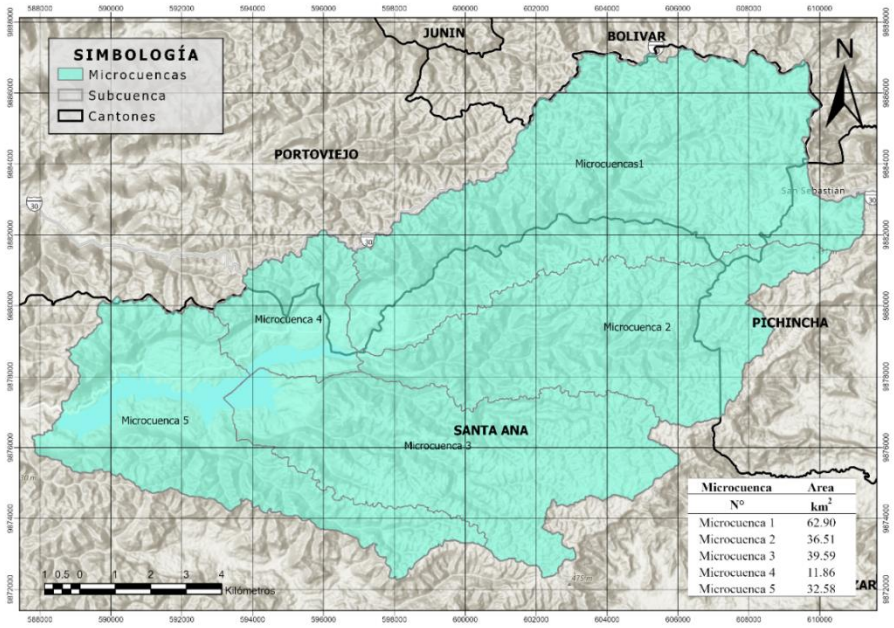
Villao, A., y Cabrera, E. (2021). Cuantificación de procesos erosivos en la Cuenca Portoviejo, propuesta para un modelo de gestión. *Revista Cientifica Dominio de las Ciencias, 7*(5), 5-13. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i5.2287

Yi, H. (2012). The Banqiao Dam Failure: Causes and Consequences. *Journal of Hydrology and Hydrodynamics, 45*(2), 123-135.

Anexos

Figura 15

Mapa de las Microcuencas



Microcuenca N°	Area km²
Microcuenca 1	62.90
Microcuenca 2	36.51
Microcuenca 3	39.59
Microcuenca 4	11.86
Microcuenca 5	32.58

Figura 16

Mapa de la Cobertura Vegetal de las Microcuencas

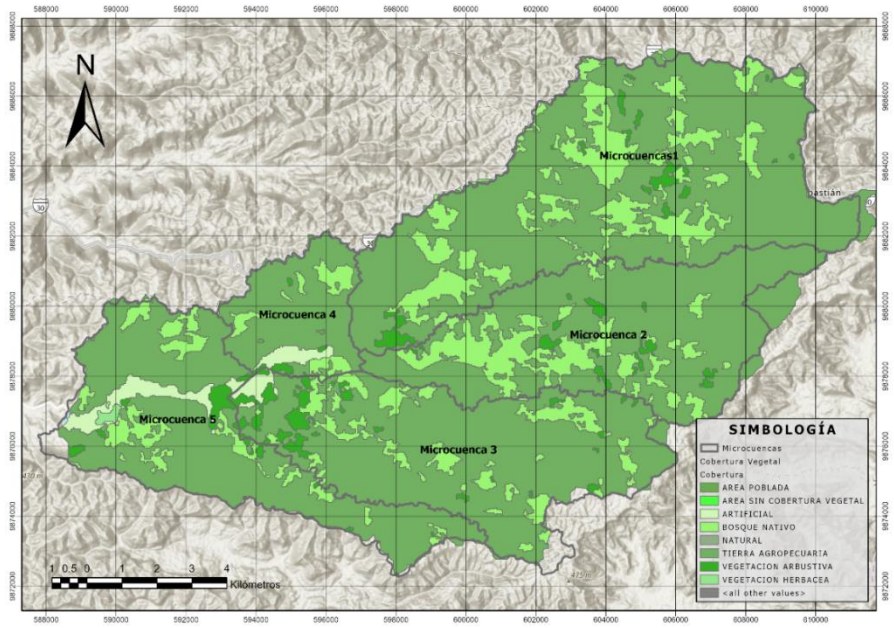


Figura 17

Mapa de la Textura de Suelo de las Microcuencas

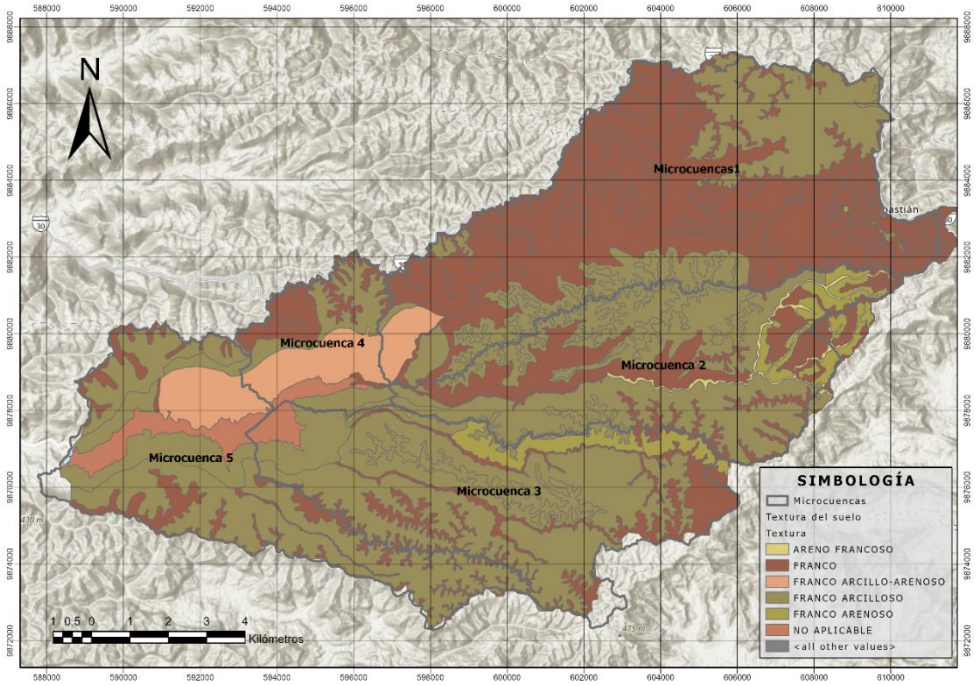


Figura 18

Embalse

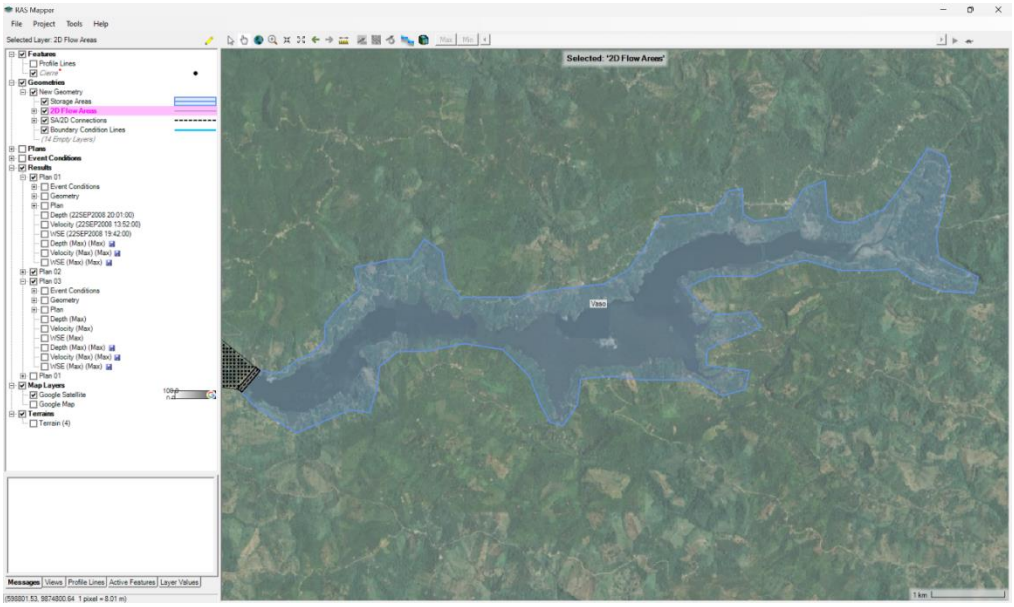


Figura 19

Área de Inundación

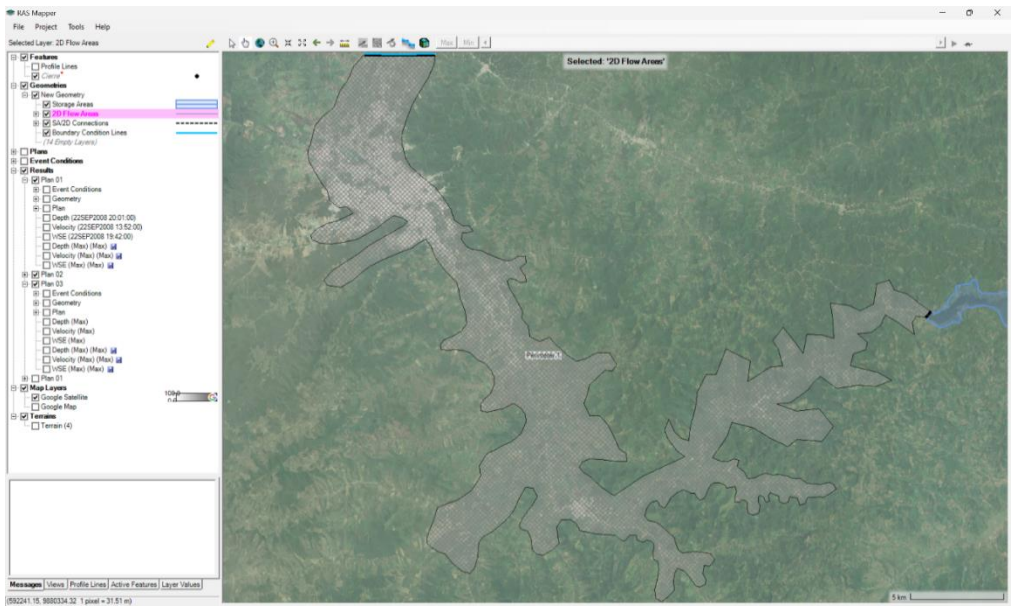


Figura 20

Edificación de la Presa

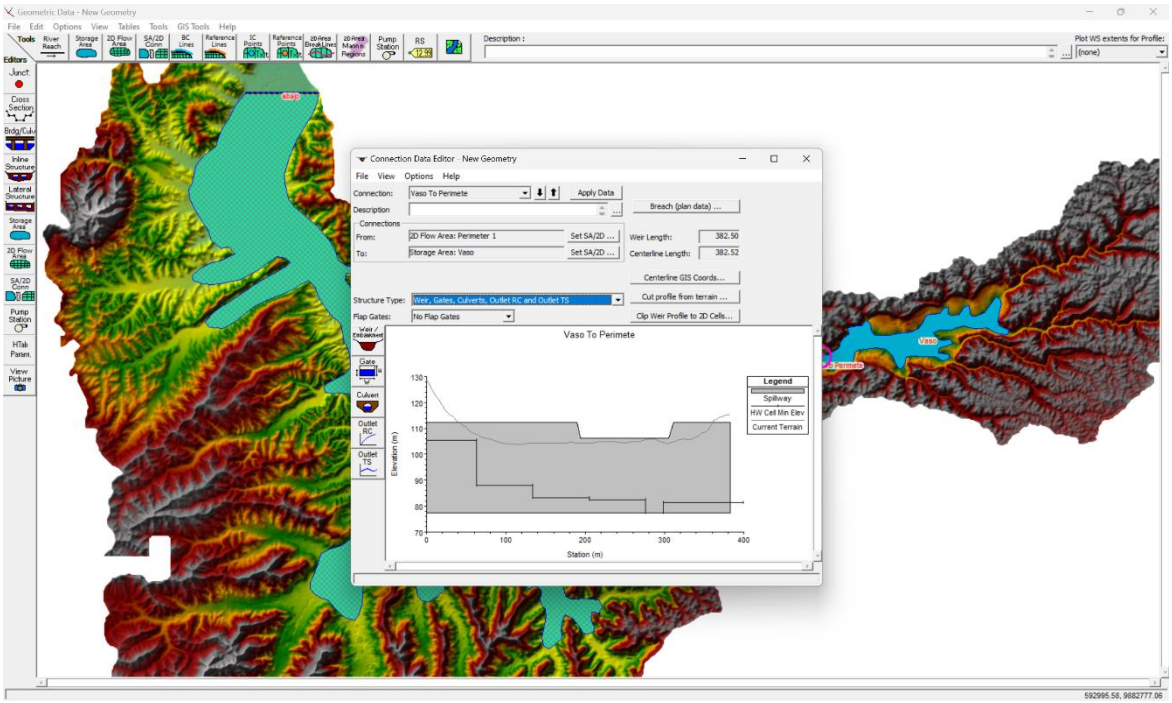
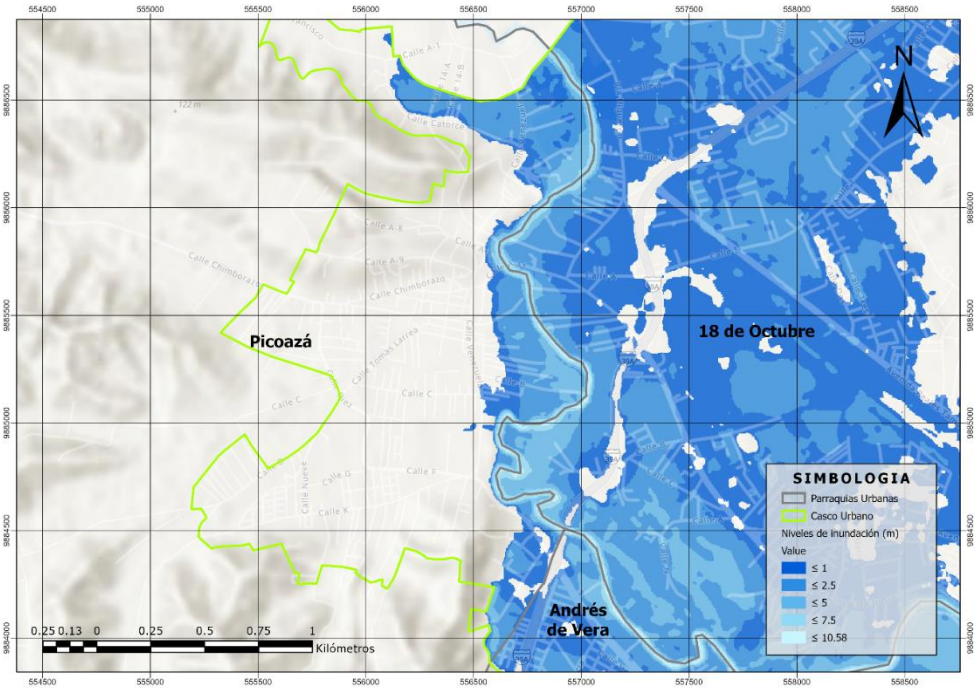


Figura 21

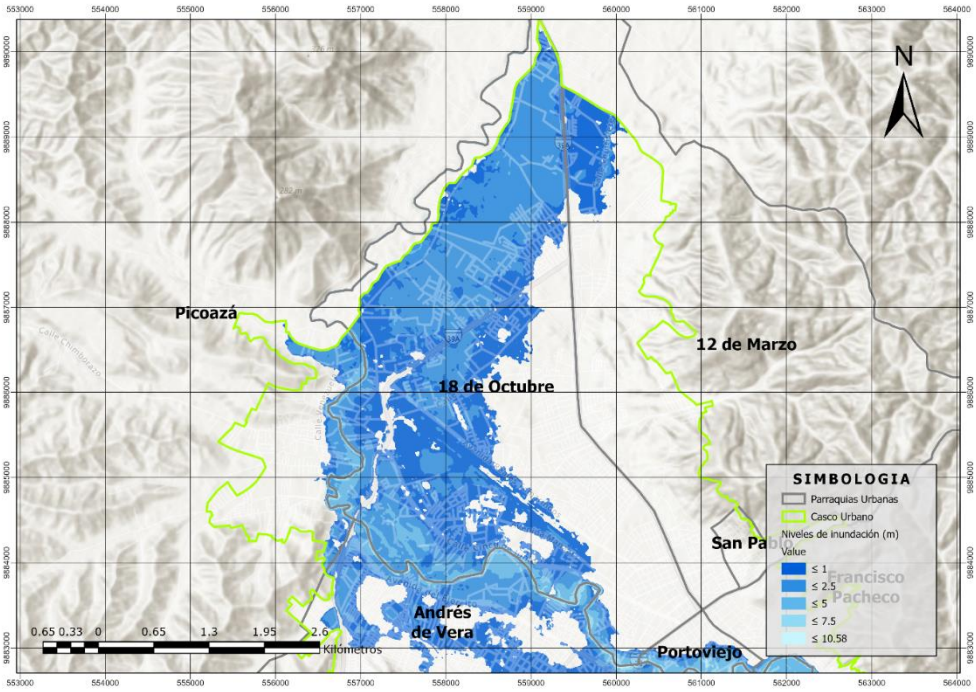
Mapa de Afectación de la Parroquia Picoazá



Nota: El área afectada abarca 63.61 ha, lo que representa 3.27% del total, equivalente a 0.66% del área total de la parroquia Picoazá. La zona afectada se extiende desde la autopista Manabí Guillen y al oeste del rio Portoviejo, llegando hasta la altura de las calles Venezuela, Sucre y Catorce, afectando infraestructuras comerciales, educativas, religiosas, deportivas y habitacionales. Los niveles de agua fluctúan entre 0.1 m y 7.92 m, siendo el nivel más elevado en el eje del rio.

Figura 22

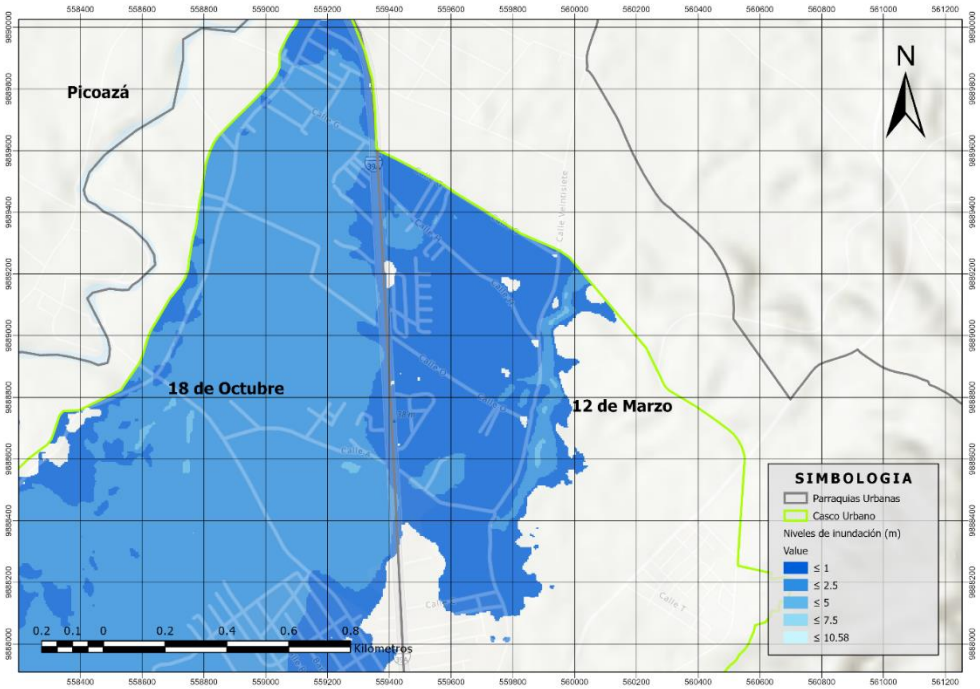
Mapa de Afectación de la Parroquia 18 de Octubre



Nota: El área afectada abarca 942.90 ha, lo que representa 48.50% del total, equivalente a 60.84% del área total de la parroquia 18 de Octubre. La zona afectada se extiende desde el norte y este del rio Portoviejo como se aprecia en el mapa, llegando hasta la altura de las calles 27 de febrero, Córdova, Robles, avenida Reales Tamarindos, calle A, Rotaria, autopista vía Crucita, afectando infraestructuras médicas, gubernamentales, comerciales, educativas, religiosas, deportivas y habitacionales. Los niveles de agua fluctúan entre 0.1 m y 10.10 m, siendo el nivel más elevado en el eje del rio. Sectores afectados: Centro de rehabilitación, hospital general Portoviejo IES, Corporación nacional de telecomunicaciones, planta de tratamiento de agua residual, centro de salud, clínicas, contraloría general del estado, Registro civil.

Figura 23

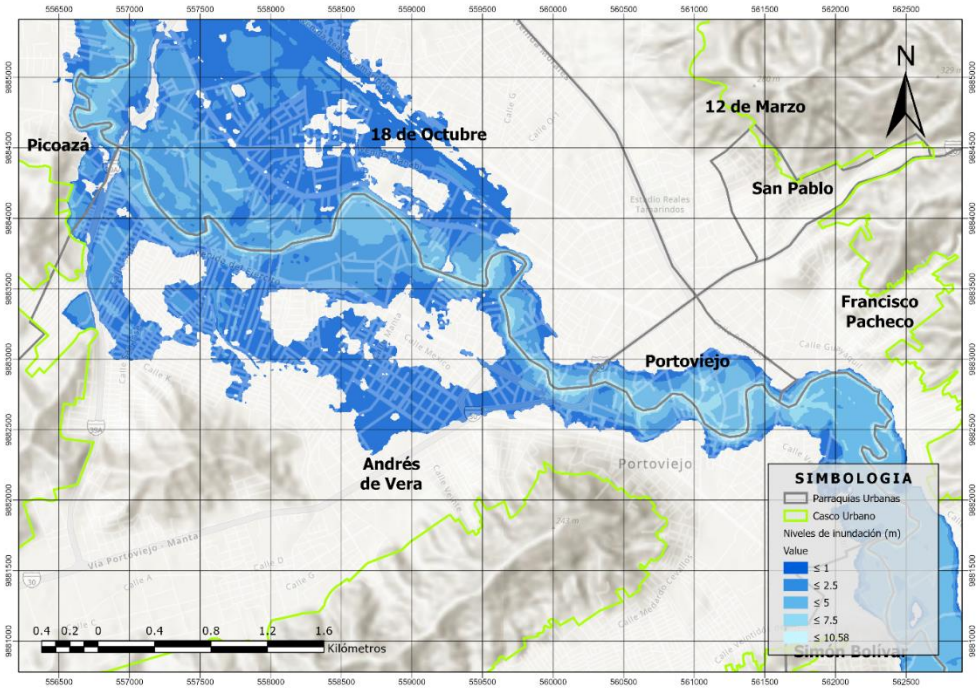
Mapa de Afectación de la Parroquia 12 de Marzo



Nota: El área afectada abarca 68.06 ha, lo que representa 3.50% del total, equivalente a 3.85% del área total de la parroquia 12 de Marzo. La zona afectada se extiende desde la autopista vía Crucita, llegando hasta la altura de las calles C y Veintisiete, afectando infraestructuras comerciales, deportivas y habitacionales. Los niveles de agua fluctúan entre 0.1 m y 2.97 m, siendo el nivel más elevado en el eje del rio.

Figura 24

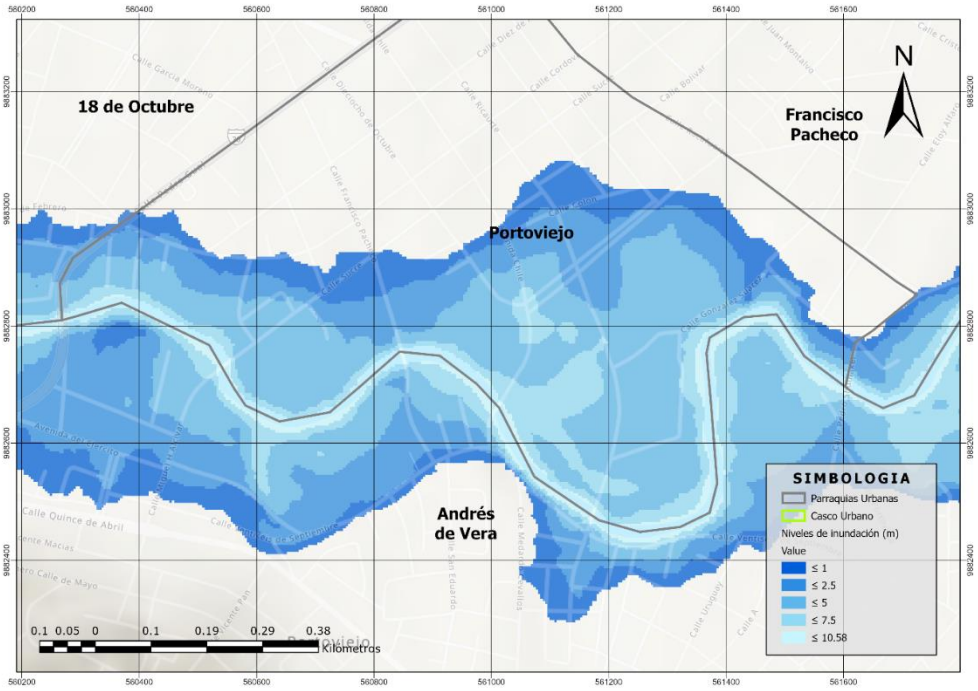
Mapa de Afectación de la Parroquia Andrés de Vera



Nota: El área afectada abarca 355.90 ha, lo que representa 18.31% del total, equivalente a 3.00% del área total de la parroquia Andrés de Vera. La zona afectada se extiende desde el sur del rio Portoviejo, llegando hasta la altura de las calles 26 de Septiembre, 15 de abril, R, S y K, afectando infraestructuras médicas, gubernamentales, comerciales, educativas, religiosas, deportivas y habitacionales. Los niveles de agua fluctúan entre 0.1 m y 10.58 m, siendo el nivel más elevado en el eje del rio.

Figura 25

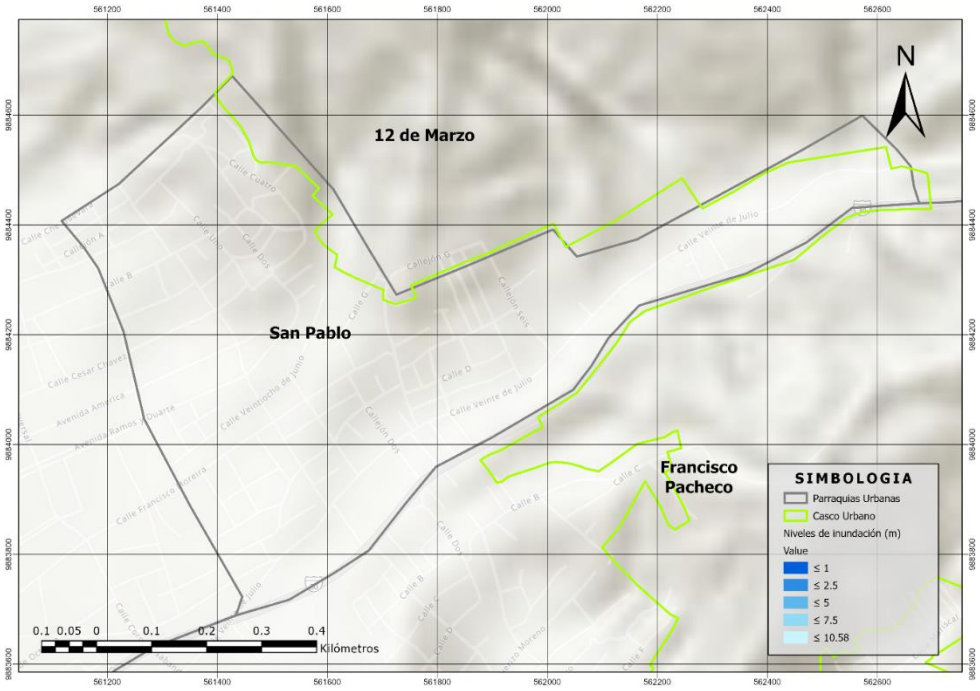
Mapa de Afectación de la Parroquia Portoviejo



Nota: El área afectada abarca 37.69 ha, lo que representa 1.94% del total, equivalente a 56.22% del área total de la parroquia Portoviejo. La zona afectada se extiende desde el norte del rio Portoviejo, llegando hasta la altura de las calles Córdova, Sucre y Colón, afectando infraestructuras gubernamentales, comerciales, religiosas, y habitacionales. Los niveles de agua fluctúan entre 0.1 m y 10.31 m, siendo el nivel más elevado en el eje del rio.

Figura 26

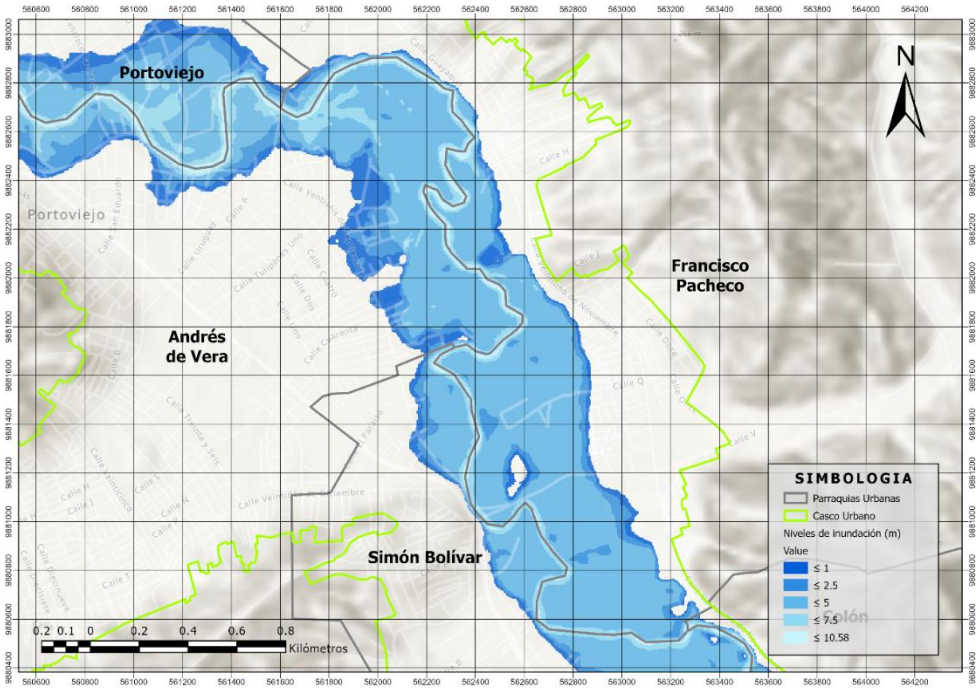
Mapa de Afectación de la Parroquia San Pablo



Nota: La parroquia San Pablo es uno de los lugares seguros frente a inundaciones por su accidentada topografía favorable en comparación con las otras áreas, lo que facilita el escurrimiento del agua y evita la acumulación en zonas bajas.

Figura 27

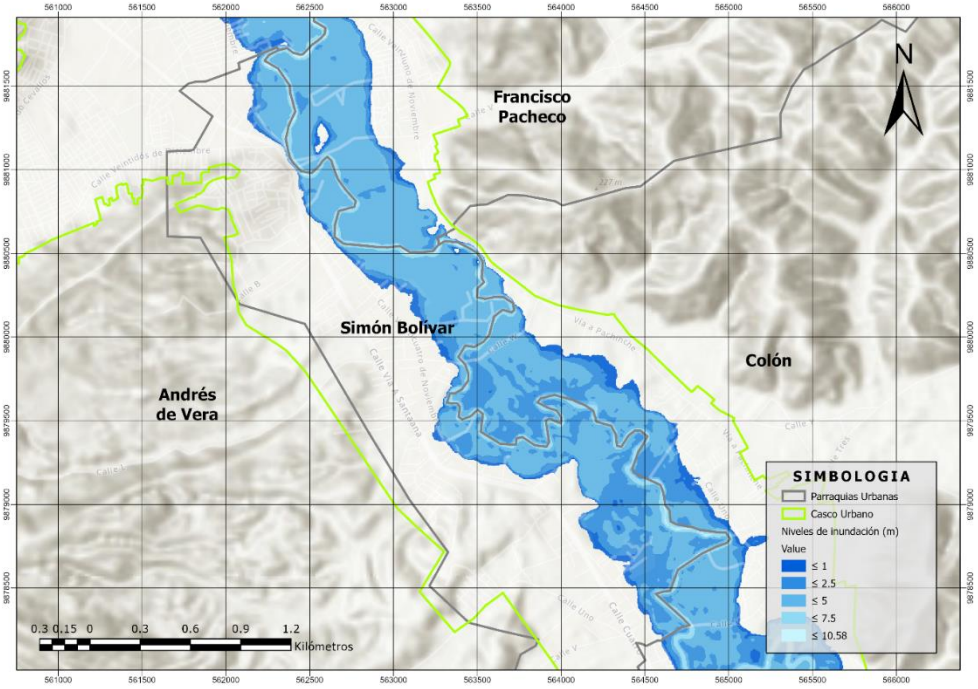
Mapa de Afectación de la Parroquia Francisco Pacheco



Nota: El área afectada abarca 84.46 ha, lo que representa 4.34% del total, equivalente a 3.25% del área total de la parroquia Francisco Pacheco. La zona afectada se extiende desde el noreste del rio Portoviejo, llegando hasta la altura de las calles Guayaquil y 21 de Noviembre, afectando infraestructuras médicas, gubernamentales, comerciales, educativas, religiosas, deportivas y habitacionales. Los niveles de agua fluctúan entre 0.1 m y 10.48 m, siendo el nivel más elevado en el eje del rio.

Figura 28

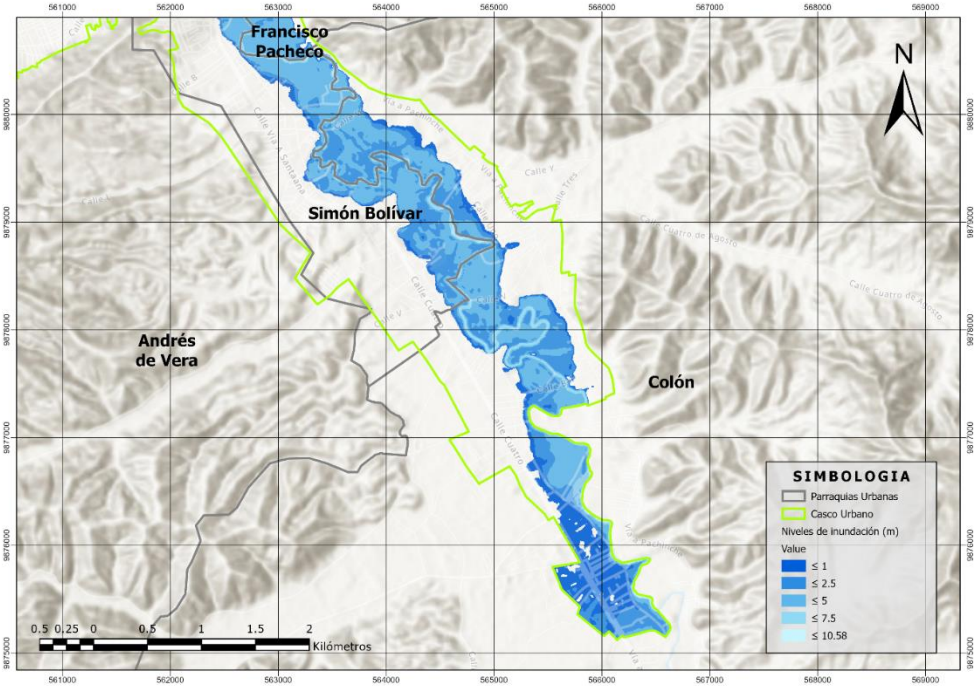
Mapa de Afectación de la Parroquia Simón Bolívar



Nota: El área afectada abarca 126.21 ha, lo que representa 6.49% del total, equivalente a 29.54% del área total de la parroquia Simón Bolívar. La zona afectada se extiende desde el suroeste del rio Portoviejo, llegando hasta la altura de las calles 26 de Septiembre, 24 de Noviembre y Portoviejo, afectando infraestructuras comerciales, educativas, religiosas, deportivas y habitacionales. Los niveles de agua fluctúan entre 0.1 m y 8.89 m, siendo el nivel más elevado en el eje del rio.

Figura 29

Mapa de Afectación de la Parroquia Colón



Nota: El área afectada abarca 265.33 ha, lo que representa 13.65% del total, equivalente a 1.91% del área total de la parroquia Picoazá. La zona afectada se extiende desde la calle vía a Santa Ana y al noreste del río Portoviejo, llegando hasta la altura de la calle vía Pachinche, afectando infraestructuras comerciales, educativas, religiosas, deportivas y habitacionales. Los niveles de agua fluctúan entre 0.1 m y 7.92 m, siendo el nivel más elevado en el eje del rio.

Figura 30

Profundidad del Agua al Inicio que se Registró en la Simulación

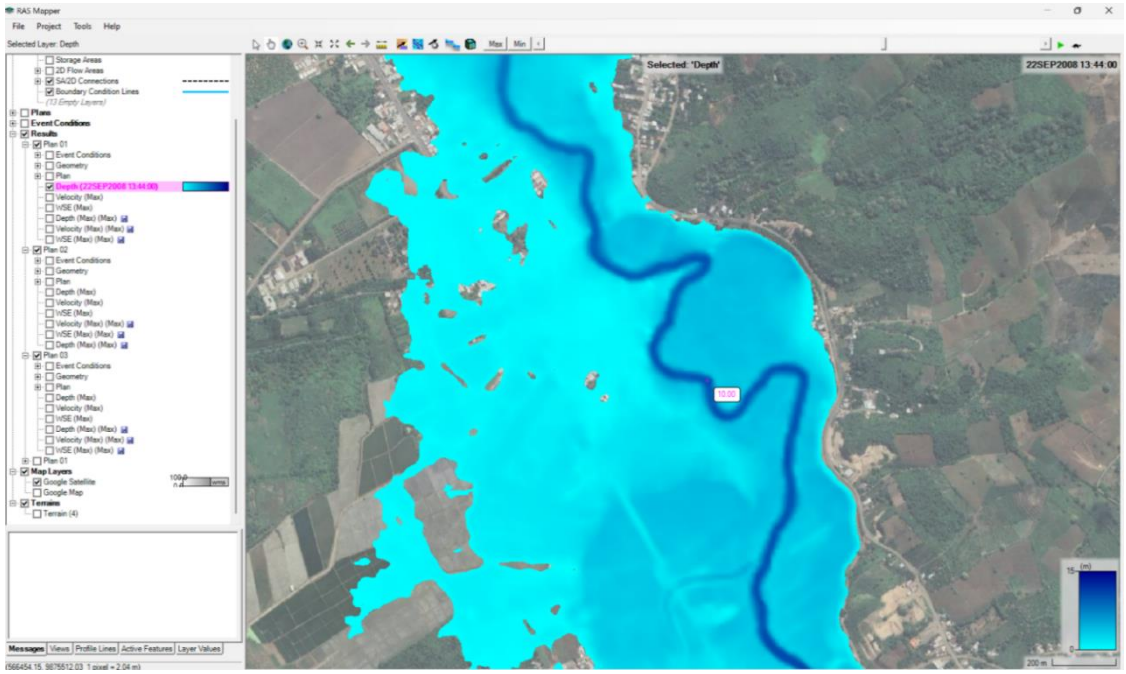


Figura 31

Profundidad del Agua a la Mitad que se Registró en la Simulación

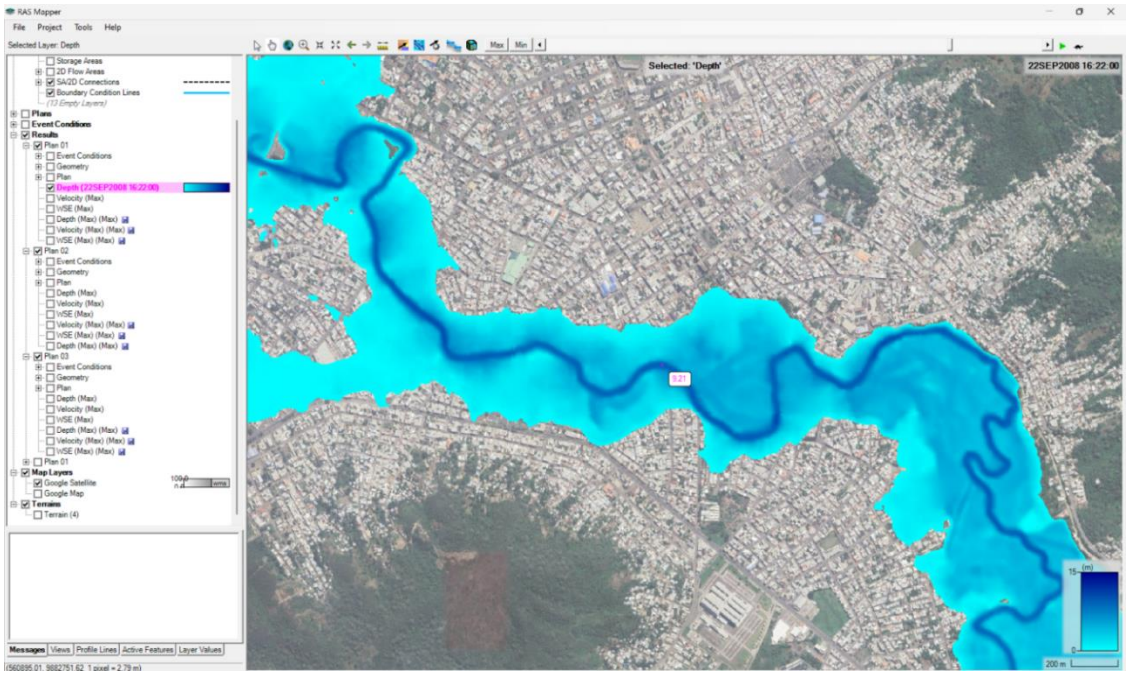


Figura 32

Profundidad del Agua al Final que se Registró en la Simulación

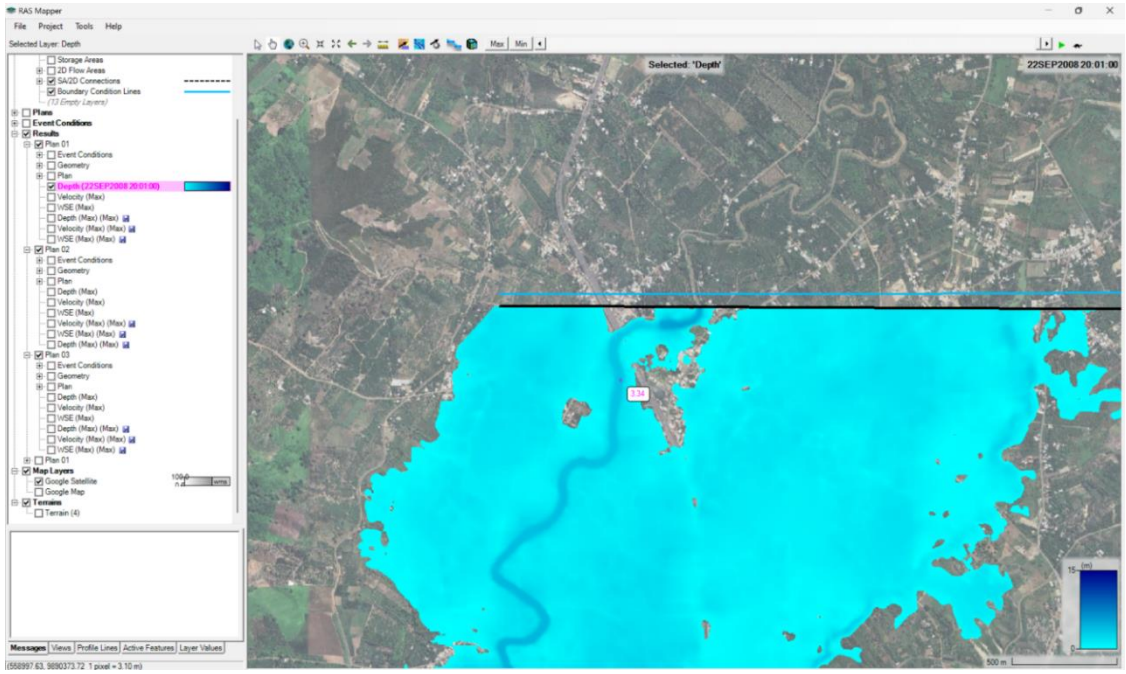


Figura 33

Velocidad al Inicio que se Registró en la Simulación

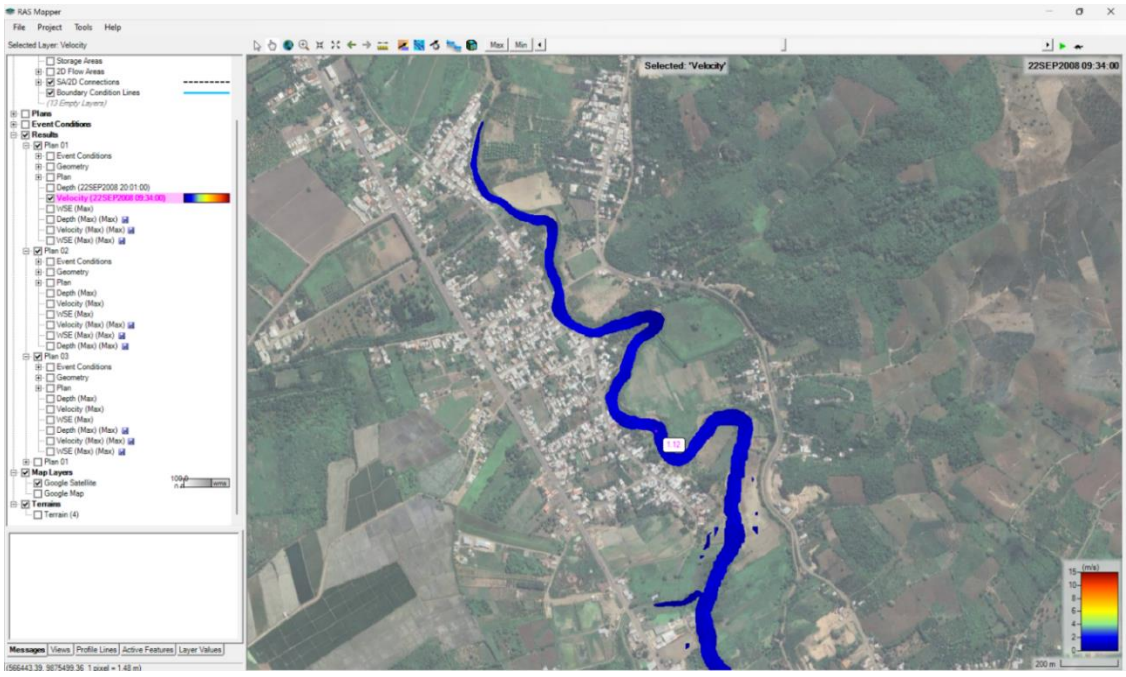


Figura 34

Velocidad a la Mitad que se Registró en la Simulación

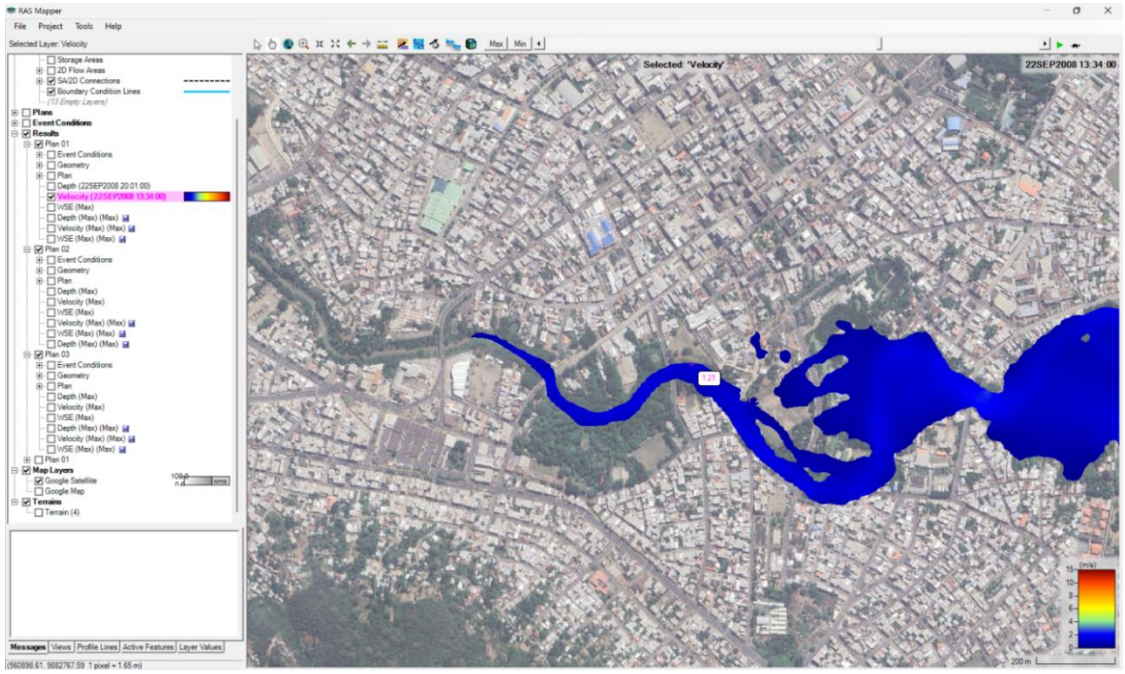


Figura 35

Velocidad al Final que se Registró en la Simulación

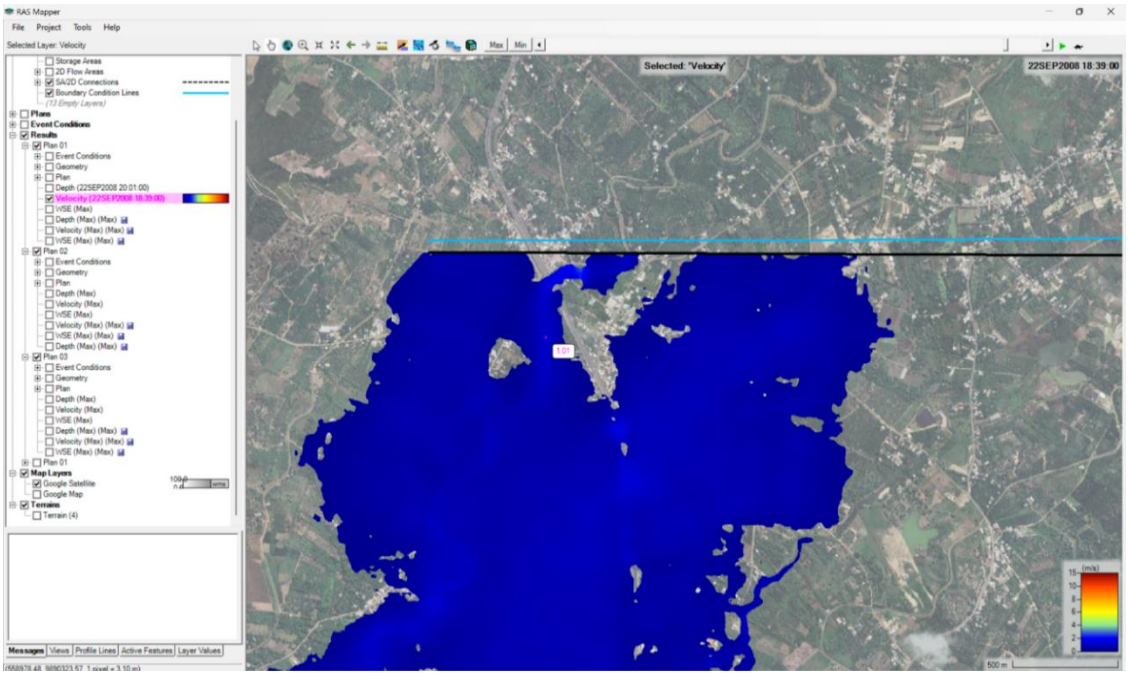


Figura 36

Cota de Lámina de Agua al Inicio que se Registró en la Simulación

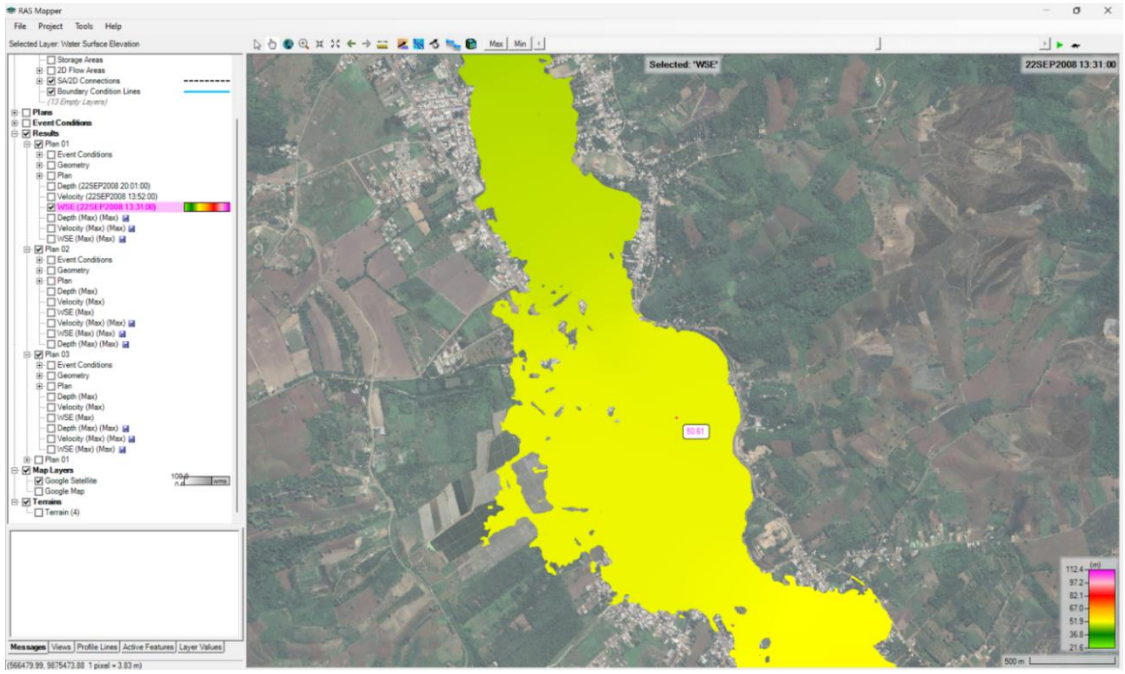


Figura 37

Cota de Lámina de Agua a la Mitad que se Registró en la Simulación

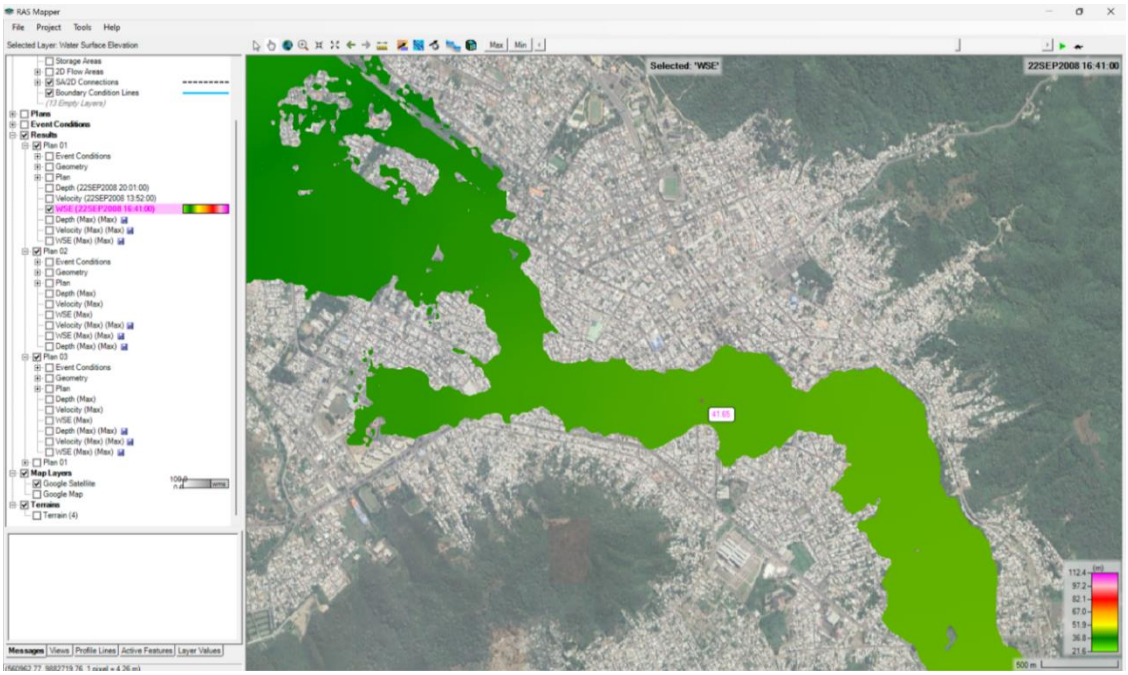


Figura 38

Cota de Lámina de Agua al Final que se Registró en la Simulación

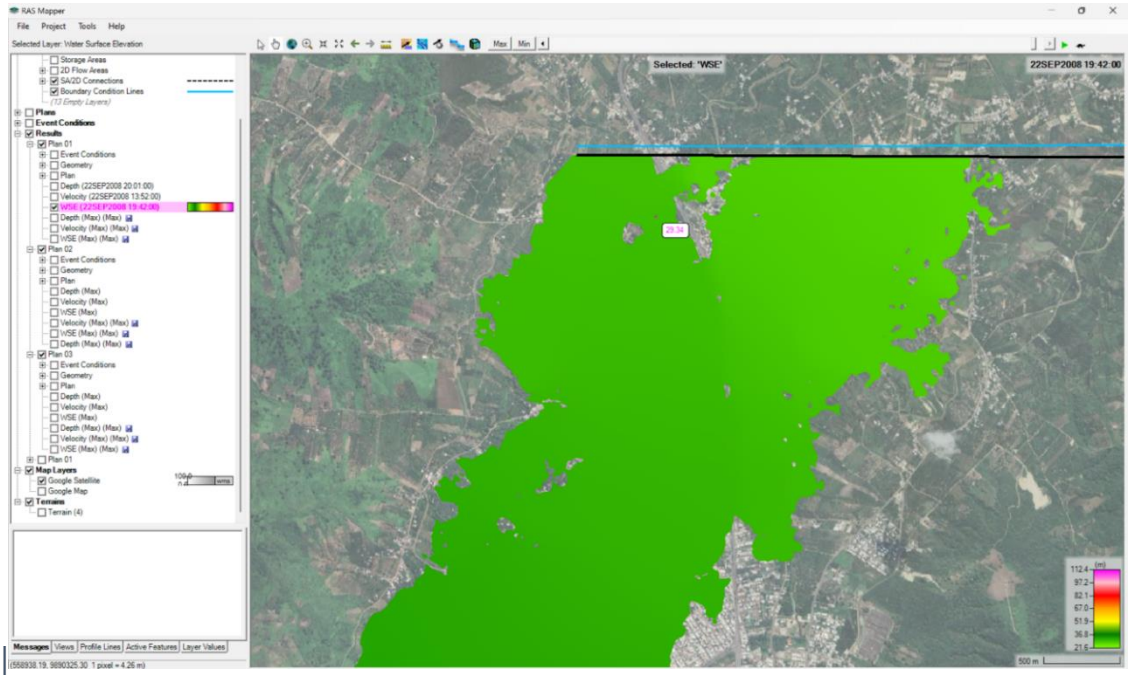


Figura 39

Relación entre Numero de Curva-Precipitación

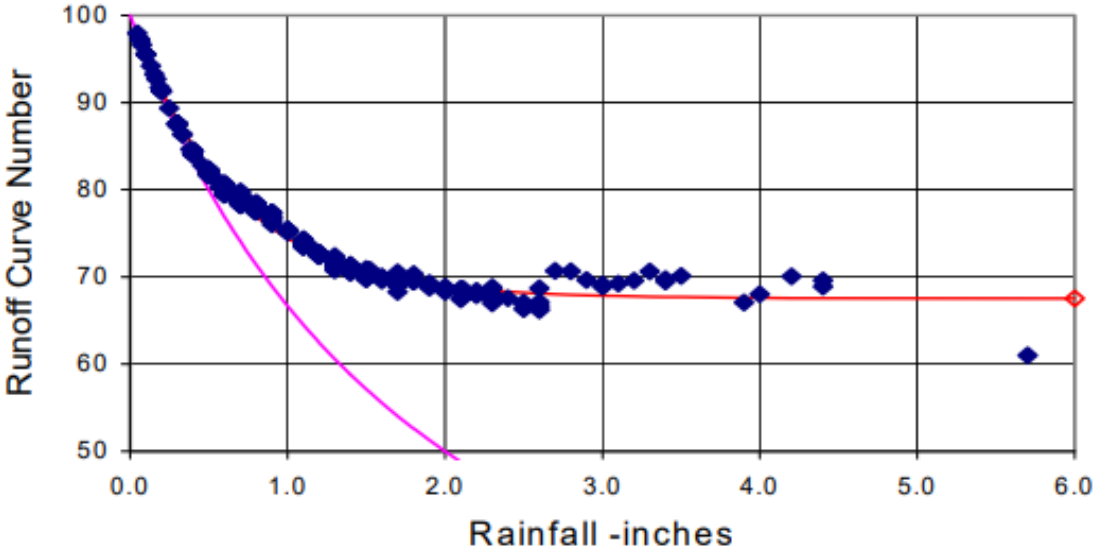


Tabla 23

Relación Numero de Curva-Escorrentía

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE	A	B	C	D
Barbecho R	>= 3	77	68	89	93
Barbecho N	>= 3	74	82	86	89
Barbecho R/N	< 3	71	78	82	86
Cultivos en hilera R	>= 3	69	79	86	89
Cultivos en hilera N	>= 3	67	76	82	86
Cultivos en hilera R/N	< 3	64	73	78	82
Cereales de invierno R	>= 3	63	75	83	86
Cereales de invierno N	>= 3	61	73	81	83
Cererales de invierno R/N	< 3	59	70	78	81
Rotación de cultivos pobres R	>= 3	66	77	85	89
Rotación de cultivos pobres N	>= 3	64	75	82	86
Rotación de cultivos pobres R/N	< 3	63	73	79	83
Rotación de cultivos densos R	>= 3	58	71	81	85
Rotación de cultivos densos N	>= 3	54	69	78	82
Rotación de cultivos densos R/N	< 3	52	67	76	79
Pradera pobre	>= 3	68	78	86	89
Pradera media	>= 3	49	69	78	85
Pradera buena	>= 3	42	60	74	79
Pradera muy buena	>= 3	39	55	69	77
Pradera pobre	< 3	46	67	81	88
Pradera media	< 3	39	59	75	83
Pradera buena	< 3	29	48	69	78
Pradera muy buena	< 3	17	33	67	76
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	>= 3	45	66	77	83
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media	>= 3	39	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena	>= 3	33	54	69	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	< 3	40	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media	< 3	35	54	69	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena	< 3	25	50	67	76
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy clara		56	75	86	91
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) clara		46	68	78	83
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) media		40	60	69	76
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) espesa		36	52	62	69
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy espesa		29	44	54	60
Rocas permeables	>= 3	94	94	94	94
Rocas permeables	< 3	91	91	91	91
Rocas impermeables	>= 3	96	96	96	96
Rocas impermeables	< 3	93	93	93	93