



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**“MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS DE LA ESCORRENTÍA
DEL RÍO MANGLARALTO EN LA COMUNA DOS MANGAS E
IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN FLUVIAL”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORAS:

**NOBOA ÁNGEL NICOLE ESTEFANÍA
MAGALLÁN POZO JENNIFER MILENA**

TUTOR:

ING. GUIDO MOISÉS ORTIZ SAFADI, Mg.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS DE LA
ESCORRENTÍA DEL RÍO MANGLARALTO EN LA
COMUNA DOS MANGAS E IMPLEMENTACIÓN DE
ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN FLUVIAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORAS:

NOBOA ÁNGEL NICOLE ESTEFANÍA
MAGALLÁN POZO JENNIFER MILENA

TUTOR:

ING. GUIDO MOISES ORTIZ SAFADI, Mg.

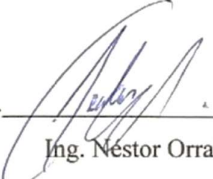
LA LIBERTAD – ECUADOR

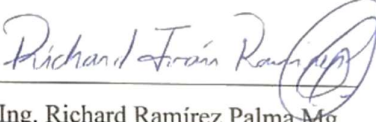
2025

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar PhD.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 
ING. Guido Ortiz Safadi Mg.
DOCENTE TUTOR

f. 
Ing. Néstor Orrala.Mg.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Richard Ramírez Palma.Mg
DOCENTE UIC

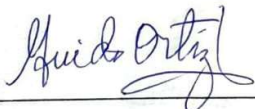
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

La Libertad, 03 de junio de 2025

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“MODELAMIENTO HIDRAULICO Y ANALISIS DE LA ESCORRENTIA DEL RIO MANGLARALTO EN LA COMUNA DOS MANGAS E IMPLEMENTACION DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACION FLUVIAL”** elaborado por las estudiantes NOBOA ANGEL NICOLE ESTEFANÍA y MAGALLÁN POZO JENNIFER MILENA, egresadas de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 6% de la valoración permitida.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,



ING. GUIDO M. ORTIZ SAFADI, Mg.

C.I.: 0904149481

DOCENTE TUTOR

Dirección: Campus matriz, La Libertad – prov. Santa Elena – Ecuador
Código Postal: 240204 – Teléfono: (04) 781732 ext. 131
www.upse.edu.ec

REPORTE DE SIMILITUD



TESIS FINAL NOBOA Y MAGALLAN

6%
Textos sospechosos

- 3% Similitudes
 - < 1% similitudes entre comillas
 - 0% entre las fuentes mencionadas
- 2% Idiomas no reconocidos (Ignorado)
- 3% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TESIS FINAL NOBOA Y MAGALLAN.pdf
 ID del documento: cf2c5f59fe37f97c3ccb1e1acd65fa127b4358c4
 Tamaño del documento original: 441,72 kB

Depositante: GUIDO MOISES ORTÍZ SAFADI
 Fecha de depósito: 3/6/2025
 Tipo de carga: Interface
 fecha de fin de análisis: 3/6/2025

Número de palabras: 15.983
 Número de caracteres: 101.297

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dspace.uni.edu.ec https://dspace.uni.edu.ec/bitstream/123456789/31114/1/JulianadelRocio_Maza_Medina.pdf	1%		Palabras idénticas: 1% (172 palabras)
2	www.aria.fadu.uba.ar https://www.aria.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2601/2601_espinosa_et_al.pdf 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)
3	julianrajo.weebly.com https://julianrajo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/1/2008328/morfometria.pdf 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
4	todosloshechos.es ¿Qué es población blanco? https://todosloshechos.es/que-es-poblacion-blanco 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
5	PLANIFICACION_DE_RIEGO.pdf #9405ab El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	doi.org El protocolo de investigación III: la población de estudio https://doi.org/10.29262/ram.v6i3i2.181	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
2	www.dspace.espol.edu.ec http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/43891/1/D-CD70275.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec Estudio de transporte de sedimentos en el cauce de u... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6501/1/UPSE-TIC-2021-0022.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
4	riunet.upv.es https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrentia.pdf;sequence=...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
5	prontubeam.com Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas https://prontubeam.com/articulos/articulos.php?id_articulo=26	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	CAPITULO I y II...docx CAPITULO I y II...docx #27616 El documento proviene de mi grupo	25%		Palabras idénticas: 25% (3875 palabras)
2	CAPITULO I y II...docx CAPITULO I y II...docx #39060 El documento proviene de mi grupo	25%		Palabras idénticas: 25% (3875 palabras)
3	CAPITULO I y II...pdf CAPITULO I y II...pdf #4713ca El documento proviene de mi grupo	23%		Palabras idénticas: 23% (3589 palabras)
4	CAPITULO I y II...pdf CAPITULO I y II...pdf #8a1c3d El documento proviene de mi grupo	23%		Palabras idénticas: 23% (3589 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- 1 <https://arcs.is/1CCKe00>
- 2 <https://arcs.is/1CCKe00>

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La Libertad, 03 de junio de 2025

Nosotras NOBOA ÁNGEL NICOLE ESTEFANÍA y MAGALLÁN POZO JENNIFER MILENA, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS DE LA ESCORRENTÍA DEL RÍO MANGLARALTO EN LA COMUNA DOS MANGAS E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN FLUVIAL”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, por lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de nuestra autoría. Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



NICOLE NOBOA ÁNGEL

Autora de Tesis

C.I. 2400022360



JENNIFER MAGALLÁN POZO

Autora de Tesis

C.I. 0927967936

Dirección: Campus matriz, La Libertad – prov. Santa Elena – Ecuador
Código Postal: 240204 – Teléfono: (04) 781732 ext. 131
www.upse.edu.ec

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

La Libertad, 03 de junio de 2025

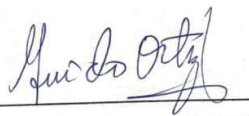
Ing. Guido Ortiz Zafadi, Mg.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **MODELAMIENTO HIDRAULICO Y ANALISIS DE LA ESCORRENTIA DEL RIO MANGLARALTO EN LA COMUNA DOS MANGAS E IMPLEMENTACION DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACION FLUVIAL** previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por las Señoritas Noboa Angel Nicole y Magallán Pozo Jennifer, egresadas de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haberlo orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes.

Atentamente,



ING. GUIDO M. ORTIZ SAFADI, Mg.

C.I.: 0904149481

DOCENTE TUTOR

Dirección: Campus matriz, La Libertad – prov. Santa Elena – Ecuador
Código Postal: 240204 – Teléfono: (04) 781732 ext. 131
www.upse.edu.ec

DEDICATORIA

A mis pilares fundamentales, Dios y mi madre Celestial, por nunca dejarme sola y guiarme espiritualmente en el proceso, a mis padres que, gracias a su apoyo, su amor incondicional y confianza han hecho que siga adelante con mis estudios y así culminar mi carrera. A mi hermano que es mi motor y mi motivación de seguir adelante. A mi compañera de tesis, mi hermanita, por hacer esta aventura más alegre y llevadera. Y a mi amor bonito y fiel compañero de vida, mejor amigo, novio y futuro esposo, por recordarme siempre que lo lograría.

NICOLE ESTEFANÍA NOBOA ÁNGEL

A Dios fuente de fortaleza, sabiduría, su presencia constante me ha sostenido en cada paso, a mi pilar fundamental, mi madre quien desde el cielo sigue siendo mi luz y guía en mi vida. A mi padre y hermanos, gracias por el apoyo, por su amor infinito, las palabras de aliento para seguir con mis estudios y culminar la carrera. A mi compañera de tesis, mi hermanita por compartir risas, dudas y esperanzas. Y al amor de mi vida por siempre recordarme que el no puedo no existe y que con esfuerzo, amor y perseverancia todo es posible.

JENNIFER MILENA MAGALLÁN POZO

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
Celular: 0962183538
Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

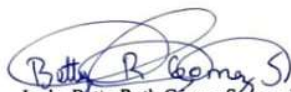
CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado **"MODELAMIENTO HIDRAULICO Y ANALISIS DE LA ESCORRENTIA DEL RIO MANGLARALTO EN LA COMUNA DOS MANGAS E IMPLEMENTACION DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACION FLUVIAL"**, de las estudiantes: **NOBOA ÁNGEL NICOLE ESTEFANÍA** y **MAGALLÁN POZO JENNIFER MILENA**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a las interesadas hacer uso del presente como estimen conveniente.

Santa Elena, 05 de Junio del 2025



Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
C.I. 0915036529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUCIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
N° DE REGISTRO DE SENEYCYT 1050-2014-86052892

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios y a mi madre Celestial, la Virgen María, por ser mi fuente de fortaleza y guía a lo largo de estos años de carrera. Su luz ha iluminado mis pasos y me han dado sabiduría necesaria para enfrentar cada desafío.

A mi familia, mi madre, Jacqueline Ángel, una mujer fuerte y admirable, ejemplo de valentía y perseverancia. Ella me inculcó los valores y principios que rigen en mi vida, me enseñó a nunca rendirme, a levantarme con fuerzas cada vez que caigo y a luchar con determinación por todo lo me proponga. A mi padre, Raúl Noboa, un hombre incansable y noble, un albañil quien con sus manos forjó no solo estructuras, sino también los principios que hoy guían mi carrera. Él me enseñó a trabajar con pasión, a valorar el esfuerzo y, sobre todo, a amar lo que hago. A mi hermano, Moisés Noboa, un verdadero guerrero de Dios, cuya fortaleza y espíritu inquebrantable inspiran mi camino cada día. Papás, ustedes han forjado a la persona que soy hoy y mis logros siempre serán los suyos también. Con gratitud en mi corazón mi trabajo va dedicado a ustedes.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), por ofrecernos una educación de calidad. A nuestro tutor de tesis el Ing. Guido Ortiz Zafadi, Mg. que con su experiencia y paciencia permitieron la realización de un mejor trabajo. A nuestro docente de UIC, Ing. Richard Ramírez Mg., por su destacada labor académica, su rigurosidad en las observaciones y correcciones realizadas. Su guía ha sido esencial para la culminación de este trabajo.

A Jennifer Magallán, mi compañera de tesis, por su dedicación, compromiso y valioso trabajo en equipo durante el desarrollo de esta investigación. Y, sobre todo, por haberme acompañado a lo largo de cada semestre de la carrera, compartiendo momentos que hicieron de este camino una experiencia inolvidable.

A mi novio, mi amor José Proaño, por estar a mi lado en los momentos más difíciles, por consolarme cuando más lo necesité y motivarme a seguir adelante incluso

cuando quise rendirme. Gracias por ser mi complemento, mi compañero de vida, por acompañarme en mis noches de desvelos, gracias por cada abrazo que me devolvió la alegría y por cada “te amo” acompañado de un “tú puedes, amor” que me dio fuerzas para continuar. Este trabajo está dedicado a nuestra futura familia, con la esperanza de que sea el inicio de muchos sueños compartidos.

Nicole Estefanía Noboa Ángel

Deseo comenzar agradeciendo a Dios, fuente de fortaleza, sabiduría e inspiración. Su presencia constante me ha sostenido en cada paso, guiando mi camino con luz y propósito.

A mi familia, mi pilar fundamental, a mi madre, Delia flora, quien desde el cielo sigue siendo luz y guía en mi vida. Fuiste, eres y serás siempre mi ejemplo de fortaleza, entrega y dulzura. La que me enseñó a no rendirme y no bajar los brazos en momentos difíciles y seguir luchando hasta el final. A mi padre, Javier Magallán, hombre trabajador, ejemplar, cuyo compromiso, disciplina y ética profesional han sido una inspiración constante en mi desarrollo académico y personal. Gracias por demostrar que el éxito se construye día a día con esfuerzo, responsabilidad, dedicación y Sacrificio. A mis hermanos, Leonardo y Anthony quienes, su presencia constante, sus palabras de aliento y sus silenciosa pero firme manera de apoyarme ha sido fundamental en mi vida. Gracias por creer en mí, incluso en los momentos en que yo misma dudaba. Este logro también es tuyo, porque con tu amor y dedicación me enseñaste a luchar por mis metas y a mantener los pies en la tierra y el corazón en alto.

A mis amigos, compañeros de ruta, pero en especial a mi compañera Nicole Noboa, gracias por compartir risas, dudas y esperanzas. En los momentos de cansancio y dificultad, su presencia, sus palabras y su alegría fueron un refugio y una fuente constante de motivación. Su amistad ha sido una de las grandes fuerzas que me animó a seguir adelante.

A el amor de mi vida, Jeampierre Lozada, por ser mi mayor fuente de inspiración y fortaleza a lo largo de este camino. Gracias por recordarme, una y otra vez, que el “no puedo” no existe, y que con esfuerzo, amor y perseverancia todo es posible. Tu

compañía fue mi refugio en los momentos más difíciles, fue el impulso que necesitaba para continuar. Agradezco profundamente tu apoyo constante, tus palabras de aliento y el amor con el que me acompañaste durante esta etapa.

Gracias a todos, de corazón, por ser parte de esta historia.

Jennifer Milena Magallán Pozo

CONTENIDO

	Pág.
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	iii
REPORTE DE SIMILITUD.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	v
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA.....	viii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
CONTENIDO.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE TABLAS.....	xxv
RESUMEN.....	xxviii
ABSTRACT.....	xxix
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.2. ANTEDECENTES.....	5
1.3. HIPÓTESIS.....	8
1.3.1. Hipótesis General.....	8
1.3.2. Hipótesis Específicas.....	9
1.4. OBJETIVOS.....	9
1.4.1. Objetivo General.....	9
1.1.1. Objetivos Específicos.....	9
1.2. ALCANCE.....	10

1.3.	VARIABLES.....	11
1.3.1.	Variables Independientes.....	11
1.3.2.	Variables Dependientes.....	12
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO		13
2.1.	MARCO CONCEPTUAL DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	13
2.1.1.	El ciclo hidrológico.....	13
2.1.2.	Hidrología y su importancia en el análisis de inundaciones.....	14
2.1.3.	Aspectos claves en el análisis hidrológico de inundaciones.....	14
2.1.4.	Hidrología Fluvial y su geomorfología.....	18
2.1.5.	Modelos Hidrológicos.....	20
2.2.	MARCO CONCEPTUAL DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO	24
2.2.1.	Hidráulica fluvial.....	24
2.3.	CUENCA HIDROGRÁFICA.....	25
2.3.1.	Cuenca alta.....	26
2.3.2.	Cuenca media.....	26
2.3.3.	Cuenca baja.....	26
2.4.	RED HIDROGRÁFICA	27
2.5.	FLUJO NO PERMANENTE EN CAUCES DE RIOS	27
2.6.	PRECIPITACIONES	27
2.7.	ESCORRENTÍA.....	28
2.8.	TEMPERATURA.....	29
2.9.	EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN	30
2.10.	CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF).....	30
2.11.	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y MODELOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS.....	31
2.11.1.	Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	31
2.11.2.	Introducción al HEC-HMS.....	31
2.11.3.	Introducción al HEC-RAS.....	33
2.11.4.	Software ArcGIS.....	34
2.12.	MÉTODOS EMPÍRICOS E HIDROLÓGICOS.....	35
2.12.1.	Método Número de Curva SCS.....	35
2.12.2.	Método del Hidrograma Unitario adimensional SCS.....	35
2.12.3.	Método del Hidrograma Unitario de Snyder.....	35
2.12.4.	Método del Hidrograma Unitario de Clark.....	36
2.12.5.	Método racional.....	36

2.13.	DEFENSAS RIBEREÑAS.....	36
2.13.1.	Dique enrocado.....	37
2.14.	RESTAURACIÓN FLUVIAL.....	37
CAPITULO III: METODOLOGÍA		39
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	40
3.1.1.	Tipo.....	40
3.1.2.	Nivel.....	41
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.2.1.	Método.....	41
3.2.2.	Enfoque.....	42
3.2.3.	Diseño.....	42
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTRO	43
3.3.1.	Población.....	43
3.3.2.	Muestra.....	43
3.3.3.	Muestreo.....	43
3.4.	UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	44
3.4.1.	Obras hidráulicas.....	45
3.5.	METODOLOGÍA DEL OE. 1: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA.....	46
3.5.1.	Delimitación de la cuenca hidrográfica.....	47
3.5.2.	Parámetros físicos de la cuenca.....	48
3.5.3.	Parámetros de forma.....	49
3.5.4.	Parámetros de relieve.....	51
3.5.5.	Parámetros relativos a la red hídrica.....	53
3.5.6.	Red hidrográfica de la cuenca.....	55
3.5.7.	Uso de suelo.....	56
3.5.8.	Características climáticas.....	56
3.6.	METODOLOGÍA DEL OE. 2: ESTIMACIÓN DEL CAUDAL QUE FLUYE POR LA CUENCA DEL RÍO MANGLARALTO Y ANÁLISIS DE LA ESCORRENTÍA.....	57
3.6.1.	Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).....	57
3.6.2.	Método Número de Curva SCS.....	60
3.6.3.	Método Racional.....	64
3.6.4.	Método del Hidrograma Unitario adimensional SCS.....	67
3.6.5.	Método del Hidrograma Unitario de Snyder.....	68
3.6.6.	Método del Hidrograma Unitario de Clark.....	70

3.6.7.	Método de Muskingum.....	72
3.7.	METODOLOGÍA DEL OE. 3: MODELACIÓN HIDRÁULICA E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN FLUVIAL.	73
3.7.1.	Coefficiente de Manning.....	73
3.7.2.	Implementación de estrategias de restauración fluvial.	75
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		78
4.1.	DEFINICIÓN DE ESCENARIOS PARA EL ANÁLISIS DE ESCORRENTÍA Y LA MODELACIÓN HIDRÁULICA.....	78
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE. 1 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA.	79
4.2.1.	Delimitación de la cuenca.....	79
4.2.2.	Cuencas de análisis.	81
4.2.3.	Parámetros físicos y morfológicos de la cuenca.	81
4.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE. 2 – CAUDAL Y ESCORRENTÍA QUE FLUYE POR EL CAUCE DEL RÍO MANGLARALTO.	85
4.3.1.	Análisis de las Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF). ...	85
4.3.2.	Análisis del Método Número de Curva (SCS).....	97
4.3.3.	Análisis del Método Racional.....	99
4.3.4.	Análisis del Método del Hidrograma Unitario adimensional SCS.	103
4.3.5.	Análisis del Método del Hidrograma Unitario de Snyder.....	104
4.3.6.	Análisis del Método del Hidrograma Unitario de Clark.	105
4.3.7.	Análisis del Método Muskingum.....	106
4.3.8.	Análisis comparativo de los métodos empíricos.....	107
4.3.9.	Escenario 1.....	109
4.3.10.	Escenario 2.....	121
4.3.11.	Escenario 3.....	134
4.3.12.	Escenario 4.....	147
4.3.13.	Análisis de escorrentía.	160
4.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE. 3 – MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN FLUVIAL.	161
4.4.1.	Simulación Hidráulica.	164
4.4.2.	Estrategias de restauración fluvial.	184
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		204
5.1.	CONCLUSIONES.....	204
5.2.	RECOMENDACIONES.	206
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		207

ANEXOS 213

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>El ciclo hidrológico.</i>	13
Figura 2. <i>Forma esquemática del pluviómetro.</i>	16
Figura 3. <i>Esquema del pluviógrafo con flotador.</i>	16
Figura 4. <i>Pluviógrafo de cangilones.</i>	17
Figura 5. <i>Planta y sección transversal de un cauce trenzado.</i>	19
Figura 6. <i>Cauce meandriforme: morfología (planta y secciones transversales vistas en el sentido de la corriente) y evolución ideal (derecha).</i>	20
Figura 7. <i>La cuenca como un sistema hidrológico.</i>	21
Figura 8. <i>Representación esquemática de los procesos producidos en una cuenca de drenaje.</i>	22
Figura 9. <i>Clasificación de modelos hidrológicos de acuerdo con la forma, la aleatoriedad y la variabilidad espacial y temporal de los fenómenos hidrológicos.</i>	23
Figura 10. <i>Esquema de una cuenca hidrográfica.</i>	25
Figura 11. <i>Tipos de escorrentía.</i>	29
Figura 12. <i>Defensas ribereñas.</i>	37
Figura 13. <i>Restauración fluvial del río Mosa.</i>	38
Figura 14. <i>Diagrama de flujo metodológico.</i>	40
Figura 15. <i>Ubicación de la cuenca hidrográfica del Río Manglaralto.</i>	45
Figura 16. <i>Zona de desbordamiento del río y ubicación del badén.</i>	46
Figura 17. <i>Modelo de elevación Digital – S02W081.</i>	47
Figura 18. <i>Delimitación de la cuenca del Río Manglaralto.</i>	48
Figura 19. <i>Curva hipsométrica y su interpretación.</i>	52
Figura 20. <i>Red de drenaje según Horton – Strahler.</i>	53
Figura 21. <i>Cobertura y uso de la tierra de la cuenca Manglaralto.</i>	60
Figura 22. <i>Triángulo textural según clasificación USDA.</i>	61

Figura 23. <i>Herramienta RIVER.</i>	76
Figura 24. <i>Mapa de estrategias de restauración fluvial para la Cuenca Río Andalién.</i>	77
Figura 25. <i>Subcuencas de la Cuenca del Río Manglaralto.</i>	80
Figura 26. <i>Subcuencas de la Cuenca Alta del río Manglaralto.</i>	81
Figura 27. <i>Subcuencas de la Cuenca Media del río Manglaralto.</i>	82
Figura 28. <i>Mapa de pendientes de la cuenca del río Manglaralto.</i>	83
Figura 29. <i>Curva Hipsométrica y Frecuencia de altitudes para la cuenca Manglaralto.</i>	84
Figura 30. <i>Mapa de zonificación estaciones meteorológicas.</i>	85
Figura 31. <i>Regionalización de k, m y n. Método Kriging Ordinario (KO).</i>	86
Figura 32. <i>Hietograma Situación Futura (5 años) – Estación Manglaralto (M0619).</i>	88
Figura 33. <i>Hietograma Situación Futura (5 años) – Estación Barcelona (M0782).</i>	89
Figura 34. <i>Hietograma Situación Futura (10 años) – Estación Manglaralto (M0619).</i>	90
Figura 35. <i>Hietograma Situación Futura (10 años) – Estación Barcelona (M0782).</i>	91
Figura 36. <i>Hietograma Situación Futura (25 años) – Estación Manglaralto (M0619).</i>	92
Figura 37. <i>Hietograma Situación Futura (25 años) – Estación Barcelona (M0782).</i>	93
Figura 38. <i>Hietograma Situación Futura (50 años) – Estación Manglaralto (M0619).</i>	94
Figura 39. <i>Hietograma Situación Futura (50 años) – Estación Barcelona (M0782).</i>	95
Figura 40. <i>Curvas IDF de la estación Manglaralto (M0619).</i>	96
Figura 41. <i>Curvas IDF de la estación de Barcelona (M0782).</i>	96
Figura 42. <i>Mapa de Textura de Suelo de las Subcuencas del río Manglaralto.</i>	99
Figura 43. <i>Hidrograma de la Subcuenca 1 (TR = 5 años).</i>	111
Figura 44. <i>Hidrograma de la Subcuenca 4 (TR=5 años).</i>	112

Figura 45. <i>Hidrograma de la Subcuenca 5 (TR = 5 años).</i>	112
Figura 46. <i>Hidrograma de la Subcuenca 11 (TR = 5 años).</i>	113
Figura 47. <i>Hidrograma de la Subcuenca 2 (TR = 5 años).</i>	116
Figura 48. <i>Hidrograma de la Subcuenca 3 (TR = 5 años).</i>	116
Figura 49. <i>Hidrograma de la Subcuenca 6 (TR = 5 años).</i>	117
Figura 50. <i>Hidrograma de la Subcuenca 7 (TR = 5 años).</i>	117
Figura 51. <i>Hidrograma de la Subcuenca 8 (TR = 5 años).</i>	118
Figura 52. <i>Hidrograma de la Subcuenca 9 (TR = 5 años).</i>	118
Figura 53. <i>Hidrograma de la Subcuenca 10 (TR = 5 años).</i>	119
Figura 54. <i>Hidrograma de la Subcuenca 12 (TR = 5 años).</i>	119
Figura 55. <i>Hidrograma de la Subcuenca 14 (TR = 5 años).</i>	120
Figura 56. <i>Hidrograma de la Subcuenca 15 (TR = 5 años).</i>	120
Figura 57. <i>Hidrograma de la Subcuenca 16 (TR = 5 años).</i>	121
Figura 58. <i>Hidrograma de la Subcuenca 1 (TR = 10 años).</i>	124
Figura 59. <i>Hidrograma de la Subcuenca 2 (TR = 10 años).</i>	125
Figura 60. <i>Hidrograma de la Subcuenca 4 (TR = 10 años).</i>	125
Figura 61. <i>Hidrograma de la Subcuenca 5 (TR = 10 años).</i>	126
Figura 62. <i>Hidrograma de la Subcuenca 11 (TR = 10 años).</i>	126
Figura 63. <i>Hidrograma de la Subcuenca 2 (TR = 10 años).</i>	129
Figura 64. <i>Hidrograma de la Subcuenca 3 (TR = 10 años).</i>	129
Figura 65. <i>Hidrograma de la Subcuenca 6 (TR = 10 años).</i>	130
Figura 66. <i>Hidrograma de la Subcuenca 7 (TR = 10 años).</i>	130
Figura 67. <i>Hidrograma de la Subcuenca 8 (TR = 10 años).</i>	131
Figura 68. <i>Hidrograma de la Subcuenca 9 (TR = 10 años).</i>	131
Figura 69. <i>Hidrograma de la Subcuenca 10 (TR = 10 años).</i>	132
Figura 70. <i>Hidrograma de la Subcuenca 12 (TR = 10 años).</i>	132
Figura 71. <i>Hidrograma de la Subcuenca 14 (TR = 10 años).</i>	133
Figura 72. <i>Hidrograma de la Subcuenca 15 (TR = 10 años).</i>	133

Figura 73. <i>Hidrograma de la Subcuenca 16 (TR = 10 años).</i>	134
Figura 74. <i>Hidrograma de la Subcuenca 1 (TR = 25 años).</i>	137
Figura 75. <i>Hidrograma de la Subcuenca 4 (TR = 25 años).</i>	138
Figura 76. <i>Hidrograma de la Subcuenca 5 (TR = 25 años).</i>	138
Figura 77. <i>Hidrograma de la Subcuenca 11 (TR = 25 años).</i>	139
Figura 78. <i>Hidrograma de la Subcuenca 2 (TR = 25 años).</i>	142
Figura 79. <i>Hidrograma de la Subcuenca 3 (TR = 25 años).</i>	142
Figura 80. <i>Hidrograma de la Subcuenca 6 (TR = 25 años).</i>	143
Figura 81. <i>Hidrograma de la Subcuenca 7 (TR = 25 años).</i>	143
Figura 82. <i>Hidrograma de la Subcuenca 8 (TR = 25 años).</i>	144
Figura 83. <i>Hidrograma de la Subcuenca 9 (TR = 25 años).</i>	144
Figura 84. <i>Hidrograma de la Subcuenca 10 (TR = 25 años).</i>	145
Figura 85. <i>Hidrograma de la Subcuenca 12 (TR = 25 años).</i>	145
Figura 86. <i>Hidrograma de la Subcuenca 14 (TR = 25 años).</i>	146
Figura 87. <i>Hidrograma de la Subcuenca 15 (TR = 25 años).</i>	146
Figura 88. <i>Hidrograma de la Subcuenca 16 (TR = 25 años).</i>	147
Figura 89. <i>Hidrograma de la Subcuenca 1 (TR = 50 años).</i>	150
Figura 90. <i>Hidrograma de la Subcuenca 4 (TR = 50 años).</i>	151
Figura 91. <i>Hidrograma de la Subcuenca 5 (TR = 50 años).</i>	151
Figura 92. <i>Hidrograma de la Subcuenca 11 (TR = 50 años).</i>	152
Figura 93. <i>Hidrograma de la Subcuenca 2 (TR = 50 años).</i>	155
Figura 94. <i>Hidrograma de la Subcuenca 3 (TR = 50 años).</i>	155
Figura 95. <i>Hidrograma de la Subcuenca 6 (TR = 50 años).</i>	156
Figura 96. <i>Hidrograma de la Subcuenca 7 (TR = 50 años).</i>	156
Figura 97. <i>Hidrograma de la Subcuenca 8 (TR = 50 años).</i>	157
Figura 98. <i>Hidrograma de la Subcuenca 9 (TR = 50 años).</i>	157
Figura 99. <i>Hidrograma de la Subcuenca 10 (TR = 50 años).</i>	158
Figura 100. <i>Hidrograma de la Subcuenca 12 (TR = 50 años).</i>	158

Figura 101. <i>Hidrograma de la Subcuenca 14 (TR = 50 años).</i>	159
Figura 102. <i>Hidrograma de la Subcuenca 15 (TR = 50 años).</i>	159
Figura 103. <i>Hidrograma de la Subcuenca 16 (TR = 50 años).</i>	160
Figura 104. <i>Superficie TIN del tramo de estudio.</i>	162
Figura 105. <i>Secciones transversales.</i>	163
Figura 106. <i>Modelación del badén.</i>	163
Figura 107. <i>Plano de inundación TR = 5 años.</i>	164
Figura 108. <i>Mapa de inundación Dos Mangas TR = 5 años.</i>	164
Figura 109. <i>Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+904.</i>	165
Figura 110. <i>Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+660.</i>	165
Figura 111. <i>Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+390.</i>	166
Figura 112. <i>Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+346.90 Culv U.</i>	166
Figura 113. <i>Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+338.</i>	167
Figura 114. <i>Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+058.</i>	167
Figura 115. <i>Perfil Longitudinal a los 5 años del río - Dos Mangas.</i>	168
Figura 116. <i>Plano de inundación TR = 10 años.</i>	168
Figura 117. <i>Mapa de inundación Dos Mangas TR = 10 años.</i>	169
Figura 118. <i>Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+904.</i>	169
Figura 119. <i>Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+660.</i>	170
Figura 120. <i>Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+390.</i>	170
Figura 121. <i>Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+346.90 Culv U.</i>	171
Figura 122. <i>Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+338.</i>	171

Figura 123. <i>Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+300.</i>	172
Figura 124. <i>Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+270.</i>	172
Figura 125. <i>Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+058.</i>	173
Figura 126. <i>Perfil Longitudinal a los 10 años del río - Dos Mangas.</i>	173
Figura 127. <i>Plano de inundación TR = 25años.</i>	174
Figura 128. <i>Mapa de inundación Dos Mangas TR = 25años.</i>	174
Figura 129. <i>Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+904.</i>	175
Figura 130. <i>Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+660.</i>	175
Figura 131. <i>Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+390.</i>	176
Figura 132. <i>Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+346.90 Culv U.</i>	176
Figura 133. <i>Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+338.</i>	177
Figura 134. <i>Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+058.</i>	177
Figura 135. <i>Perfil Longitudinal a los 25 años del río - Dos Mangas.</i>	178
Figura 136. <i>Plano de inundación TR = 50años.</i>	178
Figura 137. <i>Mapa de inundación Dos Mangas TR = 50años.</i>	179
Figura 138. <i>Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+904.</i>	179
Figura 139. <i>Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+660.</i>	180
Figura 140. <i>Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+390.</i>	180
Figura 141. <i>Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+346.90 Culv U.</i>	181
Figura 142. <i>Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+338.</i>	181

Figura 143. <i>Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+300.</i>	182
Figura 144. <i>Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+270.</i>	182
Figura 145. <i>Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+058.</i>	183
Figura 146. <i>Perfil Longitudinal a los 50 años del río - Dos Mangas.</i>	183
Figura 147. <i>Cálculo del ancho estable del cauce (B) por el Método Recomendación Práctica.</i>	184
Figura 148. <i>Cálculo del ancho estable del cauce (B) por el Método de Petits.</i>	185
Figura 149. <i>Cálculo del ancho estable del cauce (B) por el Método de Simons y Henderson.</i>	185
Figura 150. <i>Cálculo del ancho estable del cauce (B) por el Método de Blench y Altunin.</i>	186
Figura 151. <i>Cálculo del ancho estable del cauce (B) por el Método de Manning y Strickler.</i>	186
Figura 152. <i>Dimensiones y Diseño preliminar Sugerido del dique recto y curvo.</i>	187
Figura 153. <i>Dimensionamiento del enrocado en recta.</i>	188
Figura 154. <i>Diseño final del enrocado en recta.</i>	189
Figura 155. <i>Dimensionamiento del enrocado en curva.</i>	189
Figura 156. <i>Diseño final del enrocado en curva.</i>	190
Figura 157. <i>Sección típica de la defensa ribereña - Dique Enrocado en recta (0+500 a 0+720).</i>	190
Figura 158. <i>Sección típica de la defensa ribereña - Dique Enrocado en curva (0+000 a 0+500).</i>	191
Figura 159. <i>Implementación de la defensa ribereña - Dique enrocado en recta.</i>	192
Figura 160. <i>Implementación de la defensa ribereña - Dique enrocado en curva.</i>	192
Figura 161. <i>Terreno con dique implementado.</i>	193
Figura 162. <i>Comportamiento hidráulico con diques implementados TR = 50años.</i>	194
Figura 163. <i>Velocidad del flujo.</i>	195

Figura.164. Nivel de flujo en la sección 0+390 con la simulación de diques enrocados (50años).....	195
Figura 165. Comparación del nivel de flujo con y sin la implementación de diques enrocados en la sección (0+390).....	196
Figura.166. Nivel de flujo en la sección 0+347 y 0+346.90 Culv U con la simulación de diques enrocados (50años).....	197
Figura 167. Comparación del nivel de flujo con y sin la implementación de diques enrocados en la sección (0+347).....	198
Figura.168. Nivel de flujo en la sección 0+338 con la simulación de diques enrocados (50años).....	198
Figura 169. Comparación del nivel de flujo con y sin la implementación de diques enrocados en la sección (0+338).....	199
Figura 170. Nivel de flujo en la sección 0+300 con la simulación de diques enrocados (50años).....	199
Figura 171. Comparación del nivel de flujo con y sin la implementación de diques enrocados en la sección (0+300).....	200
Figura 172. Nivel de flujo en la sección 0+270 con la simulación de diques enrocados (50años).....	200
Figura 173. Comparación del nivel de flujo con y sin la implementación de diques enrocados en la sección (0+270).....	201
Figura 174. Mapa en planta de parches como unidades para la continuidad del flujo.....	202
Figura 175. Mapa en sección de parches como unidades para la continuidad del flujo.....	203

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Coordenadas de infraestructuras de paso existente en la cuenca.</i>	45
Tabla 2. <i>Parámetros físicos de la cuenca del río Manglaralto.</i>	49
Tabla 3. <i>Clasificación de tamaños de cuenca en función de su área.</i>	49
Tabla 4. <i>Formas de la cuenca de acuerdo con el índice de compacidad.</i>	50
Tabla 5. <i>Clasificación según el factor de forma.</i>	51
Tabla 6. <i>Clasificación de las pendientes.</i>	52
Tabla 7. <i>Clasificación del orden de corrientes de una cuenca.</i>	54
Tabla 8. <i>Clasificación de la red de drenaje de las cuencas hidrográficas.</i>	55
Tabla 9. <i>Clasificación de la pendiente media del cauce principal.</i>	55
Tabla 10. <i>Información General de las Estaciones Meteorológicas.</i>	59
Tabla 11. <i>Valores del número de curva (CN).</i>	62
Tabla 12. <i>Correspondencia entre la textura y los grupos hidrológicos de suelo (Témez, 1987).</i>	64
Tabla 13. <i>Coefficientes de Escorrentía según Benítez et al, (1980).</i>	67
Tabla 14. <i>Valores de Ct y Cp para la estimación del Hidrograma Sintético de Snyder.</i>	70
Tabla 15. <i>Valores de coeficiente de rugosidad de Manning “n”</i>	74
Tabla 16. <i>Tamaño de partícula mínimo y máximo permitido en pulgadas.</i>	76
Tabla 17. <i>Escenarios de situación futura con sus respectivos años de retorno.</i> .	78
Tabla 18. <i>Conformación de tramos de la cuenca del río Manglaralto.</i>	79
Tabla 19. <i>Áreas y longitudes de las subcuencas.</i>	80
Tabla 20. <i>Características físicas y morfométricas de la cuenca del río Manglaralto.</i>	82
Tabla 21. <i>Pendiente media de cada subcuenca.</i>	83
Tabla 22. <i>Subcuencas correspondientes a las Estaciones Meteorológicas de Manglaralto (M0619) y Barcelona (M0782).</i>	86

Tabla 23. <i>Parámetros de k, m y n de cada estación.</i>	87
Tabla.24. <i>Hietograma de Precipitación de Diseño (5 años) – Estación Manglaralto (M0619).</i>	88
Tabla 25. <i>Hietograma de Precipitación de Diseño (5 años) – Estación Barcelona (M0782).</i>	89
Tabla.26. <i>Hietograma de Precipitación de Diseño (10 años) – Estación Manglaralto(M0619).</i>	90
Tabla 27. <i>Hietograma de Precipitación de Diseño (10 años) – Estación Barcelona (M0782).</i>	91
Tabla.28. <i>Hietograma de Precipitación de Diseño (25 años) – Estación Manglaralto(M0619).</i>	92
Tabla 29. <i>Hietograma de Precipitación de Diseño (25 años) – Estación Barcelona (M0782).</i>	93
Tabla.30. <i>Hietograma de Precipitación de Diseño (50 años) –Estación Manglaralto (M0619).</i>	94
Tabla 31. <i>Hietograma de Precipitación de Diseño (50 años) – Estación Barcelona (M0782).</i>	95
Tabla 32. <i>Cobertura del suelo de cada subcuenca.</i>	97
Tabla 33. <i>Tiempo de concentración – Método Kirpich.</i>	100
Tabla 34. <i>Intensidad de lluvia (mm/h).</i>	100
Tabla 35. <i>Caudal de Diseño (5 años) – Método Racional.</i>	101
Tabla 36. <i>Caudal de Diseño (10 años) – Método Racional.</i>	101
Tabla 37. <i>Caudal de Diseño (25 años) – Método Racional.</i>	102
Tabla 38. <i>Caudal de Diseño (50 años) – Método Racional.</i>	102
Tabla 39. <i>Tiempo de concentración por el método SCS.</i>	103
Tabla 40. <i>Tiempo de retardo par el método Snyder.</i>	104
Tabla 41. <i>Valores de coeficiente de pico de Snyder.</i>	105
Tabla 42. <i>Tiempo de concentración método Clark.</i>	105
Tabla 43. <i>Coeficiente de almacenamiento por el método Clark.</i>	106
Tabla 44. <i>Valores de K – Método Muskingum.</i>	106
Tabla 45. <i>Caudales máximos y totales de la Cuenca Alta y Media del río Manglaralto.</i>	107

Tabla 46. <i>Resultados generales de volumen y caudal pico – Método H.U. SCS (5 años).</i>	109
Tabla 47. <i>Cuenca alta - Datos de Flujo de Subcuencas (5 años).</i>	110
Tabla 48. <i>Escorrentía de la cuenca alta (5 años).</i>	111
Tabla 49. <i>Cuenca media - Datos de Flujo de Subcuencas (5 años).</i>	114
Tabla 50. <i>Escorrentía de la cuenca media (5 años).</i>	115
Tabla 51. <i>Resultados generales de volumen y caudal pico – Método H.U. SCS (10 años).</i>	122
Tabla 52. <i>Cuenca alta - Datos de Flujo de Subcuencas (10 años).</i>	123
Tabla 53. <i>Escorrentía de la cuenca alta (10 años).</i>	124
Tabla 54. <i>Cuenca media - Datos de Flujo de Subcuencas (10 años).</i>	127
Tabla 55. <i>Escorrentía de la cuenca media (10 años).</i>	128
Tabla 56. <i>Resultados generales de volumen y caudal pico – Método H.U. SCS (25 años).</i>	135
Tabla 57. <i>Cuenca alta - Datos de Flujo de Subcuencas (25 años).</i>	136
Tabla 58. <i>Escorrentía de la cuenca alta (25 años).</i>	137
Tabla 59. <i>Cuenca media - Datos de Flujo de Subcuencas (25 años).</i>	140
Tabla 60. <i>Escorrentía de la cuenca media (25 años).</i>	141
Tabla 61. <i>Resultados generales de volumen y caudal pico – Método H.U. SCS (50 años).</i>	148
Tabla 62. <i>Cuenca alta - Datos de Flujo de Subcuencas (50 años).</i>	149
Tabla 63. <i>Escorrentía de la cuenca alta (50 años).</i>	150
Tabla 64. <i>Cuenca media - Datos de Flujo de Subcuencas (50 años).</i>	153
Tabla 65. <i>Escorrentía de la cuenca media (50 años).</i>	154
Tabla 66. <i>Resumen de resultados de la lámina de escorrentía de la cuenca alta y media del río Manglaralto.</i>	160
Tabla 67. <i>Lámina de escorrentía de la subcuenca 8 y 16.</i>	161
Tabla 68. <i>Tabla resumen de ancho entable para un periodo de retorno de 50 años.</i>	187
Tabla 69. <i>Dimensionamiento de las defensas ribereñas.</i>	188

“MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS DE LA ESCORRENTÍA DEL RÍO MANGLARALTO EN LA COMUNA DOS MANGAS E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN FLUVIAL”

Autoras: Noboa Ángel Nicole y Magallán Pozo Jennifer

Tutor: Ing. Guido Ortiz Safadi

RESUMEN

El presente estudio analiza la escorrentía superficial en la cuenca alta y media del río Manglaralto, con el propósito de cuantificar la lámina de agua y los caudales generados ante eventos extremos, utilizando diferentes métodos empíricos mediante el software HEC-HMS. Asimismo, se realiza la modelación hidráulica de un tramo del río comprendido entre las abscisas 0+000 y 1+000 en la comuna Dos Mangas, con el fin de conocer las zonas vulnerables e implementar estrategias de restauración fluvial para mitigar el riesgo de inundaciones a través del software HEC-RAS. La lámina de escorrentía se estimó por el método número de curva SCS, obteniendo como resultado: $E=477.68\text{mm}$ (5años), $E_2=646.41\text{mm}$ (10años), $E_3=1044.69\text{mm}$ (25años) y $E_4=1413.71\text{mm}$ (50años). Para la estimación de caudales se aplicó el método racional, H.U. adimensional SCS, H.U. Snyder e H.U. Clark, siendo el H.U. adimensional SCS el más adecuado para el caso de estudio, estimando diferentes caudales de diseño: $Q_1=52.50\text{m}^3/\text{s}$ (5años), $Q_2=72.90\text{m}^3/\text{s}$ (10años), $Q_3=109.40\text{m}^3/\text{s}$ (25años) y $Q_4=145.80\text{m}^3/\text{s}$ (50años). El estudio concluye que el área de análisis corresponde al sector con mayor generación de escorrentía superficial. Como solución, se proponen dos estrategias: la implementación de defensas ribereñas mediante diques enrocados laterales y parches de vegetación nativa, riparia y parches de absorción.

PALABRAS CLAVE: *Escorrentía superficial, Hidráulica, Métodos empíricos, Restauración fluvial, Diques enrocados.*

“HYDROLOGICAL AND HYDRAULIC MODELING OF THE
MANGLARALTO RIVER IN THE COMUNE AT DOS MANGAS
AND APPLICATION OF RIVER RESTORATION STRATEGIES”

Authors: Noboa Ángel Nicole y Magallán Pozo Jennifer

Tutor: Guido Ortiz Safadi

ABSTRACT

This study analyzes surface runoff in the upper and middle basin of the Manglaralto River, with the purpose of quantifying the water sheet and the flows generated by extreme events, using different empirical methods with the HEC-HMS software. Likewise, the hydraulic modeling of a section of the river between abscissae 0+000 and 1+000 in the Dos Mangas commune was carried out in order to identify vulnerable areas and implement river restoration strategies to mitigate flood risk using the HEC-RAS software. The runoff sheet was estimated by the SCS curve number method, obtaining as a result: $E=477.68\text{mm}$ (5years), $E_2=646.41\text{mm}$ (10years), $E_3=1044.69\text{mm}$ (25years) and $E_4=1413.71\text{mm}$ (50years). For the estimation of flow rates, the rational method, H.U. dimensionless SCS, H.U. Snyder and H.U. Clark were applied, being the H.U. dimensionless SCS the most adequate for the case study, estimating different design flow rates: $Q_1=52.50\text{m}^3/\text{s}$ (5years), $Q_2=72.90\text{m}^3/\text{s}$ (10years), $Q_3=109.40\text{m}^3/\text{s}$ (25years) and $Q_4=145.80\text{m}^3/\text{s}$ (50years). The study concludes that the area of analysis corresponds to the sector with the highest generation of surface runoff. As a solution, two strategies are proposed: the implementation of riparian defenses through lateral rockfill dikes and patches of native vegetation, riparian vegetation and absorption patches.

KEY WORDS: *Surface runoff, Hydraulics, Empirical methods, Fluvial restoration, Rockfill dams.*

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La gestión de los recursos hídricos y la prevención de inundaciones han adquirido una gran importancia en la actualidad, debido a los efectos del cambio climático y fenómenos extremos como El Niño. Estos eventos han intensificado las lluvias y alterado el cauce natural del río en diversas cuencas hidrográficas, provocando impactos negativos en las zonas urbanas, los ecosistemas y las infraestructuras, comprometiendo severamente la conservación de las características intrínsecas y la funcionalidad ecológica de los ríos. En este contexto, se presenta la restauración fluvial como un conjunto de acciones y prácticas diseñadas para rehabilitar y mejorar la integridad ecológica y funcionalidad de los sistemas fluviales que han sido alterados por actividades humanas o cambios naturales. El objetivo principal mejorar la dinámica del cauce y las funciones ecosistémicas de las zonas riparias (Fang et al., 2024).

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo (SNGR), señala que, en la zona costera de Ecuador, las inundaciones son principalmente causadas por las precipitaciones intensas (Vincenti Serrano et al., 2016) asociadas al fenómeno de El Niño, que se ha manifestado de forma periódica a lo largo de los últimos miles de años. El primer evento significativo de El Niño en el siglo XXI ocurrió entre 2015 y 2016. Aunque existe incertidumbre sobre si las variaciones del fenómeno se intensificarán debido al cambio climático, se estima que las precipitaciones serán más intensas debido a una mayor disponibilidad de humedad en la atmósfera (Frey et al., 2016). Las condiciones climáticas anormales asociadas con la Oscilación del Sur de El Niño (ENOS) suelen perdurar en períodos de doce a dieciocho meses, durante las cuales se presentan lluvias torrenciales, deslizamientos e inundaciones en diversas regiones. A lo largo del siglo XX, Ecuador ha experimentado varios fenómenos de El Niño con consecuencias graves, siendo los más significativos y, sin considerar

el actual, los años de 1957-1958, 1972-1973 y 1982-1983 (Ministerio de Salud Pública, 2016)

El ciclo hidrológico natural de la cuenca del cauce Manglaralto se ha visto perturbado por diversas actividades humanas, tales como la urbanización, la agricultura intensiva, la deforestación y los efectos del cambio climático (H. Zhang et al., 2024b). Estas alteraciones han generado problemas como la erosión de riberas, la pérdida de biodiversidad y un aumento en la frecuencia e intensidad de las inundaciones (Sarmiento, 2009). Durante los meses de febrero y marzo de los años 2024 y 2025, se registraron eventos de inundación en la comuna Dos Mangas provocadas por el desbordamiento del río denominado por el mismo nombre de la comuna, río Dos Mangas, por lo que el objetivo principal de esta tesis es desarrollar un análisis de escorrentía y un modelamiento hidráulico con los softwares HEC-HMS y HEC-RAS, que permita comprender la dinámica actual del río y proponer estrategias de restauración fluvial que contribuyan a mejorar su funcionalidad. Los objetivos específicos de este estudio comprenden la caracterización detallada de la cuenca, el levantamiento topográfico de la zona de estudio, el análisis de escorrentía y el modelamiento hidráulico para la simulación de diversos escenarios con periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años.

El Capítulo I, está compuesto por el problema de investigación, antecedentes, hipótesis, objetivos generales y específicos, alcance, variables dependientes e independientes del trabajo de investigación considerando las diferentes condiciones de la zona estudiada.

En el Capítulo II se presenta el marco teórico que sustenta la investigación, donde se detalla la información recolectada de distintos libros, tesis y artículos relacionados con la línea de investigación del análisis hidrológico e hidráulico de cuencas hidrográficas.

En el Capítulo III se describe la metodología aplicada en la investigación, utilizando las variables, métodos y fórmulas.

En el Capítulo IV se lleva a cabo el análisis y la discusión de los resultados obtenidos durante el desarrollo del estudio, como la delimitación de la cuenca, el análisis de escorrentía, la estimación de los caudales y el modelamiento hidráulico de un tramo de 1km del río Dos Mangas para la evaluación de las estrategias de restauración fluvial en la misma comuna.

En el Capítulo V se da a conocer las conclusiones y recomendaciones del estudio, basado en los objetivos y el alcance.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A nivel internacional, se ha comprobado que las inundaciones son uno de los eventos que más agravan e intensifican los daños socioeconómicos en las poblaciones y actividades agroindustriales situadas en zonas vulnerables. Estos eventos generan efectos adversos sobre la población, como desplazamientos forzados, propagación de enfermedades y pérdidas materiales, entre otros. (Erasun et al., 2019). De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (WMO), durante la última década del siglo XX, aproximadamente 1.500 millones de personas se vieron afectadas por inundaciones. (WMO, 2011).

En América Latina, según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC), el cambio climático intensifica la crisis hídrica, dando lugar a fenómenos meteorológicos extremos como inundaciones por lluvias intensas. Estas lluvias, a su vez, causan el desbordamiento de ríos en diversos países de la región (Canziani & Diaz, 2000). En un estudio reciente en el Perú de Huarancay Sotacuro (2024), basado en la investigación titulada “*Determinación del nivel de riesgo de inundación por eventos extremos de precipitación en la comunidad de Acopalca del distrito de Huancayo, 2021*”, analiza la incidencia de inundaciones fluviales. Los resultados que las lluvias son más intensas entre los meses de diciembre y marzo, lo que genera alteraciones en el uso del suelo. El estudio concluye en dos clasificaciones del nivel de riesgo de inundación ante eventos de precipitación extrema: 1) nivel alto, correspondiente a un 82% del área de la comunidad Acopalca del Distrito de Huancayo (579.878,20m²) y 2) nivel muy alto, correspondiente el 18% del área (120.936,04m²).

En la zona costera de Ecuador, las inundaciones son principalmente causadas por precipitaciones intensas y el aumento en los caudales de ríos cercanos. El estudio de Vincenti Serrano et al., (2016), titulado “*Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de el niño. Caso de estudio: Machala*”, señala que Machala es una de las ciudades más vulnerable a inundaciones por el fenómeno del cambio climático, las consecuencias de las precipitaciones producen interrupción casi total de las vías, aísla poblaciones durante semanas, causa pérdidas humanas, la destrucción de áreas de cultivos y daños en infraestructuras civiles.

Las inundaciones en la comuna Dos Mangas y zonas aledañas son causadas por las lluvias extremas asociadas a fenómenos climáticos como El Niño. Durante los meses de febrero y marzo se presentan lluvias intensas, por lo que el caudal aumenta y, en consecuencia, el río Dos Mangas se desborda de sus límites, lo que se convierte en una problemática debido a que las poblaciones se asientan en las llanuras de inundación debido a su topografía plana, característica que permite el desarrollo urbano, pero también aumenta la exposición al riesgo de inundaciones. Además, la deforestación de las riberas provoca el desplazamiento temporal de familias agravando la situación socioeconómica de la comuna. Según el informe SITREP No. 06 – Lluvias (2024) de la Secretaría de Gestión de Riesgos, Dirección del Monitoreo de Eventos Adversos, el 21 de febrero del 2024, las intensas precipitaciones ocasionaron el desbordamiento del río en la comuna Dos Mangas, llevándose consigo una vivienda de hormigón armado ubicada cerca de los límites del cauce, afectando también 15 metros de vía incluido el badén, impidiendo la salida y acceso a la comuna. (Secretaria de Gestión de Riesgo, 2024).

La formulación general del problema de investigación se encuadra en la siguiente interrogante general: ¿Qué estrategias de restauración fluvial son aplicables de acuerdo con el análisis de escorrentía superficial y el modelo hidráulico para reducir riesgos de inundaciones y mejorar la dinámica y sostenibilidad del del río Dos Mangas?, de la cual se derivan tres preguntas específicas: **P.E.1:** ¿Cuáles son las características físicas y morfométricas de la cuenca y qué aspectos afectan la funcionalidad del sistema fluvial en la comuna Dos Mangas? **P.E.2:** ¿Cuál es la cantidad de escorrentía superficial y los caudales de diseño de la cuenca alta y

media del río Manglaralto según los métodos empíricos? **P.E.3:** ¿Qué estrategias de restauración fluvial pueden implementarse a partir del modelamiento hidráulico para prevenir el riesgo de inundaciones y mejorar la dinámica del cauce del río Dos Mangas?

1.2. ANTEDECENTES

El presente estudio contempla el análisis de investigaciones previas a nivel internacional y local, se analiza de forma crítica el problema que se pretende abordar (García Ramírez, 2019).

En el ámbito internacional, en el artículo titulado “*Restauración fluvial como estrategia de diseño urbano. Un diálogo entre investigación y diseño. Concurso río Andalién, Concepción, Chile*” aborda el tema de restauración fluvial como un enfoque clave para el diseño urbano sostenible. Los autores usaron una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos para proponer soluciones innovadoras en la recuperación y gestión de los ríos urbanos. Entre los métodos empleados, destacaron el análisis morfodinámico de los cauces, el uso de modelos de simulación hidráulica y la valoración ecológica de los ecosistemas fluviales. A través de este enfoque multidisciplinario, los investigadores concluyeron que la restauración fluvial no debe limitarse únicamente a la rehabilitación de los cauces, sino que debe considerar la integración de los ríos en el tejido urbano, fomentando la biodiversidad y el bienestar social. Además, sugieren que las estrategias de restauración deben ser flexibles y adaptativas, permitiendo una respuesta dinámica ante los cambios ambientales y sociales. Este enfoque, que combina la restauración ecológica con el diseño urbano, es considerado uno de los métodos más efectivos, ya que no solo mejora la salud ecológica de los ríos, sino que también promueve un desarrollo urbano más resiliente y sostenible (Espinosa et al., 2019).

En el contexto global, la investigación titulada “*Modelación hidrológica e hidráulica de un río intraurbano en una cuenca transfronteriza con el apoyo del análisis regional de frecuencias*”, (Salazar-Briones et al., 2018), aborda las inundaciones, uno de los peligros naturales más recurrentes y devastadores, que afectan vidas humanas y causan graves daños económicos en todo el mundo. Las

regiones áridas y semiáridas son particularmente vulnerables a tormentas intensas en periodos cortos, lo que provoca inundaciones súbitas. Estas regiones representan un 30% del área mundial y están habitadas por el 20% de la población. El objetivo principal de este estudio es estimar la tormenta de diseño para los periodos de retorno de 20, 50, 100 y 500 años en la región semiárida de la subcuenca del Río Nuevo, con el fin de determinar las áreas de inundación del cauce principal. La metodología propone un modelo integrado que consiste en desarrollar un acoplamiento del modelo hidrológico e hidráulico para diferentes periodos de retorno, utilizando un Análisis Regional de Frecuencia (ARF) con el enfoque de los L-momentos, y empleando los programas HEC-HMS y HEC-RAS. Los resultados muestran que las áreas de inundación obtenidas varían entre 190.55 m³/s y 237.83 m³/s hectáreas, con profundidades de agua desde 0.10 hasta 6.0 metros, comprometiendo la infraestructura urbana de la ciudad. En conclusión, los resultados de esta investigación pueden ser utilizados por los organismos encargados de la planeación urbana para disminuir los riesgos de inundación en la región estudiada.

En el ámbito nacional, la investigación titulada “*Modelamiento hidráulico del río Blanco y el río Cristal, para el análisis de inundaciones en la cabecera parroquial de Valle Hermoso, cantón Santo Domingo, 2022*”, de (Gordon Morillo et al., 2023), presenta un proyecto enfocado en la creación de un modelo hidráulico de los ríos Blanco y Cristal con el propósito de identificar las zonas de inundación en la cabecera parroquial de Valle Hermoso. El objetivo de esta investigación fue identificar las zonas de inundación en la cabecera parroquial de Valle Hermoso mediante el modelamiento hidráulico de los ríos Blanco y Cristal. La metodología empleada combinó métodos cualitativos y cuantitativos para recopilar, analizar y sistematizar la información. Se calcularon caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años en la microcuenca del río Cristal y en la subcuenca Blanco DJ Toachi. Además, se creó un Modelo Digital del Terreno (MDT) y un ortomosaico utilizando un dron DJI Mavic. Se realizó un análisis de sensibilidad del coeficiente de rugosidad de Manning para calibrar el modelo con datos de eventos reales ocurridos en la cabecera parroquial de Valle Hermoso. Los resultados mostraron que el modelo permitió realizar simulaciones bajo diferentes periodos de retorno para identificar las áreas susceptibles a inundación. La

conclusión destacó que las zonas más afectadas por las inundaciones fueron las áreas cercanas a las riberas de los ríos Blanco y Cristal, incluyendo la Unidad Educativa San Pedro de Valle Hermoso, la iglesia, el parque central, el GAD Parroquial y el recinto ferial, que son los principales espacios públicos del sector.

A nivel local, (Sanchez & Alvarez, 2024) en la investigación titulada “*Priorización de áreas de restauración hidrológica mediante AHP y SIG en la cuenca del río Dulcepamba en Bolívar-Ecuador*” presenta un análisis preliminar de suelo y la recolección de datos ambientales para la cuenca del río Dulcepamba en Bolívar, Ecuador, con el fin de llevar a cabo su restauración hidrológica (HR). El objetivo principal de este estudio fue identificar y priorizar las áreas para la restauración hidrológica en la cuenca del río Dulcepamba utilizando un sistema de información geográfica (SIG) y el método de toma de decisiones multicriterio del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP). La metodología incluyó una evaluación integral que abarcó aspectos morfológicos, propiedades del suelo, condiciones climáticas, vegetación y uso del suelo. Se investigaron las condiciones del terreno utilizando indicadores como la capacidad de flujo, la humedad topográfica, la resistencia del suelo, el transporte de sedimentos, la densidad de corriente, el número de curva, el NDVI, las precipitaciones y la distancia a los ríos. Los resultados y análisis se presentan en una serie de mapas, que establecen un punto de partida para la restauración hidrológica de la cuenca Dulcepamba. Los factores clave para evaluar la degradación del suelo en la cuenca incluyeron el uso de la tierra, la cubierta vegetal, la sedimentación, la humedad y la precipitación. Del territorio estudiado, el 10.7% no requiere restauración hidrológica, mientras que el 20.28% demanda restauración a largo plazo. Además, el 30.67% requiere restauración en el corto plazo, y el 33.35% requiere restauración de forma inmediata. En conclusión, con base en los hallazgos, se sugiere que las autoridades consideren la remediación ambiental de la cuenca y propongan diversas medidas de recursos humanos. Este enfoque analítico podría resultar valioso como herramienta para la restauración ambiental de cuencas hidrográficas en Ecuador.

A nivel local, el estudio titulado “*Determinación de la geometría y características físicas de las subcuencas del río Olón*”, (CABRERA ROSALES & FIGUEROA CHANCAY, 2022), busca delimitar los límites de las 19 subcuencas presentes en

el río Olón utilizando la topografía del lugar obtenida de Google Earth a escala 1:50000, con curvas de nivel a cada metro, y realizar una modelación hidrológica del cauce para la estimación de zonas de inundación en un área de 56.2 km². El objetivo es prevenir y reducir el riesgo de inundación en zonas cercanas a los cauces del río. La metodología incluyó el uso del Método Racional para calcular la estimación del caudal en distintos escenarios, obteniendo diferentes caudales de diseño con sus respectivos períodos de retorno: Q1=21.65 m³/s (5 años), Q2=25.36 m³/s (10 años), Q3=30.34 m³/s (25 años) y Q4=34.25 m³/s (50 años). Los parámetros para la simulación se basaron en la metodología del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) para simular el flujo durante 24 horas, utilizando los softwares HEC-RAS 5.0.1 y QGIS 3.16.9. Se realizaron modelos para cuatro tipos de escenarios con períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años, empleando tanto el Método Racional como el Método SCS. Los resultados indicaron que, según las simulaciones con el Método Racional, el mayor desbordamiento es de 0.08 m de altura en ciertos sitios de la cuenca media, derivado del escenario 4 con un periodo de retorno de 50 años. Por otro lado, las simulaciones con el Método SCS mostraron que el mayor rebosamiento es de 0.12 m de altura en los mismos sitios de la cuenca media, también derivado del escenario 4 con un periodo de retorno de 50 años. En conclusión, el estudio proporciona datos valiosos que pueden ser utilizados para planificar y ejecutar medidas de mitigación del riesgo de inundación en las zonas cercanas a los cauces del río Olón.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General.

La implementación de estrategias de restauración fluvial basada en el análisis de escorrentía superficial de la cuenca alta y media del río Manglaralto y el modelamiento hidráulico del río Dos Mangas, permitirá reducir el riesgo de inundaciones, mejorar la dinámica del cauce.

1.3.2. Hipótesis Específicas.

H.E.1: La determinación de las características físicas y morfométricas de la cuenca permitirá evaluar el recurso hídrico del río Manglaralto, y los factores que afectan la funcionalidad del sistema fluvial en la comuna Dos Mangas.

H.E.2: El análisis de la escorrentía superficial en la cuenca alta y media del río Manglaralto mediante la aplicación de los métodos empíricos del hidrograma unitario de Snyder, el hidrograma unitario de Clark y el método del Hidrograma adimensional SCS en el software HEC-HMS, permitirá estimar el caudal de diseño para diferentes períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años.

H.E.3: El modelamiento hidráulico de un tramo del río Dos Mangas, mediante el software HEC-RAS, permitirá analizar el comportamiento del flujo y desarrollar estrategias de restauración fluvial para prevenir el riesgo de inundaciones y mejorar la dinámica del cauce.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

Implementar estrategias de restauración fluvial a partir del análisis de escorrentía superficial de la cuenca alta y media del río Manglaralto y el modelamiento hidráulico del río Dos Mangas para reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la dinámica del cauce.

1.1.1. Objetivos Específicos.

O.E.1: Determinar las características físicas y morfométricas de la cuenca mediante la revisión del Sistema de Información Geográfica (SIG) para evaluar los factores que afectan la funcionalidad del sistema fluvial en la comuna Dos Mangas.

O.E.2: Analizar la escorrentía superficial de la cuenca alta y media del río Manglaralto mediante la aplicación de diferentes métodos empíricos usando el software HEC-HMS con el fin de estimar el caudal de diseño para períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años.

O.E.3: Realizar el modelamiento hidráulico de un tramo del río Dos Mangas utilizando el software HEC-RAS para simular el comportamiento del flujo y establecer estrategias de restauración fluvial que mitiguen las inundaciones y mejoren la dinámica del cauce.

1.2. ALCANCE.

El presente trabajo de investigación aborda el análisis de escorrentía superficial de la cuenca alta y media del río Manglaralto, así como el modelamiento hidráulico de un tramo del río Dos Mangas, con el fin de comprender el comportamiento del flujo bajo diferentes períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años. En primera instancia, la investigación se centra en la caracterización de la cuenca que abarca un área de 51.33 km^2 y la identificación de factores que influyen en el desbordamiento del río, seguido del análisis de escorrentía y por último el modelamiento hidráulico que abarca un tramo del cauce principal comprendido entre las abscisas 0+000 y 1+000 del eje definido, correspondiente a un área de estudio de aproximadamente 6 hectáreas, situada a “61.7 km al noroeste del cantón Santa Elena, y a 6.5 km de la cabecera parroquial Manglaralto, su extensión territorial es de 4.784,03 ha” (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Manglaralto, 2023, p. 15)

Para el análisis de escorrentía superficial y el modelamiento hidráulico, se implementa el uso de dos softwares de gestión hídrica HEC-HMS y HEC-RAS, utilizando datos previamente obtenidos del Sistema de Información Geográfica (SIG) y el software Arc-GIS, para la caracterización de la cuenca. El estudio hidrológico se basa en los parámetros k, m y n obtenidos del artículo “Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí” los cuales permitieron construir las curvas IDF en la cuenca del río Manglaralto. Este artículo analiza los datos de precipitación

de las estaciones meteorológicas Manglaralto (M0619) y Barcelona (M0782), con un periodo de 1990-2013 de datos de registros de precipitación, permitiendo generar los hietogramas de diseño correspondientes a los diferentes periodos de retorno, y así evaluar los caudales y la lámina de escorrentía. Para la modelación hidráulica se realiza un levantamiento topográfico del río Dos Mangas, mediante el uso de dron y equipo GNSS, abarcando un tramo de 600 metros aguas arriba y 400 aguas abajo a partir de un punto de referencia correspondiente al badén, el cual se encuentra ubicado en la abscisa 0+640 con coordenadas geográficas UTM zona 17S: ESTE 533493.68; NORTE 9797769.604. Los datos obtenidos proporcionan información crucial sobre la topografía y las características físicas del área, facilitando la simulación del comportamiento hidráulico del río en el tramo especificado, lo que contribuye a identificar las áreas vulnerables a inundación en la comuna Dos Mangas y así implementar estrategias de restauración fluvial.

En el río Dos Mangas se identifica la degradación de su cauce debido a actividades humanas y cambios climáticos, lo que ha resultado en la erosión de las riberas y el aumento del riesgo de inundaciones. Se espera que los resultados del presente estudio proporcionen la comprensión de la dinámica hidráulica del cauce y ofrezcan soluciones prácticas para su restauración. Las estrategias propuestas no solo ayudarán a mitigar los problemas actuales, sino que también contribuirán a la resiliencia del ecosistema fluvial, la preservación del cauce natural y al bienestar de las comunidades locales a largo plazo (Wu et al., 2022).

Se reconocen algunas limitaciones potenciales, como la complejidad del modelamiento hidráulico y la incertidumbre asociada con las proyecciones futuras del cambio climático.

1.3. VARIABLES

1.3.1. Variables Independientes.

- Características físicas y morfométricas de la cuenca de estudio.
- Factores hidrometeorológicos y climáticos.
- Datos de precipitación de la parroquia Manglaralto.
- Estrategias de restauración fluvial en la comuna Dos Mangas.

1.3.2. Variables Dependientes.

- Evaluación del recurso hídrico de la cuenca.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO CONCEPTUAL DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO

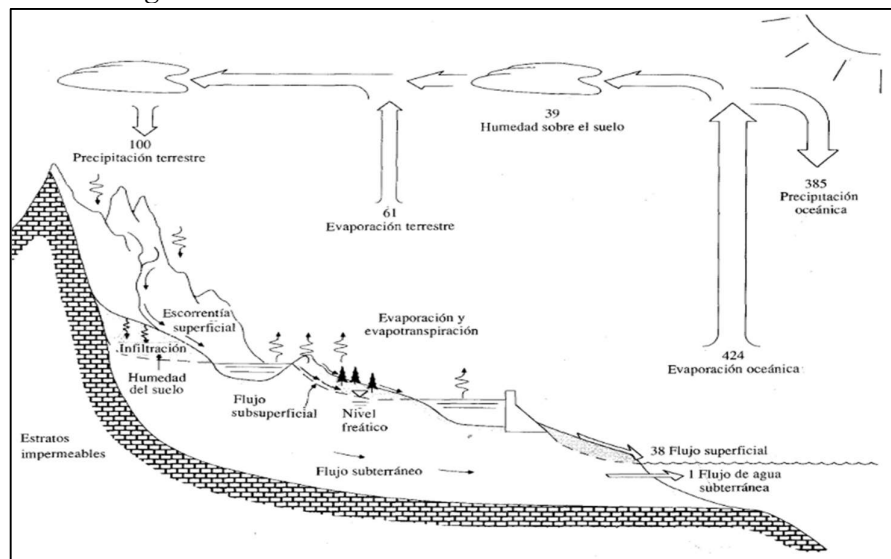
2.1.1. El ciclo hidrológico.

“El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología. El ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua.” (V. T. Chow et al., 1994). Está constituido por una serie de procesos continuos, tanto de movimiento como de transferencia de agua en todo el planeta comprendiendo cuerpos de agua, océanos, y la atmosfera terrestre (Loor, 2017).

El ciclo hidrológico se presenta en la Figura 1.

Figura 1.

El ciclo hidrológico.



Nota. Tomado de “Hidrología aplicada” (p. 3), por Chow et al., 1994, McGRAW.

2.1.2. Hidrología y su importancia en el análisis de inundaciones.

La hidrología es una ciencia que abarca los fenómenos naturales que ocurren dentro del ciclo hidrológico. El estudio de esta orienta a un análisis de diseños hidrológicos que tienen como objetivo interpretar y cuantificar los fenómenos climatológicos, lo que proporciona soporte a trabajos de investigación, proyectos y obras de ingeniería hidráulica, de infraestructura y de medio ambiente. (Fattorelli & Fernandez, 2011)

En el análisis de inundaciones, la hidrología es crucial para comprender cómo el agua precipitada en forma de lluvia o nieve llega al suelo, se acumula y se convierte en escorrentía superficial. A partir de este análisis, se puede evaluar el impacto de las precipitaciones intensas sobre los sistemas de drenaje y los cuerpos de agua. El comportamiento hidrológico de una cuenca depende de varias variables, tales como el tipo de suelo, la pendiente del terreno, la vegetación, y la capacidad de los cuerpos hídricos para almacenar o drenar el exceso de agua.

2.1.3. Aspectos claves en el análisis hidrológico de inundaciones.

2.1.3.1. Precipitación y su conversión en escorrentía.

La cantidad de lluvia que cae en una región puede convertirse en escorrentía según la tasa de infiltración y la capacidad del suelo para absorber el agua, las cuales depende principalmente de factores hidrológicos, climatológicos y geológicos (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA; Participación del Fondo Internacional para el Desarrollo de la Agricultura y la Cooperación Suiza & Complementario, 2013). Los suelos más permeables facilitan la infiltración, mientras que los suelos compactos o impermeables generan mayor

escorrentía superficial, lo que incrementa el riesgo de inundaciones.

En las cuencas hidrográficas donde no se gestiona adecuadamente la escorrentía, la erosión hídrica deteriora los suelos y los cauces experimentan crecidas repentinas y peligrosas durante la temporada de lluvias. Por el contrario, en épocas secas, los caudales disminuyen a niveles críticos, los pequeños manantiales tienden a secarse, y la disponibilidad de agua para las personas se reduce considerablemente (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA; Participación del Fondo Internacional para el Desarrollo de la Agricultura y la Cooperación Suiza & Complementario, 2013)

2.1.3.2. Intensidad de precipitación.

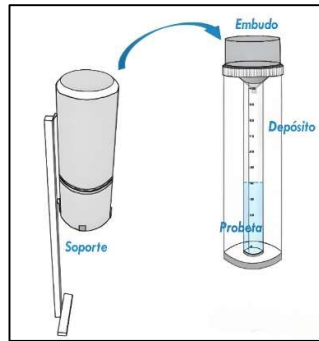
“Es la cantidad de agua que cae en una cierta área por unidad de tiempo” (Bateman, 2007, p. 22). Generalmente su unidad de medida está dado en (mm/hora), este parámetro “indica si el evento es de mayor o pequeña duración” (Salguero Pérez, 2021, p. 37).

Para medir las precipitaciones en un área específica, se emplean varios instrumentos que permiten cuantificar la cantidad de agua acumulada. A continuación, se describen algunos de ellos.

a) Pluviómetros. Un pluviómetro utiliza una bureta con una sección menor que la apertura del dispositivo como se muestra en la Figura 2. La lectura del agua acumulada se realiza una vez al día con un margen de error de ± 0.1 mm. (San Román Sanchez, 2017).

Figura 2.

Forma esquemática del pluviómetro.

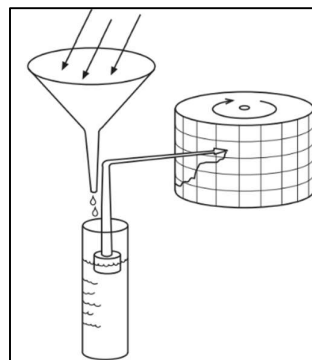


Nota. Tomado de *INTESCO*.

b) Pluviógrafos. Mide la evolución de la precipitación con respecto al tiempo. Ciertos modelos como se muestra en la Figura 3 cuentan con un flotador que eleva la plumilla, la cual grafica el nivel del agua en el recipiente a medida que se llena, el grafico obtenido se denomina pluviograma y la pendiente de esta permite calcular la intensidad de precipitación en todo momento. Existen otros modelos conocidos como pluviógrafos de “cangilones” como se muestra en la figura 4, que operan con dos pequeños recipientes dispuestos en un sistema de balancín. Estos recipientes recogen agua de forma alterna; cuando uno se llena, su peso hace que el balancín se incline, permitiendo que el agua caiga en el otro lado. Cada vuelco del balancín generalmente representa aproximadamente 0.2 mm de precipitación. (San Román Sanchez, 2017)

Figura 3.

Esquema del pluviógrafo con flotador.



Nota. Tomado de *Precipitaciones* (p. 2), por San Román Sánchez, 2017.

Figura 4.

Pluviógrafo de cangilones.



Nota. Tomado de *Precipitaciones* (p. 2), por San Román Sanchez, 2017.

2.1.3.3. Topografía y pendientes del terreno.

La topografía es la ciencia que se encarga de estudiar y aplicar métodos para determinar las posiciones relativas de puntos en la superficie terrestre, tanto sobre como debajo de ella. (Calero Jimenez et al., 2019)

Dentro del análisis hidrológico también se considera la topografía de la cuenca, en terrenos con mayor inclinación, el agua fluye más rápidamente hacia ríos y arroyos después de fuertes lluvias, lo que puede generar inundaciones más rápidas y repentinas. Por otro lado, en áreas llanas, el agua tiende a acumularse, provocando inundaciones más prolongadas.

2.1.3.4. Capacidad de los suelos para absorber agua.

Un aspecto crítico en el análisis hidrológico es la capacidad de absorción del suelo, que depende del tipo de suelo, la presencia de vegetación y el nivel de saturación previo al evento de precipitación. Los suelos saturados o impermeables contribuyen a una mayor escorrentía, lo que incrementa el riesgo de inundación.

En una cuenca hidrográfica, el cambio del uso del suelo modifica la

respuesta hidrológica, especialmente en el escurrimiento del agua, lo que provoca que en varios tramos del río no se logre controlar el exceso de escorrentía debido a sus suelos impermeables; esto altera de forma significativa el patrón de descarga de la cuenca durante tormentas intensas de corta duración, generando inundaciones con un alto nivel de erosión (Campos & Vargas, 2014)

2.1.3.5. *Comportamiento de los cuerpos hídricos.*

El comportamiento de los ríos y otros cuerpos de agua es fundamental para entender cómo las inundaciones se extienden fuera de los límites del cauce. En un evento de precipitación extrema, los caudales incrementan rápidamente superando la capacidad de los canales, lo que trae como consecuencia desbordamientos que afectan las áreas cercanas al cuerpo de agua.

2.1.3.6. *Factores climáticos y variabilidad.*

La variabilidad climática, como el aumento de eventos extremos influye directamente en la probabilidad de inundaciones. El cambio climático ha intensificado estos eventos, alterando los patrones de precipitación y aumentando el riesgo de inundaciones en muchas regiones del mundo.

Un fenómeno de variabilidad climática que tiene impacto a nivel global es “El evento EL NIÑO” (Hernandez, 2006).

2.1.4. Hidrología Fluvial y su geomorfología.

La hidrología fluvial es el estudio de la variación y el comportamiento de los caudales de un río a lo largo del tiempo. (Martin Vide, 2003)

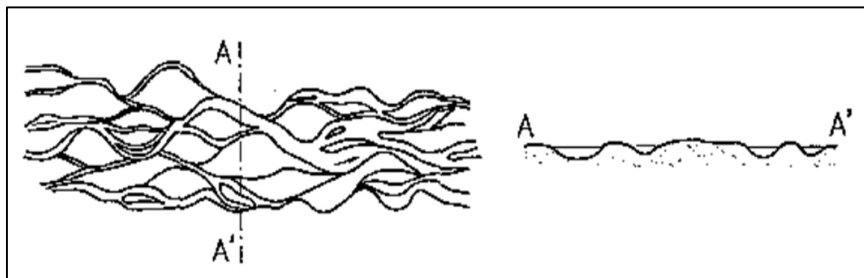
En la naturaleza se distinguen dos geomorfologías fluviales típicas.

2.1.4.1. *Cauce trenzado.*

Es un cauce amplio, compuesto por varios cauces menores que se entrelazan entre sí y forman estructuras trenzadas, creando islas sumergibles. Estos cauces son dinámicos e inestables, ya que pueden cambiar significativamente tras una fuerte crecida, se les conoce también como divagantes debido a que su brazo principal varía de ubicación constantemente. Las corrientes con grandes cargas de sedimentos tienden a generar estos cauces trenzados, este fenómeno es muy común en ríos de montaña con fuertes pendientes y sedimentos gruesos. (Martin Vide, 2003). La sección transversal de un cauce trenzado se muestra en la Figura 5.

Figura 5.

Planta y sección transversal de un cauce trenzado.



Nota. Tomado de *Ingeniería de ríos* (p. 27), por Juan P. Martin Vide, 2003, ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. DE C.V.

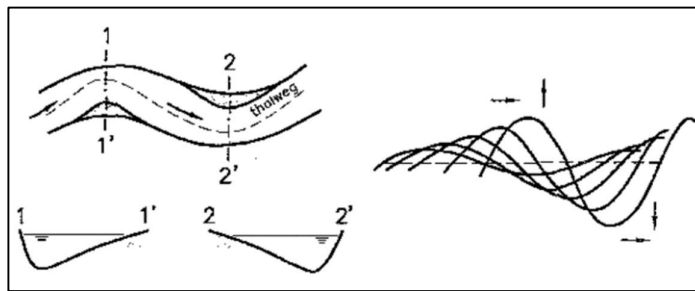
2.1.4.2. *Cauce Sinuoso.*

La sinuosidad de un cauce es el mecanismo natural que le permite ajustar su pendiente. La forma y geometría de los cauces meándricos dependen de los procesos de erosión y sedimentación que se desarrollan dentro del canal. (Ceballos López, 2011)

Los meandros son una morfología dinámica del cauce fluvial, ya que experimentan una evolución constante. Aunque este proceso es complejo, puede describirse como la combinación de dos movimientos: un desplazamiento hacia aguas abajo y una erosión lateral que profundiza el cauce, afectando las orillas de manera perpendicular al flujo principal. (Martin Vide, 2003). La morfología de los cauces sinuosos se muestra en la Figura 6.

Figura 6.

Cauce meandriforme: morfología (planta y secciones transversales vistas en el sentido de la corriente) y evolución ideal (derecha).



Nota. Tomado de *Ingeniería de ríos* (p. 28), por Juan P. Martin Vide, 2003, ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. DE C.V.

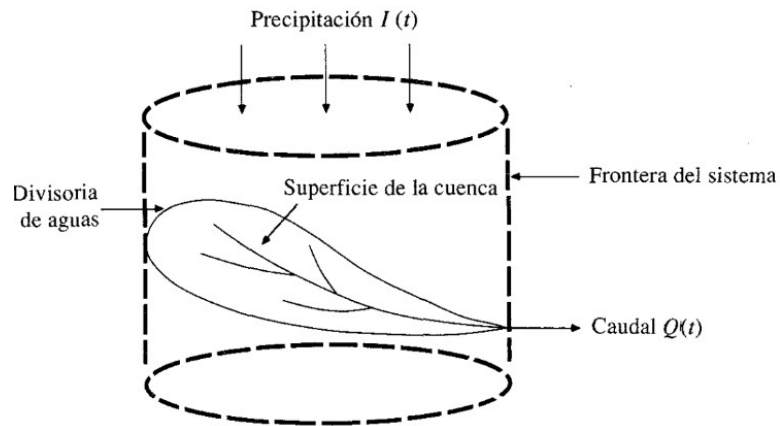
2.1.5. Modelos Hidrológicos.

Los modelos hidrológicos son una representación simplificada del mundo real que permite comprender el funcionamiento de una cuenca de drenaje. Constituyen una respuesta lógica al esfuerzo por entender los procesos de transformación de la precipitación en escorrentía, así como la capacidad del agua para transportar diversas sustancias. La aplicación de un modelo hidrológico es ampliamente utilizada para la previsión de alertas tempranas ante riesgos de avenidas e inundaciones, la gestión y planificación de cuencas, en la agricultura, y en el diseño de infraestructuras, también es esencial en estudios de impacto del

cambio climático. (Pascual Aguilar & Díaz Martín, 2016). El sistema hidrológico de una cuenca se observa en la Figura 7.

Figura 7.

La cuenca como un sistema hidrológico.



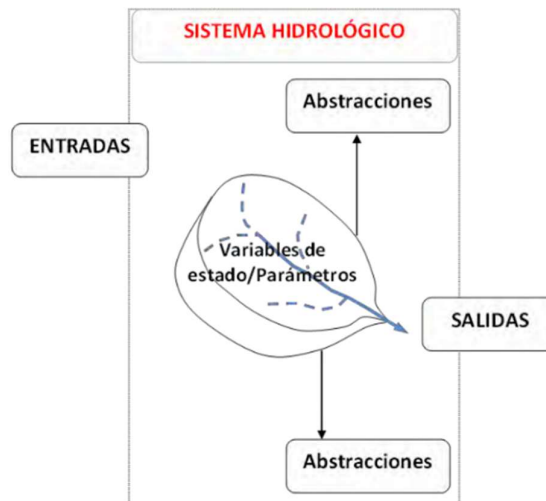
Nota. El grafico muestra un modelo de variables hidrológicas de entradas y salidas. Tomado de *Hidrología aplicada* (p. 8), por Chow et al., 1994, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

De manera esquemática, la representación de una cuenca como un sistema a modelar y la estimación de la escorrentía en su flujo de salida (hidrograma) pueden agruparse en tres fases principales: la precipitación (entradas), los procesos intermedios que ocurren dentro del sistema hidrológico, y la generación de caudal (salidas) (V. T. Chow et al., 1994).

La representación esquemática de un sistema hidrológico se muestra en la Figura 8.

Figura 8.

Representación esquemática de los procesos producidos en una cuenca de drenaje.



Nota. Tomado de *Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS* (p. 3), por Pascual Aguilar y Díaz Martín, 2016, Centro para el Conocimiento del Paisaje, Instituto IMDEA agua.

En un modelo hidrológico se distinguen tres tipos de variables claves: las *variables de entrada*, que representan factores externos como la precipitación; las *variables de estado*, que corresponden a la cantidad de materia almacenada en los subsistemas; como, los niveles de humedad; y las *variables de salidas*, que reflejan los resultados del sistema, como el caudal o la escorrentía (Pascual Aguilar & Díaz Martín, 2016).

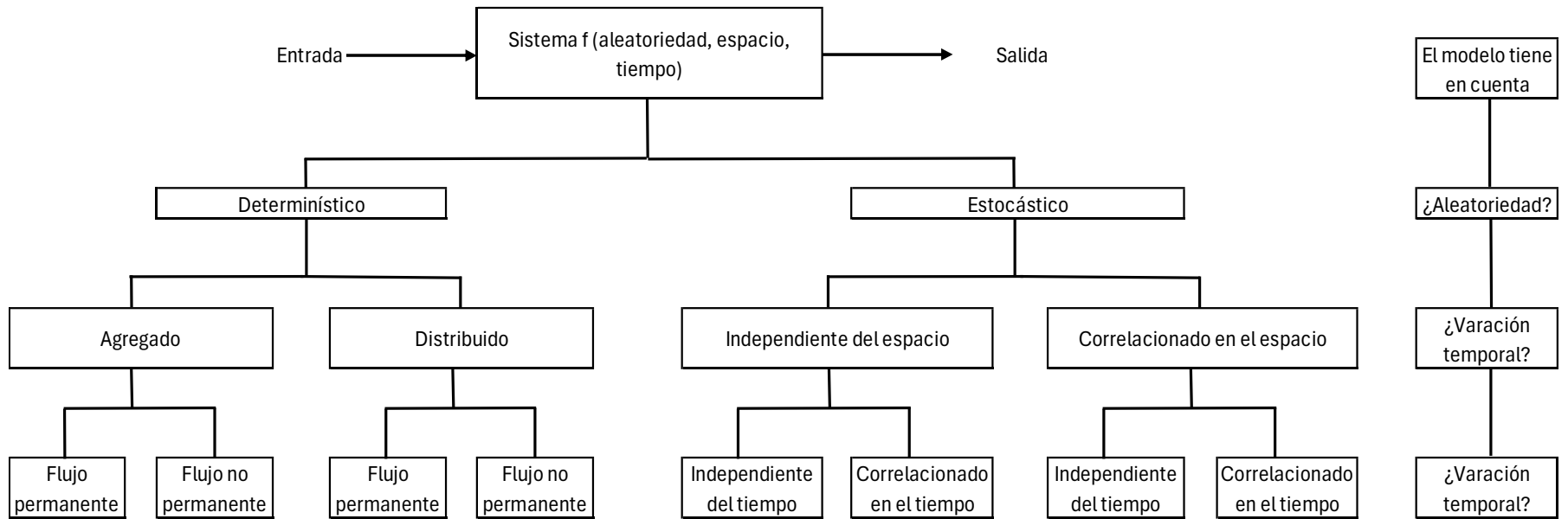
2.1.5.1. Clasificación de los modelos hidrológicos.

“Los modelos hidrológicos pueden dividirse en dos categorías: modelos físicos y modelos abstractos.” (V. T. Chow et al., 1994, p. 9).

En la Figura 9 se muestra la calificación de los modelos hidrológicos.

Figura 9.

Clasificación de modelos hidrológicos de acuerdo con la forma, la aleatoriedad y la variabilidad espacial y temporal de los fenómenos hidrológicos.



Nota. Tomado de *Hidrología aplicada* (p. 11), por Chow et al., 1994, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

2.2. MARCO CONCEPTUAL DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO

2.2.1. Hidráulica fluvial.

La Hidráulica se centra en el estudio del comportamiento y movimiento de los fluidos, especialmente el agua. Se subdivide en dos ramas principales: la hidrostática, que examina los fluidos en reposo, y la hidrodinámica, que se ocupa del análisis de los fluidos en movimiento. (Salguero Pérez, 2021)

“La Hidráulica Fluvial tiene mucho que ver con el comportamiento de importantes estructuras hidráulicas” (Rocha, 1998, p. 34)

2.2.1.1. *Movilidad fluvial.*

Desde el punto de vista hidráulico, un río puede considerarse un canal, pero su comportamiento es mucho más complejo que las simplificaciones o esquemas que se suelen utilizar al estudiar el flujo en canales. Los ríos presentan dinámicas naturales y variaciones que no siempre se ajustan a los modelos idealizados de los canales artificiales. (Rocha, 1998)

2.2.1.2. *Clasificación de los ríos.*

Una clasificación general de los ríos es la siguiente.

- a) **Ríos con áreas de inundación.** Las áreas de inundación existen debido a los desplazamientos laterales que el río ha realizado a lo largo del tiempo sobre una llanura aluvial. Estos movimientos naturales del cauce generan zonas propensas a inundaciones. (Rocha, 1998)
- b) **Ríos confinados, sin áreas de inundación.** Su cauce está confinado por barreras naturales o artificiales que limitan su expansión lateral.

2.3. CUENCA HIDROGRÁFICA

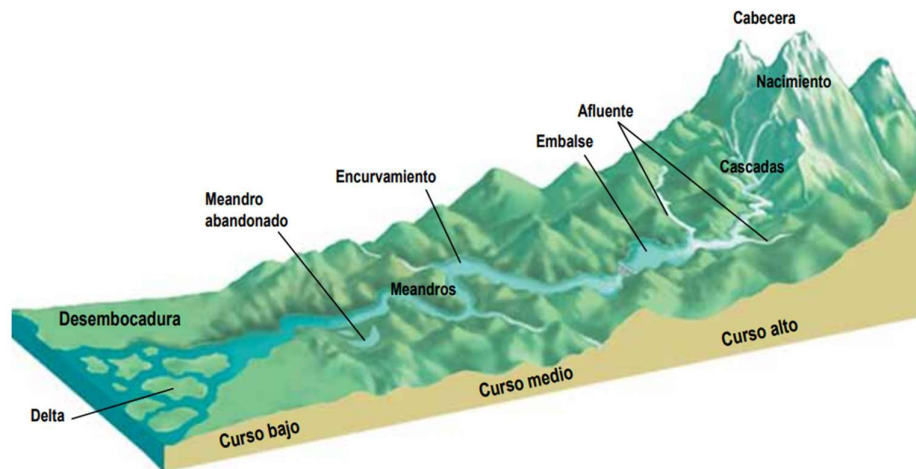
“La cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, que dispone de una salida simple para que todo el caudal efluente sea descargado.” (Vásconez et al., 2019, p. 15)

El área de una cuenca puede medirse utilizando diversos métodos; es fundamental contar con una representación gráfica precisa, como una imagen satelital o un mapa topográfico, para facilitar su análisis. (Vásconez et al., 2019)

Las cuencas hidrográficas son utilizadas como unidades para la planificación territorial y se dividen en secciones más pequeñas conocidas como subcuencas y microcuencas, las mismas que a su vez se subdividen en tres zonas importantes en la cuenca; cuenca alta, media y baja descritas en la Figura 10. (Guachamín et al., 2015)

Figura 10.

Esquema de una cuenca hidrográfica.



Nota. Tomado de *Valoración de efectos e impactos de intervenciones de gestión, manejo y protección de áreas de recarga hídrica y de fuentes de agua en microcuencas: Experiencia de mancomunidades de municipios* (p. 15), por Saavedra, 2015, HELVETAS Swiss Inter corporation.

2.3.1. Cuenca alta.

La cuenca alta, también denominada cabecera de la cuenca hidrográfica, es la zona donde se produce la mayor captación de agua de lluvia. Esta región juega un papel crucial en la regulación y suministro hídrico a las demás áreas de la cuenca a lo largo del año. Cualquier actividad que se realice en esta parte, ya sea positiva o negativa, afectará directamente al resto de la cuenca. (Guachamín et al., 2015). “Es la zona donde se ubica el nacimiento del río principal en zonas de laderas y montaña” (Valdivielso, 2024)

2.3.2. Cuenca media.

La cuenca media de una cuenca hidrográfica se refiere a la zona intermedia entre la parte alta, donde nacen los ríos, y la parte baja, donde el agua fluye hacia el mar o un cuerpo receptor; la parte media de la cuenca está conformada por aguas superficiales o subterráneas que desembocan a la red hidrográfica natural a través de uno o varios cauces. En esta región, se desarrollan principalmente actividades productivas, como la agricultura y la ganadería, lo que puede generar una mayor presión sobre los recursos hídricos. La cuenca media también desempeña un papel importante en la regulación del flujo de agua, actuando como un filtro que puede mitigar los efectos de las acciones realizadas en la parte alta antes de que lleguen a la parte baja (Guachamín et al., 2015).

2.3.3. Cuenca baja.

La cuenca baja es la sección situada más cerca de la desembocadura, donde el río o arroyo finaliza su recorrido hacia el mar. En esta área, el flujo de agua suele ser más lento y se puede ver afectado por factores como la sedimentación y la actividad humana. Además, la cuenca baja es crucial para el ecosistema, ya que alberga humedales y zonas ribereñas que son esenciales para la biodiversidad y para el suministro de agua a comunidades locales. Las acciones realizadas en la parte alta de la cuenca tienen un impacto directo en esta zona, haciendo que cualquier

cambio en el uso del suelo o en la gestión del agua se refleje en la calidad y cantidad de los recursos hídricos en la parte baja (Guachamín et al., 2015).

2.4. RED HIDROGRÁFICA

“Una red hidrográfica es un sistema de circulación lineal que modela el drenaje de una cuenca hidrográfica” (INEGI, 2010, p. 6).

Según Ordóñez (2011) la red hidrográfica: se refiere a las trayectorias o al arreglo que guardan entre sí, los cauces de las corrientes naturales dentro de ella. Es otra característica importante en el estudio de una cuenca, ya que manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir, la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe. La forma de drenaje proporciona también información en lo que respecta a las condiciones del suelo (p. 26).

2.5. FLUJO NO PERMANENTE EN CAUCES DE RIOS

“Es un flujo inestable que ocurre cuando los parámetros del flujo cambian con el tiempo un punto fijo, por ejemplo, la profundidad de agua o el caudal” (Rivas Carlin, 2023, p. 24). Cuando llueve mucho, el nivel del río sube, el agua corre más rápido y con más fuerza, cuando deja de llover, el caudal baja y en algunos casos el flujo puede desaparecer por completo. Estos cambios en la velocidad, profundidad o cantidad de agua a lo largo del tiempo son lo que hacen que el flujo sea no permanente.

2.6. PRECIPITACIONES

Gámez Morales (2009) menciona que: “la precipitación es la caída del agua en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve y granizo) hacia la superficie terrestre. Es un fenómeno que sucede como producto de la condensación del vapor de agua” (p. 16)

Existen diferentes tipos de precipitación que son:

- a) **Las ciclónicas.** Son las provocadas por los frentes asociados a una borrasca o ciclón. La mayor parte del volumen de precipitación recogido en una cuenca se debe a este tipo de precipitaciones (Sanchez J., 2022a)
- b) **Las de convección.** Se producen por el ascenso de bolsas de aire caliente; que al momento de enfriarse provocan precipitación.
- c) **Las precipitaciones orográficas.** Se presentan cuando masas de aire húmedo son obligadas a ascender al encontrar una barrera montañosa (Sanchez J., 2022b), formando nubes al momento que el aire se enfría.

El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal (en general la única) entrada de agua a una cuenca. También es fundamental en la previsión de avenidas, diseño de obras públicas, estudios de erosión, etc. Intensidad de precipitación es igual a precipitación/tiempo (Sanchez J., 2022b).

2.7. ESCORRENTÍA

“La escorrentía es uno de los procesos básicos propios del ciclo del agua, hace referencia al flujo de agua procedente de las lluvias o deshielo de nieve que circula sobre la superficie del suelo una vez supera su capacidad de evaporización y de infiltración de la misma, según explican desde el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Existen diferentes tipos que van desde la superficial, hipodérmica y subterránea” (AQUAE FUNDACION, 2022)

La escorrentía superficial; es la más rápida ya que no llega a infiltrarse en la superficie del terreno por la acción de la gravedad y suele ser la que lleva a mares y océanos.

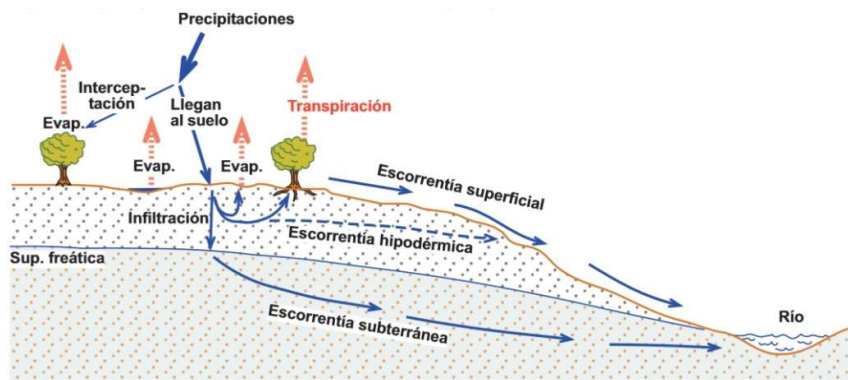
La escorrentía hipodérmica; hace referencia a una parte de la precipitación que se infiltra en el terreno llegando a circular por el subsuelo a poca profundidad y en una

corta distancia. Una vez encuentra un canal de flujo pasa a convertirse en escorrentía superficial poco después de la lluvia sin llegar a ser nunca subterránea.

La escorrentía subterránea; el agua llega a infiltrarse hasta alcanzar el nivel freático. La humedad del suelo, la intensidad de la precipitación o las características geológicas son algunos de los factores que influyen en la creación de este tipo de escorrentía.

Figura 11.

Tipos de escorrentía.



Nota. Tomado de *Alicaresp.*

2.8. TEMPERATURA

Según el Instituto Espacial Ecuatoriano y Coordinación General del Sistema de Información Nacional (2012):

La temperatura del aire es el elemento del clima al que se asigna mayor importancia como causa de las variaciones que experimentan el crecimiento, el desarrollo y la productividad de los cultivos agrícolas. Por esta razón, es necesario conocer la disponibilidad (cantidad y duración) y el régimen térmico de una localidad, que con las disponibilidades hídricas (precipitación y humedad edáfica) permitirá cuantificar la aptitud climática regional. (p. 11)

2.9. EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

Thornthwaite (1948) menciona que: “La evaporación combinada de la superficie del suelo y la transpiración de las plantas, llamada evapotranspiración, representa el transporte del agua de la tierra a la atmósfera, a la inversa de la precipitación” (p. 55)

La evaporación es el mecanismo por el cual el agua en estado líquido se convierte en vapor y se libera de las superficies ocurriendo el proceso de remoción de vapor. La evaporación puede tener lugar en distintas superficies, incluyendo lagos, lagunas, ríos, vías y suelos. La transpiración es el proceso en el que el agua líquida presente en los tejidos de las plantas se vaporiza y se libera a la atmósfera. La mayor parte del agua que pierden los cultivos lo hace a través de las estomas, que son pequeñas aberturas en las hojas. A través de estas estomas, los gases y el vapor de agua se intercambian entre la planta y el ambiente. Ambos procesos ocurren simultáneamente. (FAO, 2006)

La Evapotranspiración (ET), es un parámetro climático que depende de varios factores ambientales como la radiación solar, temperatura, humedad, viento, presión atmosférica, entre otras; y se divide en Evapotranspiración Potencial (ETP) y Evapotranspiración Real (ETR). Su unidad de medida es el milímetro (mm) (Sanchez, 2015)

2.10. CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF).

“Las curvas de intensidad-duración-frecuencia son gráficas que representan las características de las tormentas que tienen ocurrencia en una zona o región” (Corapi & Nuñez Neira, 2022, p. 45). La lluvia se define mediante tres variables: 1) magnitud, correspondiente a lámina de precipitación; 2) duración y; 3) frecuencia,

asociada al periodo de retorno. Para un análisis más completo se considera la intensidad en vez de la lámina de precipitación.

2.11. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y MODELOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS.

2.11.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas eficaces para abordar cuestiones relacionadas con la distribución espacial y temporal de la escorrentía. Estos sistemas simplifican el manejo de la información hidrológica al integrar procesos específicos para la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelado y visualización de datos georreferenciados. Además, permite combinar los resultados de modelos hidrológicos con diversas características físico-geográficas de las cuencas, creando un sistema de prevención que facilita el pronóstico de inundaciones y apoya la toma de decisiones adecuada. (Carreras Flores, 2013)

2.11.2. Introducción al HEC-HMS.

“El Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) está diseñado para simular los procesos de precipitación-escorrentía de los sistemas de cuencas dendríticas.” (Engineers, 2000, p. 2)

El HEC-HMS es una herramienta de modelado hidrológico desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) utilizado para estudios de hidrología aplicada, para análisis de escurrimientos superficiales, inundaciones, evaluaciones de impacto ambiental y en la planificación de infraestructuras de control de agua. Su propósito principal es simular el ciclo hidrológico en cuencas hídricas y predecir el comportamiento del agua en respuesta a diferentes condiciones meteorológicas y geográficas. Este programa incluye

diversos modelos matemáticos para simular la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración, la transformación del exceso de precipitación, el flujo de base y el trazado de canales abiertos. (Engineers, 2000)

2.11.2.1. Modelos de HEC-HMS.

HEC-HMS utiliza una serie de modelos matemáticos y metodologías para representar los diferentes procesos hidrológicos que ocurren en una cuenca.

- a) **Modelo de precipitación.** Se puede introducir la precipitación real medida en estaciones meteorológicas, o bien se pueden generar escenarios hipotéticos de lluvia utilizando tormentas de diseño, como las lluvias de períodos de retorno de 10, 50 o 100 años.
- b) **Modelo de pérdida.** El agua de la lluvia que cae sobre una cuenca puede perderse a través de infiltración en el suelo, siendo modelada por diferentes métodos como: Método de curva numérica del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), un método empírico ampliamente utilizado para estimar la cantidad de escorrentía superficial en función de las características del suelo, el uso de la tierra y la cobertura vegetal. Método de infiltración de Green-Ampt, utilizado para modelar la infiltración en suelos más complejos, calculando la tasa de infiltración como una función de la humedad del suelo y la saturación.
- c) **Modelo de transformación de escorrentía.** Convierte el volumen de agua infiltrada y la precipitación restante en caudales de escorrentía que pueden moverse hacia cuerpos de agua. Los métodos utilizados incluyen: Método de hidrograma unitario del SCS, estima el flujo de escorrentía en función del tiempo y la intensidad de la tormenta. Método de Clark, utilizado para calcular el tiempo de concentración y la forma en que la escorrentía se propaga en la cuenca. Método de hidrograma unitario modificado, apropiado para simular cuencas más grandes o complejas.
- d) **Modelo de almacenamiento y flujo base.** Permite calcular el flujo subterráneo o el flujo base que se descarga lentamente en los cuerpos de

agua después de un evento de lluvia. Este flujo subterráneo es importante para entender la recarga de acuíferos y el comportamiento de los ríos en periodos de sequía.

- e) **Modelo de conducción y propagación de caudales.** La escorrentía generada en diferentes partes de la cuenca puede ser conducida por canales y arroyos hasta cuerpos de agua mayores. Este componente se utiliza para modelar el transporte de agua a través de la red de drenaje fluvial.

2.11.3. Introducción al HEC-RAS.

“HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) permite realizar planteamientos en base al análisis que permite realizar modelamiento hidráulico en una sola dimensión, por lo tanto, muestran solo información lineal y está compuesto por 4 tipos de análisis en ríos” (Córdova Mendoza et al., 2022, p. 8)

- Modelización de flujo en régimen permanente.
- Modelización de flujo en régimen no permanente.
- Modelización del transporte de sedimentos.
- Análisis de la calidad del agua.

El software HEC-RAS facilita el cálculo de perfiles de agua y parámetros hidráulicos del cauce, también permite determinar los niveles de la superficie del agua en flujos gradualmente variados, capaz de simular tanto un tramo sencillo de un río como una red fluvial completa. Además, el software puede modelar flujos en régimen subcrítico, supercrítico o una combinación de ambos, brindando flexibilidad en el análisis hidráulico. (Villón Béjar, 2014)

2.11.3.1. Coeficiente de rugosidad de Manning.

De acuerdo con Chow (1994), el coeficiente de rugosidad de Manning se utiliza para calcular las pérdidas de carga continua en los cauces, atribuibles

a diversos factores como cambios en la sección del río, presencia de vegetación, geomorfología, irregularidades del cauce, entre otros. Estos factores contribuyen al aumento de la rugosidad de Manning, lo que influye directamente en la resistencia al flujo dentro del cauce.

2.11.3.2. Importancia del HEC-RAS.

La importancia del software HEC-RAS dentro del modelado hidráulico radica en que permite realizar las siguientes acciones:

- Predecir áreas de inundación y desarrollar medidas de mitigación para ríos o sistemas fluviales, considerando diferentes períodos de retorno.
- Determinar variables hidráulicas esenciales para el diseño de estructuras como puentes, alcantarillas y cunetas en ríos.
- Delimitar fajas marginales de los ríos, lo que ayuda en la gestión y protección de áreas cercanas a los cauces.
- Definir la altura óptima para el diseño de carreteras que puedan verse afectadas por el caudal de los ríos, asegurando su protección frente a posibles desbordamientos (Villón Béjar, 2014).

2.11.4. Software ArcGIS.

ArcGIS es un “software” de Sistema de Información Geográfica diseñado por la empresa californiana Environmental Systems Research Institute (ESRI) para trabajar a nivel multiusuario. Representa la evolución constante de estos productos, incorporando los avances tecnológicos experimentados en la última década en el área de la informática y telecomunicaciones para capturar, editar, analizar, diseñar, publicar en la web e imprimir información geográfica (Tingo Maria, 2011).

2.12. MÉTODOS EMPÍRICOS E HIDROLÓGICOS.

2.12.1. Método Número de Curva SCS.

Es un método empírico que se define mediante el parámetro Número de Curva (CN), la capacidad de una cuenca vertiente para producir escorrentía durante una lluvia. El parámetro permite obtener la lluvia neta o precipitación efectiva, así como definir el Coeficiente de Escorrentía de cada cuenca, el cual emplea en todo tipo de cálculos hidrológicos, específicamente en cuencas sin aforar (Prieto Villarroya et al., 2013). Según Falchini (2020) es un modelo de escurrimiento directo que incluye todas las pérdidas excepto la evapotranspiración. El modelo correlaciona funciones precipitación – escurrimiento directo que depende de tipo de suelo, uso del suelo y condición hidrológica.

2.12.2. Método del Hidrograma Unitario adimensional SCS.

El método SCS (Servicio de Conservación de Suelo) es un hidrograma unitario que, al igual que otros métodos, necesita una base de datos específica, incluyendo información sobre la cuenca hidrográfica, el coeficiente de escorrentía, el tiempo de concentración y el hietograma de precipitación (Ruiz & Martínez, 2021a). Considerando la manera en que la precipitación se distribuye a lo largo del tiempo, este método resulta más avanzado y preciso, puede aplicarse en cuencas de hasta 2590 km² (Maza, 2024a)

2.12.3. Método del Hidrograma Unitario de Snyder.

Según Ruiz & Martínez (2021), el Hidrograma Unitario de Snyder es un método que relaciona las característica de un hidrograma unitario estándar con las características de las áreas de las cuencas comprendidas entre 30 y 30000 km².

Avellaneda & Montalvo, (2019) menciona que para Snyder el hidrograma estándar se define a partir de dos parámetros fundamentales, a) el tiempo de retardo y b) el coeficiente pico.

2.12.4. Método del Hidrograma Unitario de Clark.

Este método supone que la cuenca funciona como un depósito lineal en el cual el caudal de salida es proporcional al volumen almacenado, es decir que, un aumento en el caudal de entrada se refleja en el caudal de salida amortiguado o retardado. El hidrograma de Clark se puede utilizar para una variedad de tamaños de cuenca, pero es más apropiado para cuencas pequeñas y medianas (Avellaneda & Montalvo, 2019).

Avellaneda & Montalvo, (2019) así mismo nos mencionan que el coeficiente de almacenamiento de la cuenca (R), es un índice del almacenamiento es un índice del almacenamiento temporal del exceso de precipitación que drena hasta la salida de la cuenca. Se puede estimar mediante la calibración siempre y cuando se disponga de datos de precipitación y flujo continuo.

2.12.5. Método racional.

Es un método empírico diseñado para calcular el caudal máximo en cuencas pequeñas, con áreas de hasta 50 km² (Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz, 2014). Este método asegura que el único componente de la precipitación relacionado con la generación de caudales máximos es la escorrentía, consiste en una ecuación que calcula el caudal en función de la intensidad de lluvia, área de la cuenca o subcuenca y su coeficiente de escorrentía (Maza, 2024b).

2.13. DEFENSAS RIBEREÑAS.

“Las defensas ribereñas son estructuras construidas para proteger las áreas aledañas a los ríos, contra los procesos de erosión de sus márgenes producto de la excesiva velocidad del agua, que tiende a arrastrar el material ribereño y la socavación que

ejerce el río, debido al régimen de precipitaciones abundantes sobre todo en época de invierno” (De La Cruz Vega et al., 2022, p. 55)

2.13.1. Dique enrocado.

“Son elementos estructurales por material del propio río, revestidos con rocas pesadas, se colocan de manera continua o solo en los sectores más críticos” (Rodríguez Bejarano, 2023, p. 21). El enrocado en un dique es fundamental para asegurar su estabilidad y durabilidad. Actúa como una protección contra la erosión, previene la socavación en la base y las orillas, estabiliza los taludes. Además, distribuye las cargas de manera uniforme y aumenta la resistencia geotécnica del dique frente a deslizamientos y fallos estructurales, sin alterar el flujo del cauce del agua (Zambrano & Tábara, 2024).

Figura 12.

Defensas ribereñas.



Nota. Construcción de dique más largo del Perú en quebradas San Idelfonso y San Carlos, (Macronorte.pe, 2024).

2.14. RESTAURACIÓN FLUVIAL.

“De manera sucinta, se trata de una serie de medidas posibles para restablecer el funcionamiento del sistema fluvial, en cuanto a caudal, territorio fluvial y movimiento de sedimentos atendiendo a la estacionalidad de los procesos en el

tiempo” (Espinosa et al., 2019). En resumen, la restauración del río tiene como objetivo permitir que los procesos fluviales, tanto geomorfológicos como ecológicos, sucedan en el espacio.

Figura 13.

Restauración fluvial del río Mosa.



Nota. Tomado de (ECRR, 2021).

CAPITULO III: METODOLOGÍA

La metodología es el conjunto de métodos y procedimientos utilizados para alcanzar los objetivos de la investigación estructurados en tres fases principales.

La fase 1 consiste en la recopilación bibliográfica con ayuda de artículos científicos, tesis de grado y publicaciones previas relacionados con el análisis de escorrentía superficial, el análisis hidrológico, el modelamiento hidráulico de las cuencas y la implementación de estrategias de restauración fluvial.

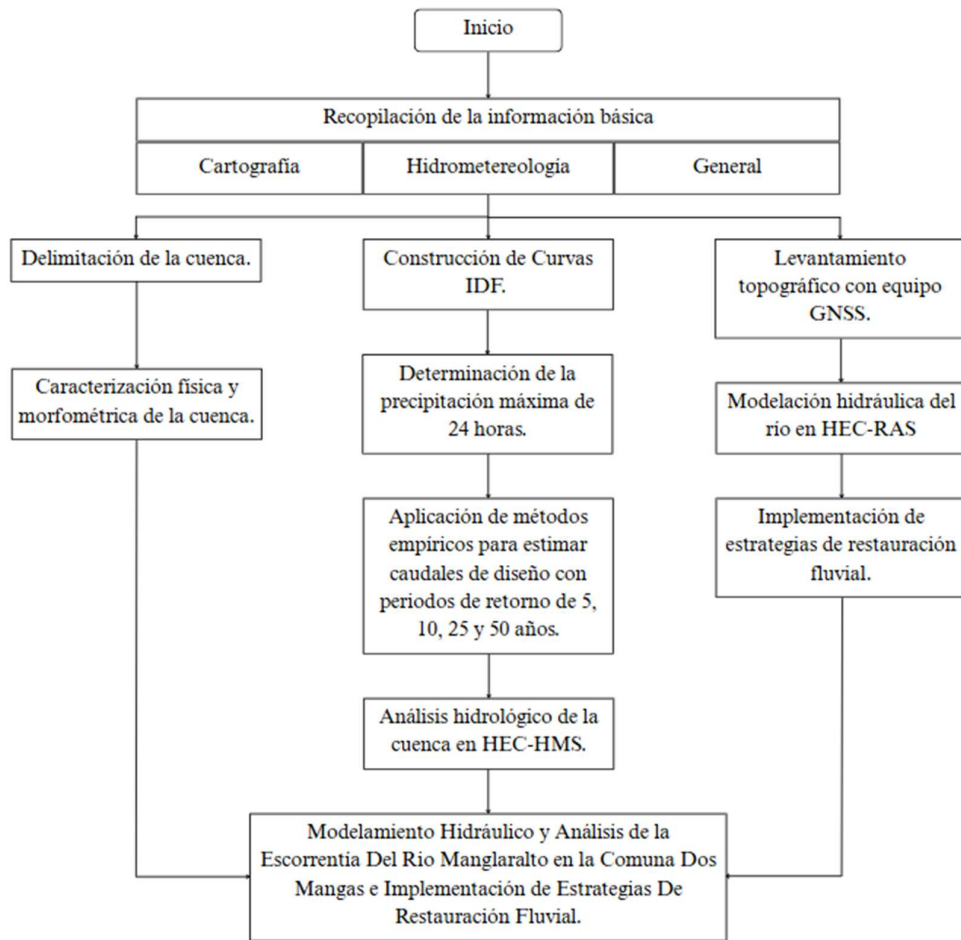
La fase 2 consiste en el desarrollo de diferentes métodos empíricos para el análisis hidrológico, la estimación de la escorrentía superficial y el modelamiento hidráulico del río. Dentro de esta fase se realiza un levantamiento topográfico de la del río Dos Mangas, se define la geometría del río utilizando el software HEC-RAS y el software HEC-HMS para la estimación de caudales y el análisis de escorrentía de la cuenca alta y media del río Manglaralto, siendo fundamental para el desarrollo de la investigación.

La Fase 3 consiste en la integración de los resultados de los hidrogramas al modelamiento hidráulico con el fin de simular el comportamiento del flujo del río e identificar las zonas críticas a desbordamientos. Con base en esta evaluación, se proponen estrategias de restauración fluvial para la prevención de inundaciones en la comuna Dos Mangas.

En el diagrama de flujo (Figura 14) se presenta la metodología.

Figura 14.

Diagrama de flujo metodológico.



Nota. Elaborado por el autor.

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo.

“Existen dos tipos de investigación: la investigación básica, pura o fundamental y la investigación aplicada o tecnológica” (Nicomodes Teodoro, 2018, p. 1).

Según Nicomodes Teodoro (2018), esta investigación es de tipo básica predictiva debido a que se caracteriza por fines de predicción y prevención de ciertas condiciones o desastres naturales a la sociedad.

El propósito de la investigación es desarrollar e implementar estrategias de restauración fluvial a través del análisis de escorrentía de la cuenca alta y media del río Manglaralto y el resultado del modelamiento hidráulico del cauce en la comuna Dos Mangas.

3.1.2. Nivel.

El nivel de este estudio de la investigación es proyectivo. De acuerdo con Hurtado De Barrera, (2024), este tipo de investigación implica el desarrollo de propuestas, diseños, planes de acción y la modelación de escenarios, con el propósito de brindar soluciones a una problemática o mejorar un proceso a partir de un diagnóstico preciso, además incluye el análisis y comparación de alternativas, la identificación de las causas que mantienen la condición actual y la proyección de posibles tendencias futuras.

En la investigación se da a conocer las características de la cuenca, los caudales, la cantidad de escorrentía superficial y el comportamiento del flujo bajo diferentes periodos de retorno, mediante el uso de los softwares HEC-HMS y HEC-RAS. El estudio comprende el análisis de escorrentía de la cuenca alta y media del río Manglaralto, y el modelamiento hidráulico del río Dos Mangas.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.2.1. Método.

El método que adecúa la reestructuración constante del sistema metodológico de la investigación y, por ende, es esencial para la construcción de

nuevas deducciones es el método hipotético deductivo (Cabrera Rosales & Figueroa Chancay, 2022, p. 26).

En la presente investigación se planteó una hipótesis general y tres específicas, las cuales permiten analizar la escorrentía de la cuenca alta y media del río Manglaralto y realizar el modelamiento hidráulico de un tramo del río Dos Mangas, la misma nos lleva a evaluar su recurso hídrico e implementar estrategias de restauración fluvial para la prevención de inundaciones.

3.2.2. Enfoque.

El presente estudio adopta un enfoque mixto (multimétodo), el cual, según Vega Malagón et al. (2014), se caracteriza por integrar los enfoques cualitativos y cuantitativos. El enfoque cualitativo se fundamenta en métodos de recolección de datos que no implican mediciones numéricas, como la descripción y la observación, permitiendo identificar las características físicas y morfométricas de la cuenca a través del análisis de su topografía. Por otro lado, el enfoque cuantitativo se enfoca en la recopilación y el análisis de datos numéricos, con el objetivo de responder a una o varias preguntas de investigación y probar las hipótesis planteadas mediante la estimación del caudal, el análisis de la escorrentía superficial y el modelamiento hidráulico.

3.2.3. Diseño.

En la presente investigación se emplea un diseño no experimental. De acuerdo con Agudelo et al. (2008), este tipo de diseño se caracteriza por desarrollarse sin manipular deliberadamente las variables independientes, basándose en variables que ya ocurrieron o se dieron en la realidad sin la intervención directa del investigador.

La investigación está referida a las características físicas y morfométricas de la cuenca del río Manglaralto, donde se determina los límites de la cuenca y subcuencas, la red hídrica y la topografía del río Dos Mangas, estimar los caudales, y la escorrentía bajo diferentes periodos de retornos para conocer el comportamiento del flujo e identificar las zonas de inundación.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTRO

3.3.1. Población.

“La población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados” (Arias Gómez et al., 2016, p. 201)

En base a la teoría presentada, la población se define como un conjunto de objetos, elementos o fenómenos que comparten una característica susceptible para ser estudiada. (Cabrera Rosales & Figueroa Chancay, 2022). En el contexto de esta investigación, la población se obtiene de la cuenca del río Manglaralto, en este caso la zona de estudio es correspondiente a un tramo del río Dos Mangas delimitado entre las abscisas 0+000 a 1+000.

3.3.2. Muestra.

Según López (2004), la muestra se define como un subconjunto de elementos o una parte representativa de la población. Existen diversos métodos y procedimientos para determinar la cantidad de elementos que conformará la muestra, como el uso de fórmulas, razonamientos lógicos y otras técnicas. En esta investigación la muestra que se utiliza es el tiempo de concentración, tiempo de retardo, la intensidad de lluvia, el coeficiente de escorrentía, coeficiente pico, coeficiente de almacenamiento, los parámetros de Muskingum y las precipitaciones máximas.

3.3.3. Muestreo.

(López, 2004) Comenta que este método es una herramienta cuya función es determinar la realidad de estudio, se lo utiliza para identificar los componentes o elementos de la muestra, del desarrollo experimentado por la investigación empírica de la sociedad. El muestreo en esta investigación se utiliza el método de kirpich con su fórmula, método número de curva SCS, método del hidrograma

unitario de Snyder, el método del hidrograma unitario adimensional SCS, el método del hidrograma unitario de Clark, método de Muskingum y curvas IDF.

3.4. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La provincia de Santa Elena se encuentra en la región occidental del Ecuador; limita al norte con la provincia de Manabí, al sur y al este con la provincia del Guayas, y al oeste con el Océano Pacífico. Su extensión territorial abarca 3668.9 km² y está conformada políticamente por tres cantones: Salinas, La Libertad y Santa Elena. Este último cantón se divide en siete parroquias: Manglaralto, Colonche, Simón Bolívar, Santa Elena, Chanduy, Atahualpa y San José de Ancón. (Valencia, 2017).

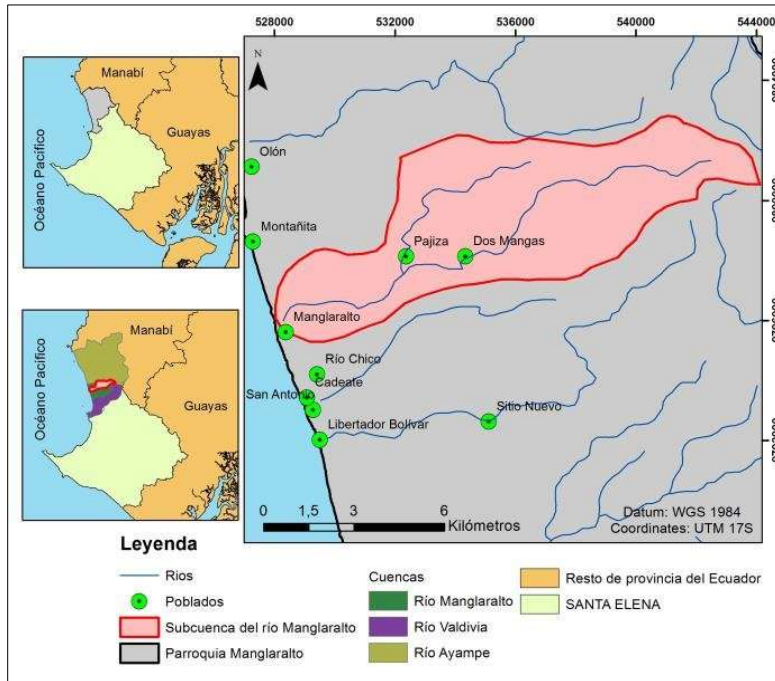
La cabecera parroquial de Manglaralto está formada por una organización territorial constituida por 17 comunas con una extensión territorial de 426 km²; limita al norte con la provincia de Manabí y cantón Puerto López, al sur con la Parroquia Colonche, al este con la provincia de Manabí y cantón Jipijapa y al oeste con el Océano Pacífico. (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Manglaralto, 2023)

La Comuna Dos Mangas, situada a “61.7 km al noroeste del cantón Santa Elena, y a 6.5 km de la cabecera parroquial Manglaralto, limita al norte con la comuna Olón, al sur con las comunas Sitio Nuevo, Sinchal, Barcelona y Loma Alta, al este con el recinto Las Delicias y la provincia de Manabí y al oeste con la comuna Pajiza” (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Manglaralto, 2023, p. 15).

La cuenca del río Manglaralto está ubicada en la parte central de la parroquia Manglaralto dentro de la zona norte de la Península de Santa Elena. (Catuto, 2020), “nace en la cordillera de Chongón-Colonche a 700 m sobre el nivel del mar, su cuenca es alargada en dirección NE-SW” (Amado, 1990, p. 46) y “tiene un recorrido aproximado a 18 Km desde la cuenca alta hasta la costa con dirección noreste-suroeste” (Catuto, 2020, p. 12). En la Figura 15 se observa la ubicación de la cuenca hidrográfica del Río Manglaralto.

Figura 15.

Ubicación de la cuenca hidrográfica del Río Manglaralto.



Nota. Tomado del *Visor Mapas IGM “Instituto Geográfico Militar.*

3.4.1. Obras hidráulicas.

En base a la investigación de Catuto (2020) afirma que: se encuentran 5 infraestructuras viales de gran importancia que permite el flujo continuo y la comunicación de comunas a lo largo del río Manglaralto” de estas estructuras mencionadas 4 se encuentran dentro del cauce alto y medio que son: 2, 3, 4 y 5.

Tabla 1.

Coordenadas de infraestructuras de paso existente en la cuenca.

N°	Nombre	Tipo de obra	Coordenadas	
			X	Y
1	E – 15 – Manglaralto	Puente	528504.5456	9796296.9478
2	Pajiza	Badén	532509.0209	9797849.1416
3	Dos Mangas	Puente	533499.0214	9797762.2789
4	Dos Mangas	Badén	533494.8666	9797977.5194
5	Dos Mangas	Badén	533285.5086	9797860.5629

Nota. Tomado de *Modelación hidrológica del río Manglaralto para la generación de mapas de inundación de la parroquia Manglaralto provincia de Santa Elena* (Catuto, 2020).

La zona en donde se registró el desbordamiento del río se ubica específicamente en la entrada a la comuna Dos Mangas. En la Figura 16 se visualiza la zona con sus respectivas coordenadas geográficas UTM 17S ESTE: 533493.68; NORTE: 9797769.604, donde se encuentra ubicada la infraestructura número 4, identificado como “badén”.

Figura 16.

Zona de desbordamiento del río y ubicación del badén.



Nota. Tomado por un *drone*.

El badén, ubicado en la abscisa 0+640, es una infraestructura vial que permite la circulación tanto de vehículos como de personas, garantizando el acceso a la comuna Dos Mangas. Esta estructura está conformada por seis tuberías de drenaje de 0.80 metros de diámetro y cuenta con unas dimensiones de 19 metros de longitud, 7 metros de ancho y 1.60 metros de alto.

3.5. METODOLOGÍA DEL OE. 1: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA.

Para la determinación de las características físicas y morfométricas de la cuenca, es necesario delimitar su área de drenaje y analizar sus parámetros como el área, perímetro, longitud del cauce principal, pendiente media, forma de la cuenca, curva hipsométrica, orden de corrientes y densidad de drenaje. Estos datos se obtienen a

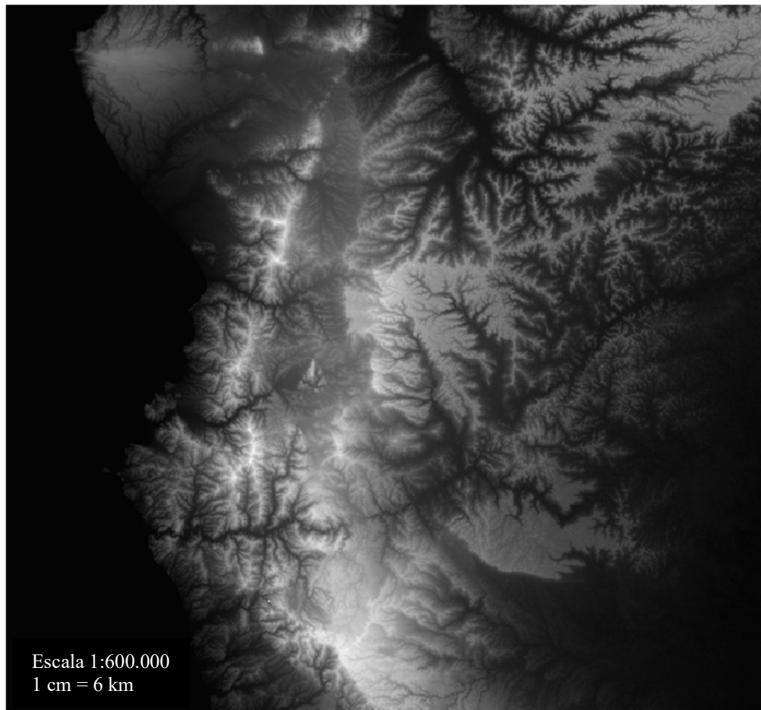
partir de herramientas SIG y son fundamentales para comprender el comportamiento hidrológico de la cuenca.

3.5.1. Delimitación de la cuenca hidrográfica.

Para el estudio del relieve se obtuvo un Modelo Digital de Elevación (DEM) con coordenadas de latitud Sur 02°, longitud Oeste 081° (S02W081) y una resolución de 1-arc-second (30.87 metros por píxel).

Figura 17.

Modelo de elevación Digital – S02W081.

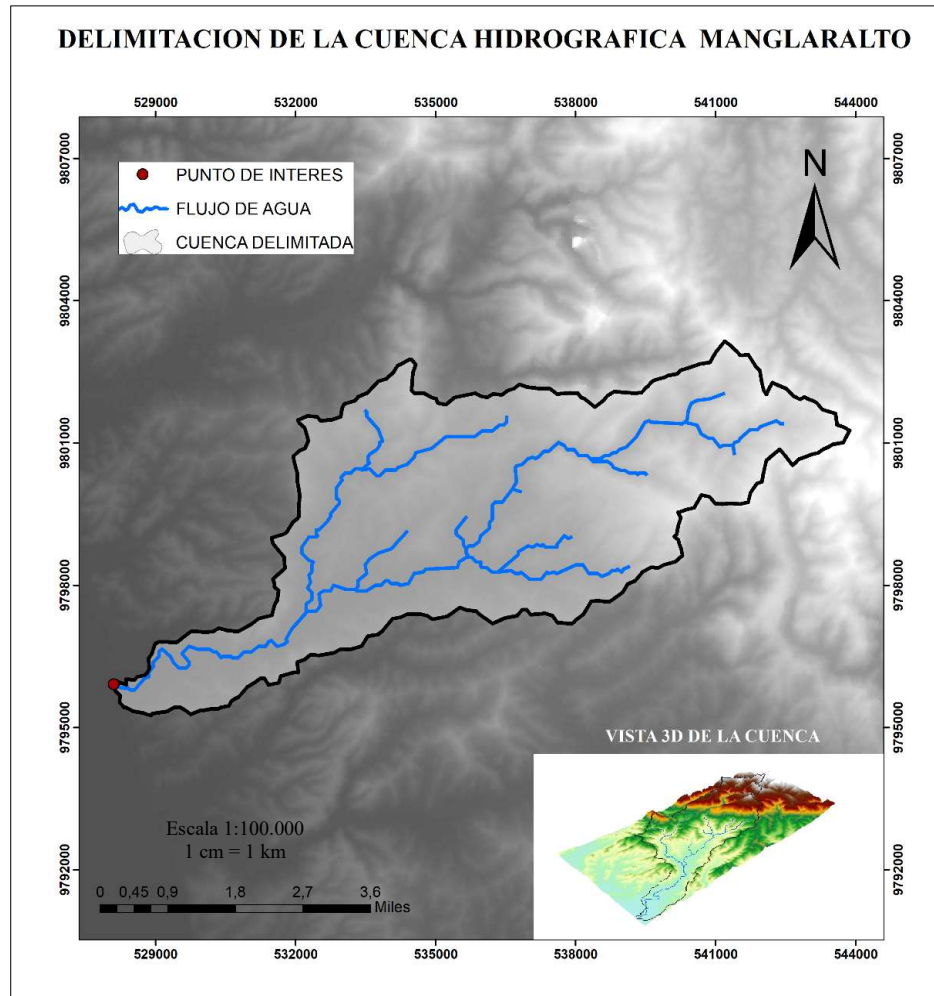


Nota. DEM a escala 1:647.586 procesado en ArcGIS. Fuente: Obtenido del *Earth Explorer del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)*, 2014.

La metodología utilizada para delimitar la cuenca hidrográfica se basa en el análisis del DEM mediante el software ArcGIS, lo que permite identificar la red de drenaje y definir los límites de la cuenca, tal como se muestra en la Figura 18.

Figura 18.

Delimitación de la cuenca del Río Manglaralto.



Nota. Realizado en el software *ArcGIS*.

3.5.2. Parámetros físicos de la cuenca.

A partir de la delimitación de la cuenca hidrográfica, se determinan las principales características físicas de la cuenca del río Manglaralto. La cuenca abarca un área de 51.33 Km², un perímetro de 45.57 Km, una longitud del cauce principal de 27.88 Km y un ancho medio de la cuenca de 3.08 Km, alcanzando en algunas secciones hasta 5.40 Km. Estos parámetros constituyen a datos fundamentales para el análisis hidrológico y la gestión de recursos hídricos de la zona.

Tabla 2.

Parámetros físicos de la cuenca del río Manglaralto.

Parámetros físicos	
Área (km ²)	51.33
Perímetro (km)	45.57
Longitud del cauce principal (km)	27.88
Ancho medio de la cuenca (km)	3.08

Nota. Elaborado por el autor.

3.5.3. Parámetros de forma.

“En lo que se refiere a parámetros de forma, es fundamental conocer el área, perímetro y forma de una cuenca, porque permite conocer su comportamiento hidrológico” (Maza, 2024a).

Tabla 3.

Clasificación de tamaños de cuenca en función de su área.

Rango de área (km²)	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 – 250	Pequeña
250 – 500	Intermedia
500 – 2500	Intermedia – Grande
2500 – 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Nota. Tomado de “Análisis de máximas crecidas, para diferentes periodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja)” (p. 26), por Maza, 2024, Universidad Nacional de Loja.

Para determinar la forma de la cuenca se utilizó el coeficiente de compacidad y el factor de forma de Horton, que representa la forma de la cuenca según su delimitación y su influencia sobre la precipitación y escorrentía. (Maza, 2024a).

3.5.3.1. *Coefficiente de compacidad (kc)*

Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia, su unidad es adimensional y sus valores no son inferiores a la unidad. “El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua” (Lux Cardona, 2016, p. 4). Para el cálculo se emplea la siguiente ecuación (Ec.1)

Ecuación 1.

Coefficiente de compacidad.

$$k_c = \frac{P}{P_c} = 0.2821 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde P es el perímetro de la cuenca y A es el área de la cuenca o subcuenca. En base a Lux Cardona (2016), se han establecido tres categorías para la clasificación de acuerdo con este parámetro (Tabla 4.)

Tabla 4.

Formas de la cuenca de acuerdo con el índice de compacidad.

Clase de forma	Índice de compacidad	Forma de la cuenca o subcuenca
I	1.00 – 1.25	Casi redonda a Oval redonda
II	1.26 – 1.50	Oval redonda a Oval Oblonga
III	≥ 1.51	Oval Oblonga a Rectangular oblonga

Nota. Tomado de “*Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*”

(p. 4), por Lux Cardona, 2016, CORE.

3.5.3.2. *Factor de forma de Horton (kf)*

La forma de una cuenca hidrográfica influye directamente en su respuesta hidrológica. Un índice de forma menor a la unidad indica una cuenca

alargada, lo que significa que es menos susceptible a inundaciones en comparación con otra de igual área pero con un índice de forma superior a la unidad, donde el escurrimiento de lluvias intensas tiende a concentrarse más rápidamente, generando grandes crecidas (Lux Cardona, 2016). Para el cálculo se emplea la siguiente ecuación (Ec.2)

Ecuación 2.

Factor de forma de Horton.

$$kf = \frac{A}{L^2}$$

Donde *A* es el área de la cuenca y *L* la longitud del río principal de la cuenca.

Tabla 5.

Clasificación según el factor de forma.

kf	Características
Menor a 1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
Igual a 1	Cuadrada
Mayor a 1	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

Nota. Tomado de “*Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*” (p. 5), por Lux Cardona, 2016, CORE.

3.5.4. Parámetros de relieve.

En lo que respecta a parámetros de relieve, se consideran la pendiente y la elevación media de la cuenca. La pendiente media se calcula mediante el software Arc-GIS utilizando del modelo DEM de la cuenca del río Manglaralto. A través de la extensión HEC-GeoHMS y la herramienta Slope se obtiene el mapa de pendientes de la cuenca de estudio. En la Tabla 6. se presenta la clasificación del terreno según la pendiente.

Tabla 6.

Clasificación de las pendientes.

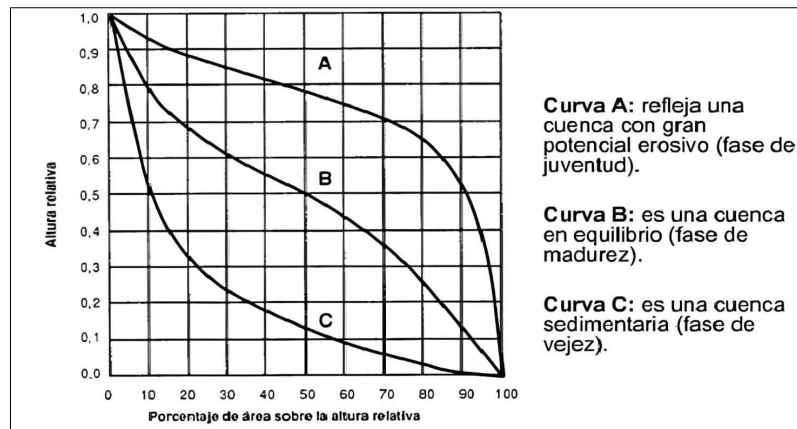
Pendiente (%)	Clasificación
0 – 5.0	Plano o casi suave
5.0 – 12.0	Suave o ligeramente ondulado
12.0 – 25.0	Moderadamente ondulado
25.0 – 50.0	Colinado
50.0 – 70.0	Escarpado
> 70.0	Montañoso

Nota. Tomado del Instituto Geográfico Militar, Mapa de Pendientes (2003) elaborado por (Maza, 2024a), Universidad Nacional de Loja.

La elevación media de la cuenca se determina mediante la construcción de la curva Hipsométrica, con ayuda del software Q-GIS y el DEM. Esta curva representa el porcentaje del área de la cuenca que se encuentra por encima de una determinada altitud y a su vez permite definir el relieve de la cuenca (Maza, 2024a). Según Caicedo Toro et al. (2021), la curva hipsométrica es el cambio de forma del relieve en función a la evolución y la edad del río.

Figura 19.

Curva hipsométrica y su interpretación.



Nota. Tomado de “Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo” (p. 6), por Caicedo Toro et al., (2021), Scielo.

Tabla 7.

Clasificación del orden de corrientes de una cuenca.

Orden de corrientes	Clasificación
1.0 – 2.0	Bajo
2.0 – 4.0	Medio
4.0 – 6.0	Alto

Nota. Tomado de “Análisis de máximas crecidas, para diferentes períodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja)” (p. 26), por Maza, 2024.

3.5.5.2. Densidad de drenaje.

Representa la relación entre la longitud total de cauces, ya sean perennes, intermitentes o efímeros y el área de la cuenca (Maza, 2024a). El parámetro de densidad de drenaje se considera un indicador de peligrosidad, ya que, a mayor densidad de drenaje, menor es el tiempo de escorrentía. Su interpretación se indica en la Tabla 8 y para su cálculo se emplea la (Ec. 3).

Ecuación 3.

Densidad de drenaje.

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Donde: ***Dd*** es la densidad de drenaje, en km/km²; ***L*** es la longitud total de los cauces, en km y ***A*** el área de drenaje, en km².

Tabla 8.

Clasificación de la red de drenaje de las cuencas hidrográficas.

Red de drenaje	Clasificación
0.1 – 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

Nota. Tomado de “Análisis de máximas crecidas, para diferentes periodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja)” (p. 26), por Maza, 2024.

3.5.5.3. Pendiente del cauce principal.

La pendiente es la relación que existe entre el desnivel y la longitud del cauce principal (Maza, 2024a). En base a la pendiente del cauce se tiene la siguiente clasificación (Tabla 9).

Tabla 9.

Clasificación de la pendiente media del cauce principal.

Pendiente del cauce principal	Clases
1.0 – 5.0 %	Suave
6.0 – 11.0 %	Moderado
12.0 – 17.0 %	Fuerte

Nota. Tomado de “Análisis de máximas crecidas, para diferentes periodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja)” (p. 26), por Maza, 2024.

3.5.6. Red hidrográfica de la cuenca.

El sistema hidrográfico del norte de la península de Santa Elena está compuesto por ríos que nacen en la cordillera Chongón Colonche y fluyen en dirección oeste y suroeste. Los ríos que corren hacia el oeste, aunque tienen

recorridos relativamente cortos y son los que presentan mayor caudal. (Valencia, 2017)

La cuenca hidrográfica de la parroquia Manglaralto está formada por los ríos Valdivia, Olón, Manglaralto, Atravesado y Río Grande, estos ríos experimentan variaciones estacionales y diarias en su caudal influenciadas por factores como la cobertura vegetal, las precipitaciones y otras condiciones atmosféricas, como la nubosidad, la insolación y la evaporación. Además, existen ríos intermitentes que contienen agua solo durante ciertas épocas del año, generalmente durante la temporada de lluvias. (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Manglaralto, 2023)

Basado en el análisis hidrogeológico de Valencia (2017), el río Manglaralto es clasificado como un río de orden 4 y de régimen permanente, recibe afluentes como el río Culebra, río Colín y el río Pajiza, que tienen su origen en la cordillera Chongón Colonche a una altitud de 700 m.s.n.m.

3.5.7. Uso de suelo.

La cuenca de Manglaralto se caracteriza por sus suelos aluviales, que incluyen arcillas, limos y arenas. Estos suelos coluviales presentan un color café oscuro y una textura suave. Además, se encuentran suelos arenosos formados por partículas meteorizadas, localizados en las planicies de inundación cercanas al río. Las modificaciones del uso de suelo dentro de la cuenca de estudio están relacionadas con la reducción de la vegetación natural, incluyendo bosques y matorrales, así como el incremento de áreas de pastizales y cultivos. Además, se observa una leve disminución del manglar y una reducción del área de playa debido a la expansión comercial en la zona. Asimismo, se ha registrado un aumento de la vegetación natural en ciertas áreas y un crecimiento poblacional impulsado por el desarrollo de nuevas urbanizaciones (Catuto, 2020).

3.5.8. Características climáticas.

Según el mapa de climas del Instituto Nacional de Meteorología e

Hidrología (INAMHI), el tipo de clima que predomina en la península de Santa Elena es el clima seco sin exceso de agua, Mega térmico o cálido con temperaturas que oscilan entre los 25°C y 25,6°C. Sin embargo, su temperatura puede llegar a ser menor a 22°C en zonas de cordillera.

El clima en la comuna Dos Mangas es tropical húmedo con una temperatura media anual que oscila entre 23°C – 25°C y relieve de 5 msnm. (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Manglaralto, 2023).

3.6. METODOLOGÍA DEL OE. 2: ESTIMACIÓN DEL CAUDAL QUE FLUYE POR LA CUENCA DEL RÍO MANGLARALTO Y ANÁLISIS DE LA ESCORRENTÍA.

La estimación de los caudales se realiza mediante diferentes métodos: Método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS, Método Hidrograma Unitario de Snyder, Método Hidrograma Unitario de Clark aplicados en el software HEC-HMS y el Método Racional. Para los métodos basados en hidrogramas unitarios, se genera el hietograma de precipitación a partir de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), correspondientes a los periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años. La escorrentía superficial se evalúa a través del método número de curva SCS, además se determinan los parámetros fundamentales como el tiempo de concentración, el tiempo de retardo, la intensidad de lluvia y el número de curva.

3.6.1. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Según Corapi & Nuñez Neira (2022), la estimación precisa de curvas IDF en la provincia de Santa Elena presenta dificultades debido a la baja densidad de estaciones pluviométricas y la discontinuidad de registros de precipitación, esto impide una adecuada representación espacial de la variabilidad de las lluvias, lo que dificulta la interpolación de datos y la obtención de parámetros confiables de k , m , n y puede resultar en la sobreestimación o inexactitud de estos parámetros y por ende presentar cálculos de precipitaciones y caudales de diseño exagerados.

A continuación, se presenta la ecuación general para la determinación de la intensidad máxima (Ec. 4).

Ecuación 4.

Intensidad máxima.

$$i = \frac{k * T^m}{t^n}$$

Donde:

i: Intensidad, en (mm/h).

T: Periodo de retorno, en (años).

t: Tiempo de duración, en (min).

k, m, n: constantes de ajuste propias de cada estación.

Los parámetros k , m y n son fundamentales para la construcción de las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), ya que permiten caracterizar la relación entre la intensidad de precipitación, su duración y la frecuencia de ocurrencia. Estos parámetros son constantes de ajuste propias de cada estación pluviométrica y se obtienen mediante análisis estadísticos y modelización hidrológica (Sangüesa et al., 2023).

En el presente trabajo de investigación, se utilizan los parámetros k , m y n obtenidos en el artículo “*Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí*” para la estimación de las curvas IDF en la cuenca Manglaralto. El artículo aborda el análisis de datos de precipitación de estaciones meteorológicas disponibles en toda la provincia de Santa Elena y Manabí, y verifica su ajuste a distribuciones probabilísticas. Cada constante de la ecuación 4 se determina mediante regresión lineal múltiple y se distribuye espacialmente usando interpolación con los métodos Distancia Inversa Ponderada (IDW) y Originó Ordinario (KO). El artículo concluye que ambos

métodos de interpolación presentan errores en los parámetros de “k” y “ m” menores al 10%, sin embargo, el método de Kriging Ordinario se ajusta mejor a la distribución de los datos, dado que no genera picos locales como en el método de la Distancia Inversa Ponderada. Los autores publican un mapa en ArcGIS online que facilita la obtención de los valores de los parámetros k , m y n de las ecuaciones para las curvas IDF en cualquier lugar dentro de las provincias de Santa Elena y Manabí. Para tener acceso al mapa web se debe visitar el siguiente enlace: “<https://arcg.is/1CCKe00>” (Corapi & Nuñez Neira, 2022, p. 67)

Por consiguiente, se elabora un mapa de zonificación en ArcGIS de las 4 estaciones más cercana a la zona de estudio para determinar que estaciones meteorológicas se consideran en el cálculo de precipitaciones máximas de 24 horas para generar los hietogramas de precipitación correspondiente a cada periodo de retorno.

Tabla 10.

Información General de las Estaciones Meteorológicas.

Código	Nombre	Provincia	Latitud	Longitud	Coordenadas	
					X	Y
M0619	Manglaralto	Santa Elena	1°51'10" S	80°44'55" W	527958.98	9795209.44
M0782	Barcelona	Santa Elena	1°54'0" S	80°41'0" W	535218.38	9789988.91
M0783	Salanguillo	Santa Elena	1°58'10" S	80°34'08" W	547944.06	9782310.65
M0245	El Suspiro	Santa Elena	1°54'46" S	80°39'11" W	538585.72	9788575.65

Nota. Elaborado por el autor. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

A partir de los hietogramas se construyen las curvas IDF, los cuales representan gráficamente la distribución temporal de la precipitación de un evento de lluvia en distintos períodos de retorno (5, 10, 25 y 50 años) en un tiempo de terminado de 24 horas, donde la precipitación máxima se estima que se produce a la mitad de duración total de la precipitación.

3.6.2. Método Número de Curva SCS.

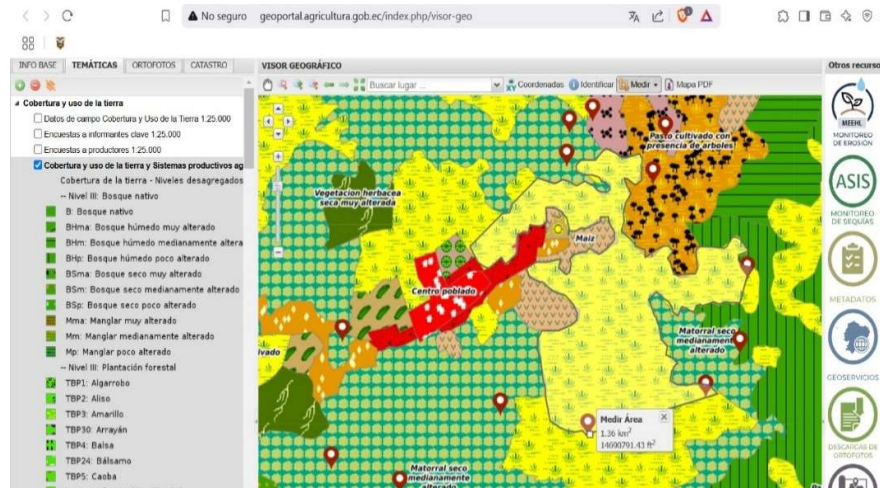
El método de número de curva del Soil Conservation Service (SCS) implementa la metodología del número de curva para pérdidas incrementales. (US Army Corps of Engineers, 2015, p. 201).

3.6.2.1. *Uso de la Cobertura y Textura del Suelo.*

Para determinar el uso de la cobertura de suelo, se utiliza el mapa proporcionado por el Geoportal de Agricultura del Ecuador. Las coordenadas de cada subcuenca se obtienen a través del software ArcGIS y se ingresan en la página del geoportal para su respectiva clasificación y cálculo de áreas. (Figura 21.)

Figura 21.

Cobertura y uso de la tierra de la cuenca Manglaralto.



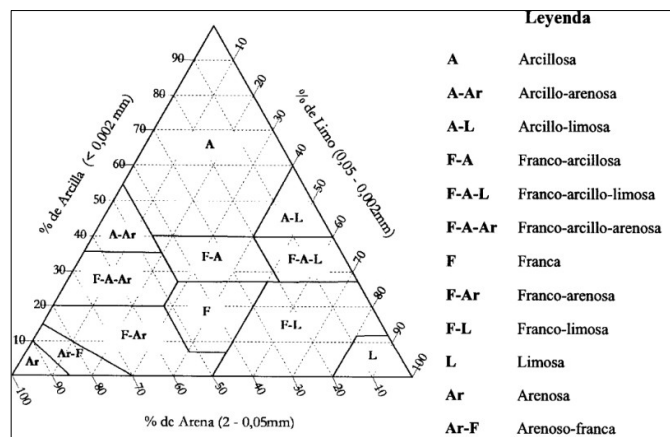
Nota. Tomado del Geoportal de Agricultura del Ecuador.

Para la creación del mapa de clasificación de textura del suelo de la cuenca Manglaralto, se utiliza el sistema de mapeo digital del suelo SoilGrids™ basado en la compilación global de datos de perfil del suelo y capas ambientales (ISRIC - World Soil Information, n.d.). A través de este sistema se descargan mapas DEM con información sobre la distribución de arcilla, limo y arena a diferentes profundidades.

La clasificación textural se basa en la propuesta por el United Stated Departament of Agriculture (USDA). “La clasificación USDA establece 12 clases texturales en función del contenido de arena (partículas de diámetros desde 2 mm a 0,05 mm), de limo (partículas de diámetros desde 0,05 mm a 0,002 mm) y de arcilla (partículas de diámetro inferior a 0,002 mm)” (De Villarán San Juan, 2010, p. 55) (Figura 22).

Figura 22.

Triángulo textural según clasificación USDA.



Nota. Tomado de *Mejora de los parámetros de cálculo del modelo del número de curva y su validación mediante un modelo hidrológico distribuido* (p. 55), por De Villarán San Juan, 2010, Universidad de Huelva.

3.6.2.2. Número de curva (CN).

Es un método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Soil Conservation, SCS), que permite estimar la escorrentía superficial, considerando factores como la cobertura y uso del suelo, las condiciones hidrológicas y la textura del suelo. (De Villarán San Juan, 2010)

A continuación, se presentan tablas de CN para cultivos agrícolas, pastizales, arboledas y zonas urbanas. El método SCS hace una distinción

de las prácticas de cultivos, entre si se cultiva siguiendo curvas de nivel o siguiendo líneas de máxima pendiente.

Tabla 11.

Valores del número de curva (CN).

Números de curva para los cultivos agrícolas							
Uso del suelo	Prácticas de cultivo	Condición hidrológica	Grupo hidrológico de suelo				
			A	B	C	D	
Barbecho	Suelo desnudo	-	77	86	91	94	
	Suelo cubierto de residuos	Pobre	76	85	90	93	
		Buena	74	83	88	90	
Curvas en hilera	Según máxima pendiente	Pobre	72	81	88	91	
		Buena	67	78	85	89	
	Máxima pendiente + cubierto de residuos	Pobre	71	80	87	90	
		Buena	64	75	82	85	
	Según curva de nivel	Pobre	70	79	84	88	
		Buena	65	75	82	86	
	Curva de nivel + cubierto de residuos	Según curva de nivel y aterrazado	Pobre	69	78	83	87
			Buena	64	74	81	85
		Según curva de nivel y aterrazado + cubierto de residuos	Pobre	66	74	80	82
			Buena	62	71	78	81
Cultivo de grano pequeño	Según máxima pendiente	Pobre	65	76	84	88	
		Buena	63	75	83	87	
	Máxima pendiente + cubierto de residuos	Pobre	64	75	83	86	
		Buena	60	72	80	84	
	Según curva de nivel	Pobre	63	72	80	84	
		Buena	61	74	82	85	
	Curva de nivel + cubierto de residuos	Según curva de nivel y aterrazado	Pobre	62	73	81	84
			Buena	60	72	80	83
		Según curva de nivel y aterrazado + cubierto de residuos	Pobre	61	72	79	82
			Buena	59	70	78	81
Cultivo de leguminosas o rotaciones de leguminosas-gramíneas	Según máxima pendiente	Pobre	66	77	85	89	
		Buena	58	72	81	85	
	Según curva de nivel	Pobre	64	75	83	85	
		Buena	55	69	78	83	
Según curva de nivel y aterrazado	Pobre	63	73	80	83		
	Buena	51	67	76	80		
Números de curva para pastizales y arboledas.							
Uso del suelo	Condición hidrológica	Grupo hidrológico de suelo					
		A	B	C	D		
Pastizales, praderas o pastizales – continuos forrajes para pastoreo	Pobre	68	79	89	89		
	Regular	49	69	79	84		
	Buena	39	61	74	80		
Praderas – hierba continua, protegida del pastoreo y generalmente segada para obtener heno	-	30	58	71	78		
Matorral con vegetación herbácea	Pobre	48	67	77	83		
	Regular	35	56	70	77		
	Buena	30	48	65	73		
Mezcla de bosque y pasto (huerto frutal o granja arbolada)	Pobre	57	73	82	86		
	Regular	43	65	76	82		
	Buena	32	58	72	79		
Bosques	Pobre	45	66	77	83		
	Media	36	60	73	79		
	Buena	30	55	70	77		
Granjas, edificaciones y caminos	-	59	74	82	86		
Número de curva para pastizales áridos y semiáridos							
Uso del suelo	Condición hidrológica	Grupo hidrológico de suelo					
		A	B	C	D		
	Pobre		80	87	93		

Vegetación herbácea: mezcla de pasto, maleza y matorrales	Media	71	81	89		
	Buena	62	74	85		
Mezcla de roble – álamo temblón y matorral de montaña, compuesto por roble, álamo temblón, caoba de montaña, matorral amargo, arce y otros matorrales	Pobre	66	74	79		
	Media	48	57	63		
	Buena	30	41	48		
Números de curva para zonas urbanas						
Uso del suelo	Condición hidrológica	% medio área impermeable	Grupo hidrológico de suelo			
			A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas	Pobre		68	79	86	89
	Media		49	69	79	84
	Buena		39	61	74	80
Áreas impermeables			98	98	98	98
Aparcamientos, azoteas, carreteras						
Calles y carreteras						
Pavimentadas; cunetas y red de saneamiento			98	98	98	98
Pavimentadas; cunetas abiertas			83	89	92	93
Grava			76	85	89	91
Sucias			72	82	87	89
Zonas ajardinadas xerófitas						
Zonas naturales (sólo permeables)			63	77	85	88
Zonas ajardinadas (incluidas zonas impermeables)			96	96	96	96
Zonas urbanas						
Centros comerciales y de negocios		85%	89	92	94	95
Industrial		72%	81	88	91	93
Zonas residenciales						
1/8 acre (0,05 ha) o menos (2 casas)		65%	77	85	90	92
1/4 acre (0,10 ha)		38%	61	75	83	87
1/3 acre (0,13 ha)		30%	57	72	81	86
1/2 acre (0,20 ha)		25%	54	70	80	85
1 acre (0,40ha)		30%	51	68	79	84
2 acres (0,81 ha)		12%	46	65	77	82
Áreas urbanas en desarrollo						
Explanaciones (zonas permeables, sin vegetación)			77	86	91	94

Nota. La tabla muestra valores de número de curva para diferentes uso y cobertura del suelo. Adaptado de (Cronshey, 1986, p. 19 y 20) y (De Villarán San Juan, 2010, p. 22 y 23).

Los números de curva se expresan en un rango de valores que varían entre 0 y 100, representando la cantidad de escorrentía superficial que se genera (De Villarán San Juan, 2010). Para cada subcuenca se determina un valor de CN en función a sus características.

La asignación de los grupos hidrológicos consiste en relacionar la textura de los suelos con los grupos hidrológicos. Según Témez (1987), en su adaptación del método del número de curva al territorio español, propone la siguiente relación entre la textura de los suelos y los grupos hidrológicos. (Tabla 12.)

Tabla 12.

Correspondencia entre la textura y los grupos hidrológicos de suelo (Témez, 1987).

Grupo hidrológico	Textura del suelo
Grupo A	Arenosa
	Arenoso – franca
	Franco – arenosa
Grupo B	Franca
	Franco-limosa
	Franco-arcillosa (mitad franca, Franco-arcillo-limosa)
Grupo C	Limosa
	Franco-arcillo-arenosa
	Franco-arcillosa (mitad arcillosa, Franco-arcillo-arenosa)
Grupo D	Arcillo-arenosa
	Franco-arcillosa-limosa
	Arcillo-limosa
	Arcillosa

Nota. Tomado de *Mejora de los parámetros de cálculo del modelo del número de curva y su validación mediante un modelo hidrológico distribuido* (p. 55), por De Villarán San Juan, 2010, Universidad de Huelva.

La condición hidrológica indica como la cobertura de suelo y su manejo influyen en los procesos de infiltración y escorrentía. Generalmente se estima a partir de la densidad de la vegetación.

Se emplean cuatro métodos empíricos para la estimación de los caudales de la cuenca alta y media del río Manglaralto.

3.6.3. Método Racional.

Para el desarrollo del método racional no se considera la variabilidad temporal ni la distribución espacial de la lluvia, ya que se asume una lluvia uniforme y una respuesta instantánea (Maza, 2024a). Los parámetros que se deben determinar son tiempo de concentración, la intensidad de lluvia y el coeficiente de escorrentía. Para calcular los caudales máximos se aplica la siguiente ecuación (Ec. 5).

Ecuación 5.

Caudal de diseño - método racional.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño, en (m³/s).

I: Intensidad de lluvia, en (mm/h).

A: Área de la cuenca o subcuenca, en (ha).

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional).

3.6.3.1. Tiempo de concentración (T_c).

Según Gaspari et al. (2010), el tiempo de concentración es el intervalo necesario para que el agua desde el punto más alejado de la cuenca llegue al punto de salida de esta, considerando la pendiente y la longitud del cauce principal. Se emplea el método de Kirpich.

Ecuación 6.

Tiempo de concentración - método Kirpich.

$$T_c = K * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde:

K: Coeficiente de conversión de unidades, en donde K=0.0078 para unidades inglesas y K=0.0195 para unidades del SI.

L: Longitud del cauce principal, en metros o pies dependiendo de K.

S: Pendiente promedio del cauce principal (m/m).

3.6.3.2. *Intensidad de lluvia (i).*

Para el cálculo de la intensidad de lluvia se aplica la ecuación 4 reemplazando los valores de k , m y n para cada estación seleccionada. También se requiere calcular los parámetros de tiempo de concentración según Kirpich y los respectivos periodos de retorno.

3.6.3.3. *Coefficiente de escorrentía (c).*

El coeficiente de escorrentía (c) representa la fracción de agua de la precipitación total que genera escorrentía superficial una vez que el suelo alcanza su punto de saturación. Su valor depende de las características del suelo. (Sara et al., 2011)

La determinación del coeficiente de escorrentía se realiza con ayuda de tablas o ecuaciones empíricas, siendo las tablas las más utilizadas. La ecuación que se presenta a continuación corresponde a la ponderación del coeficiente de escorrentía, un método que permite obtener un valor representativo de una cuenca hidrográfica con diferentes tipos de cobertura de suelo.

Ecuación 7.

Coefficiente de escorrentía promedio.

$$c_p = \frac{(c_1 * A_1 + c_2 * A_2 + \dots + c_n * A_n)}{A_{total}}$$

Donde:

c_p : Coeficiente de escorrentía ponderado.

c_1, c_2, c_n : Coeficientes de escorrentía de cada tipo de suelo presente en la cuenca o subcuenca.

A_1, A_2, A_n : Áreas parciales de cada tipo de suelo dentro de la cuenca o subcuenca.

A_{total} : Área total de la cuenca o subcuenca.

Se seleccionan los valores correspondientes para cada variable del coeficiente de escorrentía, considerando factores como el relieve, la permeabilidad, la cobertura vegetal y el almacenamiento de la superficie de la cuenca alta, media y baja. (Tabla 13.)

Tabla 13.

Coefficientes de Escorrentía según Benítez et al. (1980).

Cobertura del Suelo	Tipo de Suelo	Pendientes (%)				
		> 50	20-50	5 -20	1-5	0-1
Sin Vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
Pastos, Vegetación ligera	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
Hierba	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Bosque, Vegetación densa	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Nota. La tabla muestra los valores de coeficiente de escorrentía para diferentes tipos y cobertura del suelo. Tomado de “Manual para el desarrollo de Obras de conservación de Suelo” (p. 8), por Lemus & Navarro, 2003, Corporación Forestal Nacional.

3.6.4. Método del Hidrograma Unitario adimensional SCS.

Para el desarrollo de este método en el software HEC-HMS, es necesario contar con el parámetro de tiempo de concentración, tiempo de retardo y número de curva.

3.6.4.1. *Tiempo de concentración (T_c).*

En este método se emplea de la misma manera la fórmula de Kirpich del método racional (Ec. 6), el cual permite estimar la capacidad hidráulica máxima de la cuenca durante una precipitación uniforme. Esta técnica determina el tiempo necesario para que toda la cuenca contribuya al proceso de drenaje (Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz, 2014).

3.6.4.2. *Tiempo de retardo (T_r).*

El estudio de los hidrogramas unitarios de las cuencas hidrográficas indica que el tiempo de retardo es el sesenta por ciento del tiempo de concentración (Ponce & Veneros, 2011) (Ec. 8):

Ecuación 8.

Tiempo de retardo - método H.U Adimensional SCS.

$$T_r = 60\% * T_c$$

Donde T_c es el tiempo de concentración de la cuenca.

3.6.5. Método del Hidrograma Unitario de Snyder.

El desarrollo del método del H.U. de Snyder, se ejecuta través del software HEC-HMS, por lo que es necesario determinar los parámetros requerido para la aplicación del método; estos parámetros son el tiempo de retardo y el coeficiente pico de Snyder.

3.6.5.1. *Tiempo de retardo (t_p).*

Se define como el tiempo transcurrido entre el centroide de la masa de precipitación y el flujo máximo del hidrograma resultante (US Army Corps

of Engineers, 2015, p. 214). Para el cálculo del parámetro se emplea la siguiente formula (Ec. 9).

Ecuación 9.

Tiempo de retardo - método H.U. de Snyder.

$$t_p = 0.75 * C_t * (L * L_c)^{0.30}$$

Donde:

tp: Tiempo de retardo de la cuenca, en (hrs).

Ct: Coeficiente de retardo de Snyder, depende de la pendiente media de la cuenca.

L: Longitud del cauce principal, en (km).

Lc: Longitud desde el punto de interés hasta el cauce más cercano al centro de gravedad de la cuenca, en km.

El coeficiente *Ct* varía de 1.35 para pendientes altas a 1.65 para pendientes bajas (Maza, 2024a).

3.6.5.2. Coeficiente de pico de Snyder.

Mide la inclinación del hidrograma de precipitación, cuyos valores oscilan generalmente entre 0.56 a 0.69, de acuerdo con el porcentaje de vegetación de la cuenca, los valores más bajos están asociados con hidrogramas de ascenso pronunciado (US Army Corps of Engineers, 2015). En la Tabla 14 se indican los valores de *Ct* y *Cp* según Maza (2024b).

Tabla 14.

Valores de Ct y Cp para la estimación del Hidrograma Sintético de Snyder.

Pendiente del terreno (%)	Ct	Porcentaje de vegetación (%)	Cp
100.0	1.35	100.0	0.56
96.7	1.36	92.5	0.57
93.4	1.37	85.0	0.58
90.1	1.38	77.5	0.59
86.8	1.39	70.0	0.60
83.5	1.40	62.5	0.61
80.2	1.41	55.0	0.62
76.9	1.42	47.5	0.63
73.6	1.43	40.0	0.64
70.3	1.44	32.5	0.65
67.0	1.45	25.0	0.66
63.7	1.46	17.5	0.67
60.4	1.47	10.0	0.68
57.1	1.48	2.5	0.69
53.8	1.49		
50.5	1.50		
47.2	1.51		
43.9	1.52		
40.6	1.53		
37.3	1.54		
34.0	1.55		
30.7	1.56		
27.4	1.57		
24.1	1.58		
20.8	1.59		
17.5	1.60		
14.2	1.61		
10.9	1.62		
7.6	1.63		
4.3	1.64		
1.0	1.65		

Nota. Tomado de “Análisis de máximas crecidas, para diferentes periodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja)” (p. 26), por Maza, 2024, Universidad Nacional de Loja.

3.6.6. Método del Hidrograma Unitario de Clark.

Este método también se ejecuta en el software HEC-HMS y considera los parámetros de tiempo de concentración y coeficiente de almacenamiento.

3.6.6.1. *Tiempo de concentración (tc).*

Para determinar el tiempo de concentración mediante la fórmula de Clark, se requiere disponer del área de cada subcuenca y la pendiente del cauce principal (Avellaneda & Montalvo, 2019). Estos dos parámetros están vinculados en la siguiente ecuación (Ec. 10).

Ecuación 10.

Tiempo de concentración - método H.U. de Clark.

$$t_c = 0.335 * \left(\frac{A}{\sqrt{S}} \right)^{0.593}$$

Dónde:

tc: Tiempo de concentración, en (hrs).

S: Pendiente del cauce principal, en (m/m).

A: Área de la cuenca o subcuencas, en (km²).

3.6.6.2. *Coficiente de almacenamiento.*

Este coeficiente representa el tiempo de retardo en el desplazamiento de la escorrentía superficial a través la cuenca, simulando el comportamiento de la cuenca como un depósito lineal, donde un aumento del caudal de entrada da lugar a un caudal de salida retardado (Elizondo, 2018). Según Viessman & Lewis (2011), el coeficiente de almacenamiento se considera como el 75% del tiempo de concentración de la cuenca en horas.

Ecuación 11.

Coficiente de almacenamiento.

$$\text{Coef. Almacenamiento} = 75\% * t_c$$

3.6.7. Método de Muskingum.

Según Enriquez & Enriquez (2011), es un método para calcular el hidrograma de una avenida en su tránsito por el cauce, teniendo en cuenta el efecto de laminación. Obtiene dos parámetros, uno relacionado con la capacidad de almacenamiento del cauce en cada tramo, de carácter adimensional, “X”, y otro relacionado con el tiempo que tarda la onda de avenida en desplazarse por el tramo considerado, con unidades de tiempo “K”. En la ecuación (Ec. 12) se presenta la fórmula de Muskingum.

Ecuación 12.

Tiempo por el método de Muskingum.

$$K = 0.18 * \left(\frac{\Delta x}{(i^{(0.25)})} \right)^{(0.76)}$$

Donde:

K: Tiempo en horas.

Δx : Distancia máxima en Km.

i : Pendiente promedio del cauce.

$X \in [0.1 \dots 0.5]$ y depende de la pendiente media del tramo, a más pendiente más alta será la χ . (Departamento de Ingeniería Hidráulica-Marítima y Ambiental, 2011)

3.6.7.1. Parámetro SubReaches HEC-HMS.

Para establecer el valor del coeficiente n en los “Subreaches”, es fundamental considerar las condiciones hidráulicas y geomorfológicas específicas del tramo analizado (Departamento de Ingeniería Hidráulica-Marítima y Ambiental, 2011).

Ecuación 13.

Parámetro SubReaches.

$$\Delta t > 2 * K * X$$

donde Δt es el incremento de tiempo que se utiliza para representar los resultados. En este caso se toma el tiempo de 1 hora para el análisis hidrológico.

3.7. METODOLOGÍA DEL OE. 3: MODELACIÓN HIDRÁULICA E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN FLUVIAL.

La modelación hidráulica del tramo comprendido entre las abscisas 0+000 – 1+000 del río Dos Mangas y la implementación de estrategias de restauración fluvial se desarrollan a través de un enfoque integral que incluye previamente el análisis hidrológico en HEC-HMS, el caudal de diseño que llega a este tramo del río y la simulación de escenarios para evaluar el comportamiento del flujo antes y después de la intervención de estrategias de restauración fluvial en HEC-RAS. Inicialmente, se realiza un levantamiento topográfico con equipo GNSS de 6 hectáreas para obtener información sobre la morfología del tramo fluvial de interés.

3.7.1. Coeficiente de Manning.

V. te Chow (1994) menciona que el coeficiente de rugosidad de Manning es utilizado para calcular la resistencia al flujo en canales abiertos, debido a que influye directamente en la velocidad del agua en las secciones transversales del canal. Se deben considerar diversos factores que afectan al coeficiente, como la vegetación, la sedimentación la socavación y cualquier tipo de obstrucción que pueda interferir en el flujo.

Tabla 15.

Valores de coeficiente de rugosidad de Manning “n”.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D. Corrientes Naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel de creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies.			
1. Limpias, rectas, máximo nivel.	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas.	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena.	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras.	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes.	0.040	0.048	0.055
6. Igual al cuatro, pero con más piedras.	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos.	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales decrecientes con muchos árboles con matorrales bajos.	0.075	0.100	0.150
b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas árboles y matorrales sumergidas en niveles altos.			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes.	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales.			
1. Pasto corto.	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto.	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas.			
1. Sin cultivo.	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros.	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros.	0.030	0.040	0.050
c. Matorrales.			
1. Matorrales dispersos coma mucha maleza.	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno.	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano.	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno.	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano.	0.070	0.100	0.160
d. Árboles.			
1. Sauces densos, rectos y en verano.	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños.	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños.	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales.	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel decreciente por encima de las ramas.	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel decreciente > 100 pies).			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales.	0.025	0.060
b. Sección irregular y rugosa	0.035	0.100

Nota. Tomado de “Hidráulica de canales abiertos” (p. 110-11), por V. te Chow, (1994), McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.

3.7.2. Implementación de estrategias de restauración fluvial.

La restauración fluvial se centra en mejorar la estabilidad del cauce, optimizar su capacidad de transporte de sedimentos y minimizar los riesgos de erosión e inundación en zonas vulnerables (Magdaleno et al., 2018). Para ello, se consideran diversas estrategias que combinan soluciones estructurales y naturales, tales como la reforestación de márgenes con especies nativas, la incorporación de estructuras vegetativas para la estabilización de taludes, la reconfiguración del cauce en tramos críticos para mejorar su funcionalidad ecológica e hidráulica. Los resultados del modelo hidráulico permiten evaluar la efectividad de estas intervenciones, comparando los escenarios previos y posteriores a la restauración para asegurar que se logre una mejora en la dinámica fluvial y en la mitigación de riesgos. Con base en este análisis, se determinan las estrategias más adecuadas para las condiciones del tramo evaluado.

3.7.2.1. Diseño de defensas ribereñas – Diques laterales enrocados.

Para el diseño de la defensa ribereña, se emplea la herramienta RIVER, desarrollada por el ingeniero Emilse Benavides C., profesional especialista de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Ministerio de Agricultura del Perú, que permite modelar hidráulicamente cauces naturales y artificiales. Este programa facilita la evaluación de diferentes secciones del río, la determinación del nivel de socavación y la simulación del comportamiento del flujo ante diversas condiciones hidrológicas. A partir de los datos topográficos, hidrológicos y morfométricos, se establece un diseño de dique enrocado que garantice la estabilidad de las márgenes del río, reduciendo el riesgo de inundación y erosión en eventos de crecida (Perez, 2018).

Figura 23.

Herramienta RIVER.



Nota. Tomado de la herramienta *River*.

En base a los estudios geotécnicos efectuados por Valdivieso Toledo & Vélez Villacis (2023), para la caracterización de los suelos del lecho y las orillas del río Manglaralto, indican que el cauce del río presenta una composición de arena mal graduada (SP), mientras que las orillas están formados por material fino.

La Tabla 16 presenta el diámetro nominal del agregado grueso del enrocado.

Tabla 16.

Tamaño de partícula mínimo y máximo permitido en pulgadas.

Clase nominal de escollera por diámetro media de partícula		d50	
Clase	Tamaño (in)	Min	Max
I	6	5.7	6.9
II	9	8.5	10.5
III	12	11.5	14.0
IV	15	14.5	17.5
V	18	17.0	20.5
VI	21	20.0	24.0
VII	24	23	27.5
VIII	30	28.5	34.5
IX	36	34.0	41.5
X	42	40.0	48.5

Nota. Fuente: NHI, 2009.

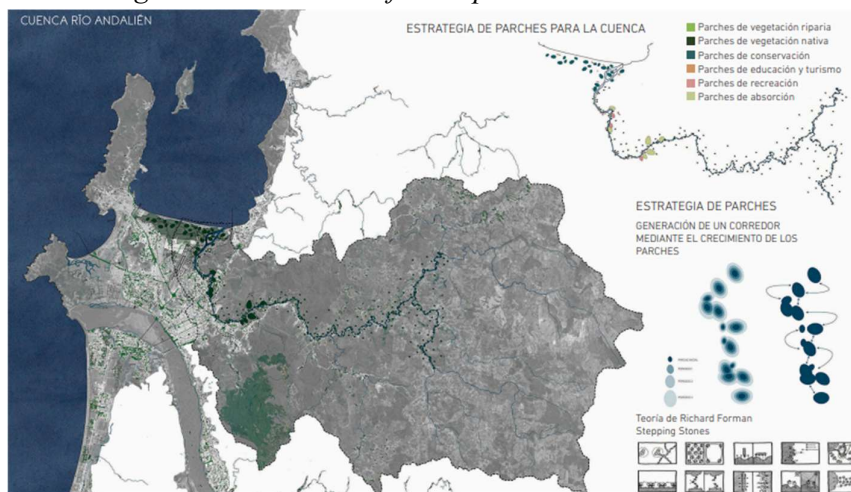
3.7.2.2. Parches como unidades para la continuidad del flujo.

Las estrategias restauración fluvial permiten balancear las fuerzas hidrodinámicas y sedimentológicas, y al mismo tiempo, proteger infraestructuras como el badén y viviendas (Espinosa et al., 2019). Como parte de la propuesta de restauración, se plantea la creación de parches multifuncionales distribuidos estratégicamente en el territorio, en busca de soluciones específicas para cada sector. En las riberas del río Dos Mangas se extrae principalmente canto rodado y arena dulce, lo que debilita el cauce (Sánchez Luna et al., 2011), por lo tanto, la función de cada parche se adapta al contexto y necesidad, actuando como contenedores de vegetación riparia, reservorios de agua en zonas de desbordamiento o áreas de absorción.

El Vetiver es una planta gramínea perenne de 50 años de vida, ha demostrado ser ideal para la conservación del suelo y la humedad, es capaz de soportar sequías extremas, así como inundaciones por largos períodos. Tiene una variación del pH muy amplia y crece en cualquier tipo de suelo, previene la erosión y la desestabilización de las riberas del cauce fluvial al controlar los flujos de creciente (Pérez, 2006)

Figura 24.

Mapa de estrategias de restauración fluvial para la Cuenca Río Andalién.



Nota. Ejemplo tomado de “Restauración Fluvial Como Estrategia De Diseño Urbano. Un Diálogo Entre Investigación y Diseño. Concurso Río Andalién, Concepción, Chile” por Espinosa et al., 2019b.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS PARA EL ANÁLISIS DE ESCORRENTÍA Y LA MODELACIÓN HIDRÁULICA.

En la presente investigación, un escenario se conceptualiza como una representación específica y parcial de un sistema diseñado para una situación determinada. Esta metodología permite que la modelación evalúe diversas condiciones a la que está siendo sometida, logrando obtener conclusiones basadas en la observación y el análisis de los resultados mediante una simulación virtual de la cuenca del río Manglaralto, proyectando una situación futura probable con ayuda de los softwares HEC-HMS para el análisis de escorrentía y HEC-RAS para la modelación hidráulica.

Para este modelo se crearon distintos escenarios importantes los cuales permitieron obtener diferentes resultados de modelación de la cuenca del río Manglaralto (Tabla 17.)

Tabla 17.

Escenarios de situación futura con sus respectivos años de retorno.

Escenarios	Situación futura – TR
1	5 años
2	10 años
3	25 años
4	50 años

Nota. Elaborado por el autor.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE. 1 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA.

4.2.1. Delimitación de la cuenca.

Para el estudio de los hidrogramas de crecida, el análisis de la escorrentía superficial y la propagación de caudales de la cuenca del río Manglaralto se considera en la delimitación de la cuenca, la integración de las subcuencas existentes en 3 tipos: alta, media y baja. Sin embargo, en el presente análisis se definen la cuenca alta y media como las principales cuencas de estudio.

El análisis de las cuencas muestra un punto de descarga en donde se proporciona un hidrograma de crecida que, su resultado, será la suma de cada una de las subcuencas integrantes a través del software HEC – HMS 4.10 (Figura 25, Tabla 18 y 19).

Tabla 18.

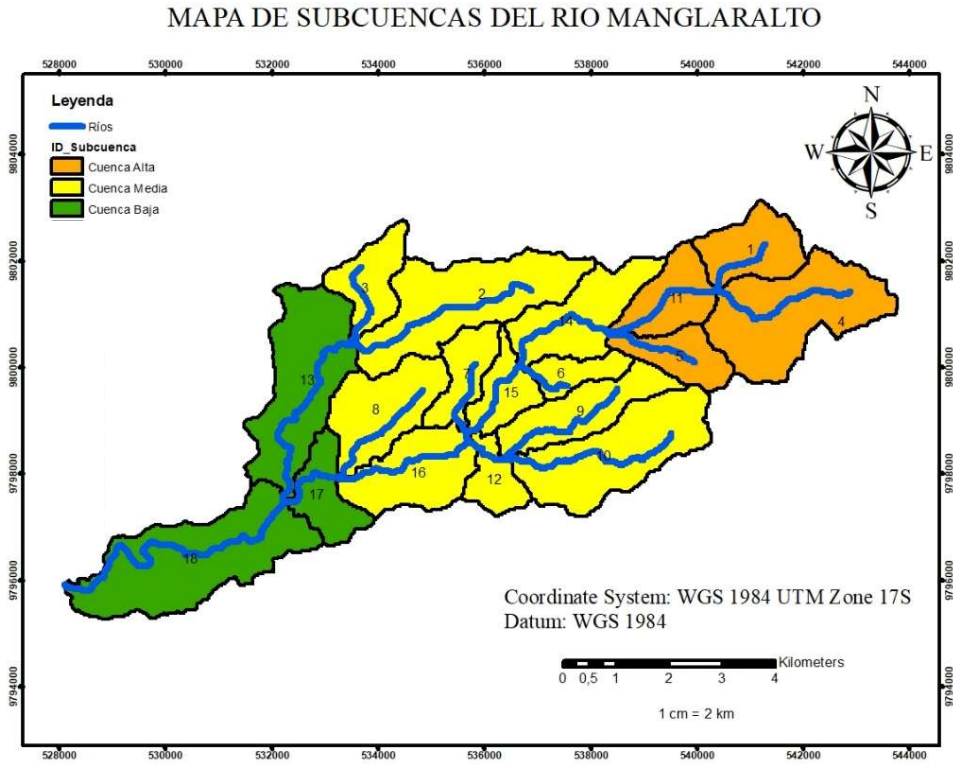
Conformación de tramos de la cuenca del río Manglaralto.

	Cuenca	Número de Subcuenca
A	Alta	1, 4, 5, 11
B	Media	2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16
C	Baja	13, 17, 18

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 25.

Subcuencas de la Cuenca del Río Manglaralto.



Nota. Realizado en *ArcGIS*.

Tabla 19.

Áreas y longitudes de las subcuencas.

Subcuenca	Área (Km ²)	Longitud máxima del recorrido (Km)
S1	2.11	2.59
S2	5.13	5.78
S3	1.81	3.25
S4	4.99	4.29
S5	1.62	2.73
S6	1.02	2.73
S7	1.55	2.57
S8	3.03	3.40
S9	2.58	4.55
S10	4.58	5.19
S11	2.01	2.80
S12	1.15	2.02
S13	4.75	5.66
S14	2.96	4.13
S15	1.41	2.72
S16	2.94	3.61
S17	1.70	2.75
S18	5.99	7.58

Nota. Elaborado por el autor.

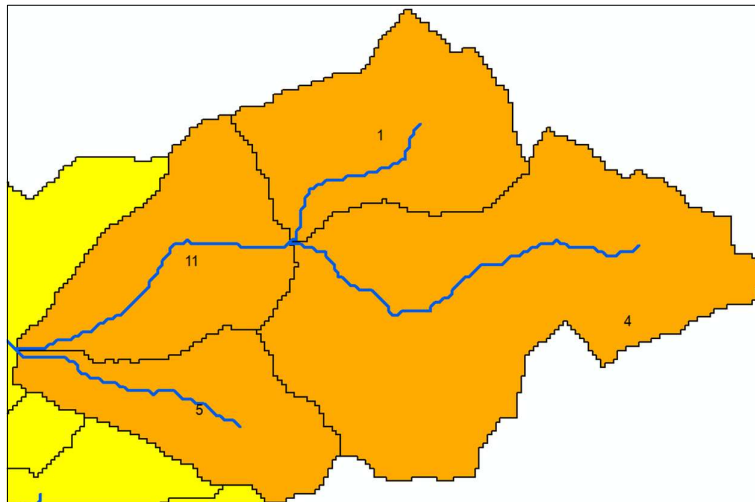
4.2.2. Cuencas de análisis.

4.2.2.1. Cuenca Alta.

Con un área total de 10.73 Km² está conformada por las subcuencas 1, 4, 5 y 11 (Figura. 26). Para el análisis de escorrentía de la cuenca alta, se determinarán los parámetros hidrológicos de cada subcuenca considerando su área y su hidrograma de crecida.

Figura 26.

Subcuencas de la Cuenca Alta del río Manglaralto.



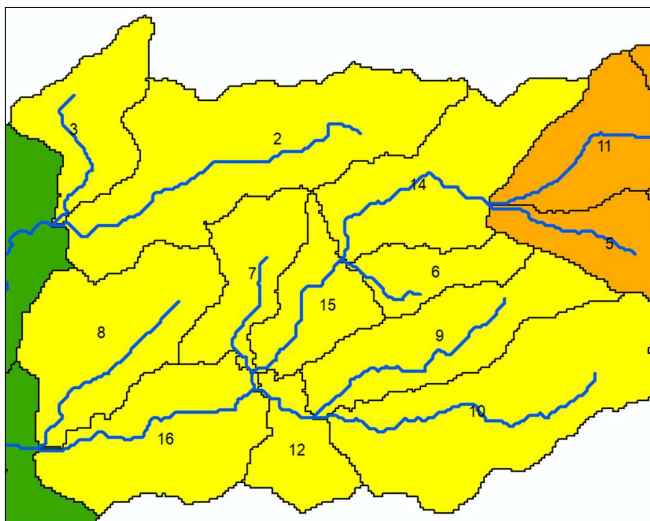
Nota. Realizado en *ArcGIS*.

4.2.2.2. Cuenca Media.

La cuenca con una extensión total de 28.16 Km², está conformada por las subcuencas 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15 y 16 (Figura. 27). Dentro de la cuenca media se localizan 4 de las 5 infraestructuras existentes en las comunas Dos Mangas y Pajiza. El objeto del problema, donde el río se desborda, se ubica en la comuna Dos Mangas, específicamente entre las subcuencas 8 y 16, donde se sitúa el badén. La infraestructura es una variable considerada en el modelamiento hidráulico.

Figura 27.

Subcuencas de la Cuenca Media del río Manglaralto.



Nota. Realizado en ArcGIS.

4.2.3. Parámetros físicos y morfológicos de la cuenca.

Las principales características de la cuenca, obtenidas con el programa ArcGIS 10.8 se indican en la Tabla 20. El mapa de pendientes de la cuenca se visualiza en la Figura 28 y en la Tabla 21 la pendiente media de cada subcuenca.

Tabla 20.

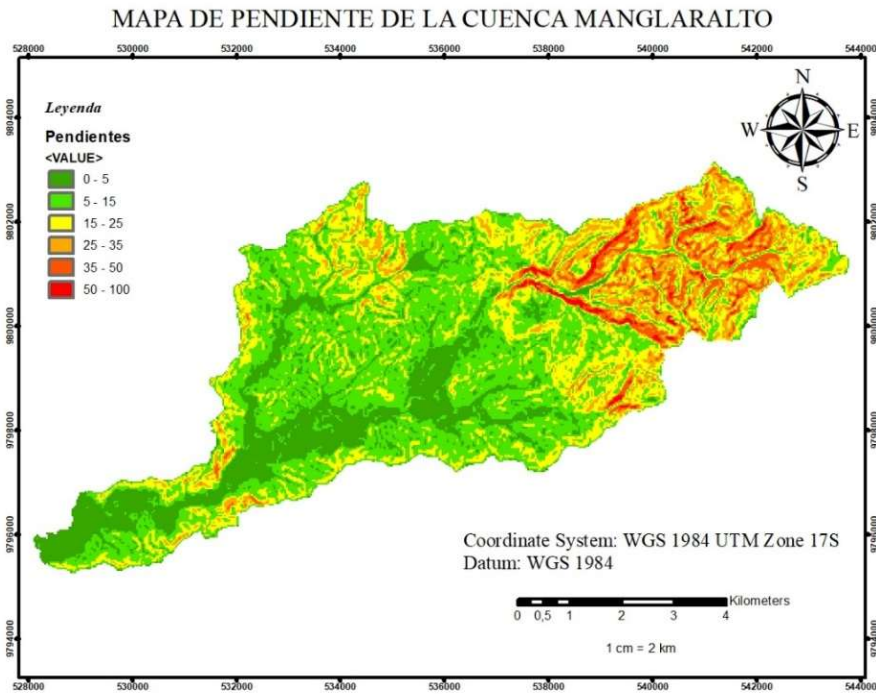
Características físicas y morfométricas de la cuenca del río Manglaralto.

PARÁMETROS DE FORMA		
Parámetro	Valor	Interpretación
Área (km ²)	51.33	Pequeña
Perímetro (km)	45.57	-
Coefficiente de compacidad	1.79	De Oval Oblonga a Rectangular oblonga
Coefficiente de forma	0.10	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
PARÁMETROS DE RELIEVE		
Pendiente media (%)	5.44	Suave o ligeramente ondulado
Elevación media (m s.n.m.)	207.02	-
PARÁMETROS RELATIVOS A LA RED DE DRENAJE		
Orden de corrientes	4.00	Media
Densidad de drenaje (km/km ²)	1.33	Baja
Longitud del cauce principal (km)	27.88	-
Pendiente del cauce principal (%)	6.50	Moderado

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 28.

Mapa de pendientes de la cuenca del río Manglaralto.



Nota. Elaborado en *ArcGIS*.

Tabla 21.

Pendiente media de cada subcuenca.

Subcuencas	Sm (%)
S1	31.12
S2	2.22
S3	4.92
S4	9.84
S5	11.89
S6	5.24
S7	4.55
S8	5.32
S9	3.56
S10	3.23
S11	10.01
S12	4.23
S13	1.88
S14	5.42
S15	4.65
S16	2.77
S17	1.65
S18	0.84

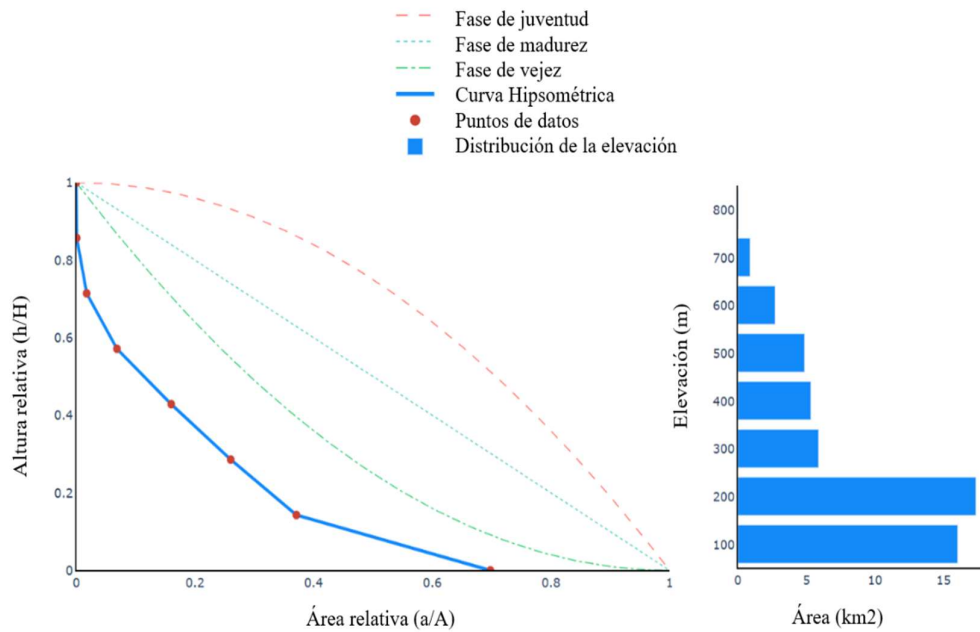
Nota. Elaborado por el autor.

La cuenca del río Manglaralto, posee un área de 51.33 km², lo que la clasifica como una cuenca pequeña, además tiene un perímetro de 45.57 km, pendiente media de 5.44% (relieve suave o ligeramente ondulado), y elevación media de 280.14m. El cauce principal tiene pendiente media de 6.50 % y longitud de 27.88 km.

En la Figura 29, se presenta la curva hipsométrica de la cuenca, que según Caicedo Toro et al. (2021) es de categoría tipo C, se encuentra en etapa de vejez y por lo tanto es una cuenca sedimentaria.

Figura 29.

Curva Hipsométrica y Frecuencia de altitudes para la cuenca Manglaralto.



Nota. Generado por el software QGIS.

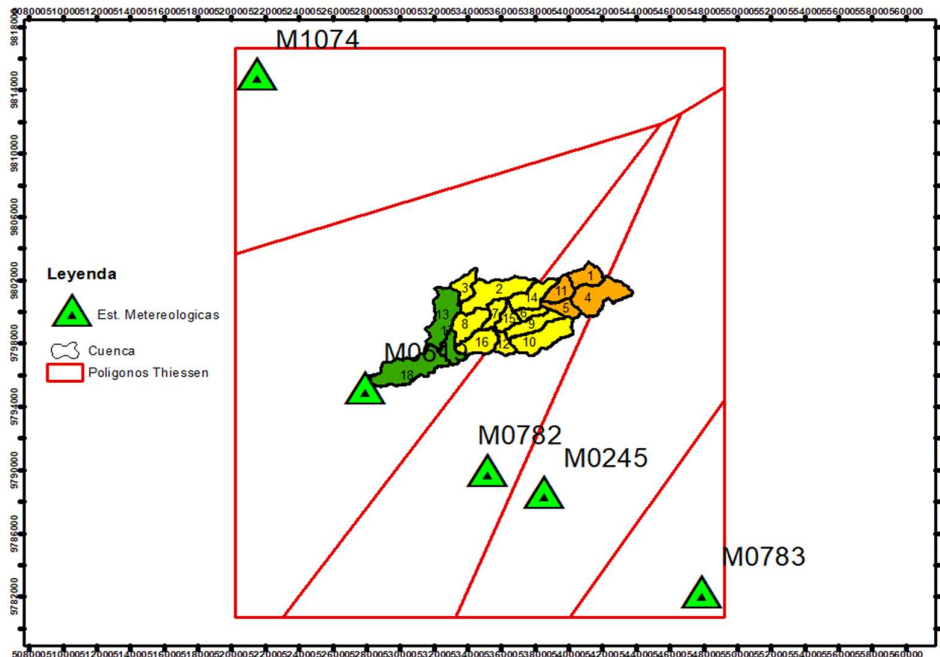
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE. 2 – CAUDAL Y ESCORRENTÍA QUE FLUYE POR EL CAUCE DEL RÍO MANGLARALTO.

4.3.1. Análisis de las Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).

Para la construcción de curvas IDF, se elabora previamente un mapa de zonificación en ArcGIS (Figura 30), en el cual se determina que las estaciones meteorológicas consideradas para los valores de k , m , n y el cálculo de precipitaciones máximas son las estaciones de Manglaralto (M0619) que engloba ciertas subcuencas de la cuenca media, y Barcelona (M0782) que abarca las subcuencas de la cuenca alta y parte de la cuenca media.

Figura 30.

Mapa de zonificación estaciones meteorológicas.



Nota. Realizado en ArcGIS.

Este enfoque permite que se representen de manera precisa las condiciones meteorológicas y de precipitación en las diferentes partes de la cuenca, ya que cada

estación cubre áreas específicas. A continuación, se presenta en la Tabla 22 las subcuencas correspondientes a cada estación.

Tabla 22.

Subcuencas correspondientes a las Estaciones Meteorológicas de Manglaralto (M0619) y Barcelona (M0782).

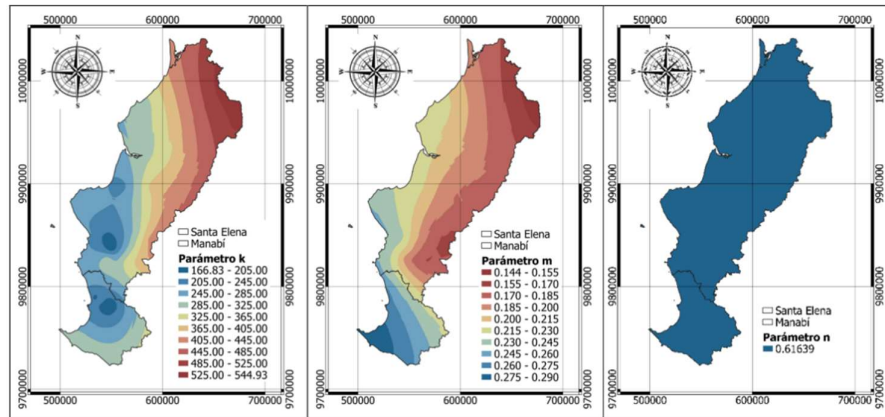
Estaciones Meteorológicas	Subcuencas
Manglaralto (M0619)	2, 3, 7, 8, 15 y 16
Barcelona (M0782)	1, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12 y 14

Nota. Elaborado por el autor.

El mapa de regionalización de los valores de k , m y n en la provincia de Santa Elena y Manabí, elaborados por Corapi & Nuñez Neira, (2022) se presenta a continuación en la Figura 31.

Figura 31.

Regionalización de k , m y n . Método Kriging Ordinario (KO).



Nota. Tomado de “Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí” (p. 26), por Corapi & Nuñez Neira, (2022), Revista Tecnológica – ESPOL.

Los valores de k , m y n de la estación Manglaralto (M0619) y Barcelona (M0782) se presenta en la Tabla 23.

Tabla 23.

Parámetros de k , m y n de cada estación.

Código	Estación	k	m	n
M0619	Manglaralto	238.75830	0.28517	0.61639
M0782	Barcelona	193.56532	0.27035	0.61639

Nota. Tomado de “Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí” (p. 26), por Corapi & Nuñez Neira, (2022), Revista Tecnológica – ESPOL.

A partir de los valores de k , m y n se obtiene las siguientes ecuaciones de intensidad de lluvia para la estación Manglaralto (Ec. 14) y Barcelona (Ec. 15).

Ecuación 14.

Intensidad máxima de la estación Manglaralto (M0619).

$$i = 238.75830 * T^{0.28517} * t^{-0.61639}$$

Ecuación 15.

Intensidad máxima de la estación Barcelona (M0782).

$$i = 193.56532 * T^{0.27035} * t^{-0.61639}$$

Donde:

i : Intensidad de lluvia, en (mm/h)

T : periodo de retorno, en (años)

t : Tiempo de concentración en, (min)

A continuación, se presenta los hietogramas de diseño y las curvas IDF para el periodo de retorno de 5, 10, 25 y 50 años de cada estación.

Hietograma de diseño con un periodo de retorno de 5 años de la estación Manglaralto y Barcelona (Tabla 24 y 25, Figura 32 y 33) con intervalos de tiempos sucesivos hasta completar un día (24 horas).

Tabla 24.

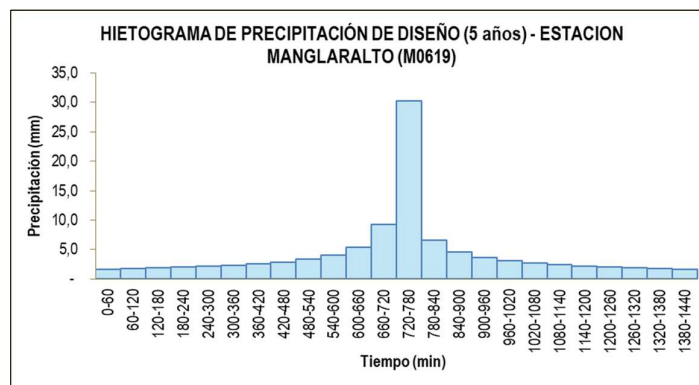
Hietograma de Precipitación de Diseño (5 años) – Estación Manglaralto (M0619).

24 horas 1 día	Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación mm
1	60	30.287	30.287	30.287	0-60	1.660
2	120	19.756	39.512	9.225	60-120	1.753
3	180	15.387	46.161	6.649	120-180	1.862
4	240	12.887	51.547	5.386	180-240	1.991
5	300	11.231	56.154	4.607	240-300	2.145
6	360	10.037	60.222	4.068	300-360	2.336
7	420	9.127	63.891	3.669	360-420	2.579
8	480	8.406	67.249	3.358	420-480	2.902
9	540	7.817	70.357	3.108	480-540	3.358
10	600	7.326	73.259	2.902	540-600	4.068
11	660	6.908	75.987	2.728	600-660	5.386
12	720	6.547	78.566	2.579	660-720	9.225
13	780	6.232	81.016	2.450	720-780	30.287
14	840	5.954	83.352	2.336	780-840	6.649
15	900	5.706	85.587	2.235	840-900	4.607
16	960	5.483	87.733	2.145	900-960	3.669
17	1020	5.282	89.797	2.064	960-1020	3.108
18	1080	5.099	91.788	1.991	1020-1080	2.728
19	1140	4.932	93.711	1.924	1080-1140	2.450
20	1200	4.779	95.573	1.862	1140-1200	2.235
21	1260	4.637	97.379	1.806	1200-1260	2.064
22	1320	4.506	99.132	1.753	1260-1320	1.924
23	1380	4.384	100.837	1.705	1320-1380	1.806
24	1440	4.271	102.497	1.660	1380-1440	1.705

Nota. Realizado en Excel.

Figura 32.

Hietograma Situación Futura (5 años) – Estación Manglaralto (M0619).



Nota. Realizado en Excel.

Tabla 25.

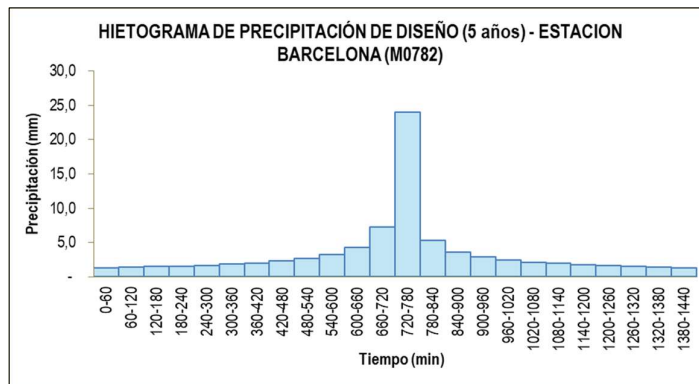
Hietograma de Precipitación de Diseño (5 años) – Estación Barcelona (M0782).

24 horas 1 día	Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación mm
1	60	23.975	23.975	23.975	0-60	1.314
2	120	15.639	31.278	7.303	60-120	1.388
3	180	12.181	36.542	5.264	120-180	1.474
4	240	10.201	40.805	4.264	180-240	1.576
5	300	8.890	44.452	3.647	240-300	1.698
6	360	7.945	47.672	3.220	300-360	1.849
7	420	7.225	50.576	2.904	360-420	2.042
8	480	6.654	53.235	2.658	420-480	2.297
9	540	6.188	55.695	2.460	480-540	2.658
10	600	5.799	57.992	2.297	540-600	3.220
11	660	5.468	60.152	2.160	600-660	4.264
12	720	5.183	62.193	2.042	660-720	7.303
13	780	4.933	64.133	1.939	720-780	23.975
14	840	4.713	65.982	1.849	780-840	5.264
15	900	4.517	67.752	1.770	840-900	3.647
16	960	4.341	69.450	1.698	900-960	2.904
17	1020	4.181	71.084	1.634	960-1020	2.460
18	1080	4.037	72.660	1.576	1020-1080	2.160
19	1140	3.904	74.183	1.523	1080-1140	1.939
20	1200	3.783	75.657	1.474	1140-1200	1.770
21	1260	3.671	77.086	1.429	1200-1260	1.634
22	1320	3.567	78.474	1.388	1260-1320	1.523
23	1380	3.471	79.824	1.350	1320-1380	1.429
24	1440	3.381	81.138	1.314	1380-1440	1.350

Nota. Realizado en Excel.

Figura 33.

Hietograma Situación Futura (5 años) – Estación Barcelona (M0782).



Nota. Realizado en Excel.

Hietograma de diseño con un periodo de retorno de 10 años de la estación Manglaralto y Barcelona (Tabla 26 y 27, Figura 34 y 35), con intervalos de tiempos sucesivos hasta completar un día (24 horas).

Tabla 26.

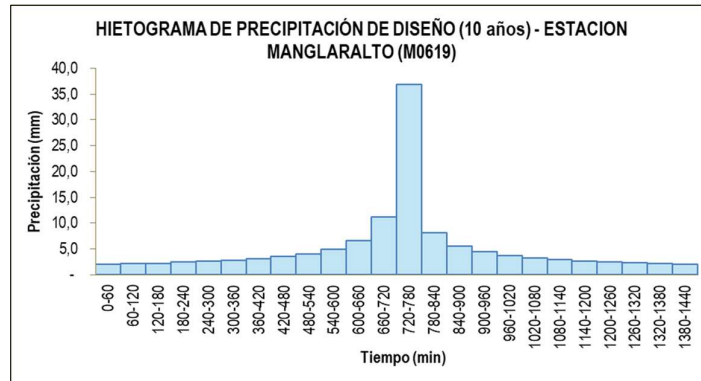
Hietograma de Precipitación de Diseño (10 años) – Estación Manglaralto(M0619).

24 horas 1 día	Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación mm
1	60	36.906	36.906	36.906	0-60	2.023
2	120	24.074	48.147	11.242	60-120	2.137
3	180	18.750	56.250	8.103	120-180	2.269
4	240	15.703	62.813	6.563	180-240	2.426
5	300	13.685	68.427	5.614	240-300	2.614
6	360	12.231	73.384	4.957	300-360	2.847
7	420	11.122	77.854	4.470	360-420	3.143
8	480	10.243	81.946	4.092	420-480	3.536
9	540	9.526	85.734	3.787	480-540	4.092
10	600	8.927	89.270	3.536	540-600	4.957
11	660	8.418	92.594	3.324	600-660	6.563
12	720	7.978	95.737	3.143	660-720	11.242
13	780	7.594	98.722	2.985	720-780	36.906
14	840	7.255	101.569	2.847	780-840	8.103
15	900	6.953	104.293	2.724	840-900	5.614
16	960	6.682	106.907	2.614	900-960	4.470
17	1020	6.437	109.422	2.515	960-1020	3.787
18	1080	6.214	111.848	2.426	1020-1080	3.324
19	1140	6.010	114.192	2.344	1080-1140	2.985
20	1200	5.823	116.461	2.269	1140-1200	2.724
21	1260	5.651	118.662	2.200	1200-1260	2.515
22	1320	5.491	120.798	2.137	1260-1320	2.344
23	1380	5.342	122.876	2.078	1320-1380	2.200
24	1440	5.204	124.898	2.023	1380-1440	2.078

Nota. Realizado en *Excel*.

Figura 34.

Hietograma Situación Futura (10 años) – Estación Manglaralto (M0619).



Nota. Realizado en *Excel*.

Tabla 27.

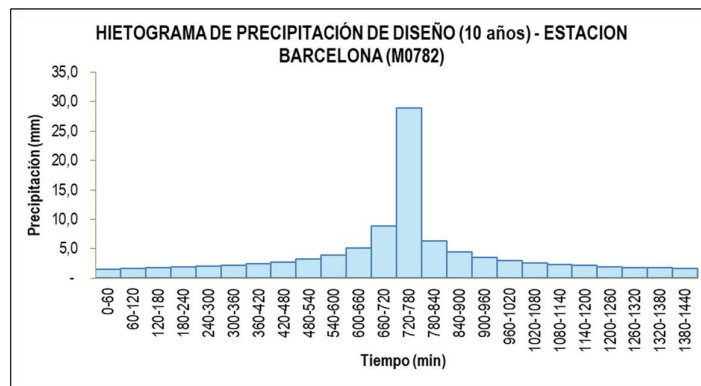
Hietograma de Precipitación de Diseño (10 años) – Estación Barcelona (M0782).

24 horas 1 día	Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación mm
1	60	28.916	28.916	28.916	0-60	1.585
2	120	18.862	37.724	8.808	60-120	1.674
3	180	14.691	44.073	6.349	120-180	1.778
4	240	12.304	49.215	5.142	180-240	1.901
5	300	10.723	53.614	4.398	240-300	2.048
6	360	9.583	57.498	3.884	300-360	2.231
7	420	8.714	61.000	3.503	360-420	2.462
8	480	8.026	64.206	3.206	420-480	2.771
9	540	7.464	67.174	2.968	480-540	3.206
10	600	6.994	69.944	2.771	540-600	3.884
11	660	6.595	72.549	2.605	600-660	5.142
12	720	6.251	75.011	2.462	660-720	8.808
13	780	5.950	77.350	2.339	720-780	28.916
14	840	5.684	79.581	2.231	780-840	6.349
15	900	5.448	81.715	2.134	840-900	4.398
16	960	5.235	83.764	2.048	900-960	3.503
17	1020	5.043	85.734	1.971	960-1020	2.968
18	1080	4.869	87.635	1.901	1020-1080	2.605
19	1140	4.709	89.472	1.837	1080-1140	2.339
20	1200	4.562	91.250	1.778	1140-1200	2.134
21	1260	4.427	92.974	1.724	1200-1260	1.971
22	1320	4.302	94.648	1.674	1260-1320	1.837
23	1380	4.186	96.275	1.628	1320-1380	1.724
24	1440	4.078	97.860	1.585	1380-1440	1.628

Nota. Realizado en Excel.

Figura 35.

Hietograma Situación Futura (10 años) – Estación Barcelona (M0782).



Nota. Realizado en Excel.

Hietograma de diseño con un periodo de retorno de 25 años de la estación Manglaralto y Barcelona (Tabla 28 y 29, Figura 36 y 37), con intervalos de tiempos sucesivos hasta completar un día (24 horas).

Tabla 28.

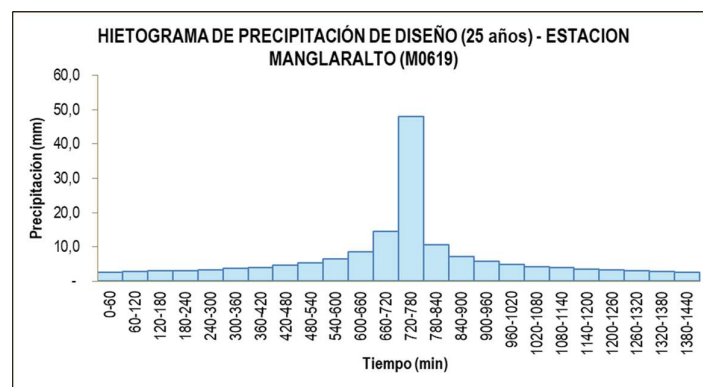
Hietograma de Precipitación de Diseño (25 años) – Estación Manglaralto(M0619).

24 horas 1 día	Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación mm
1	60	47.926	47.926	47.926	0-60	2.627
2	120	31.262	62.525	14.598	60-120	2.775
3	180	24.349	73.047	10.522	120-180	2.947
4	240	20.393	81.570	8.523	180-240	3.150
5	300	17.772	88.860	7.290	240-300	3.395
6	360	15.883	95.297	6.437	300-360	3.697
7	420	14.443	101.103	5.805	360-420	4.081
8	480	13.302	106.416	5.314	420-480	4.592
9	540	12.371	111.335	4.918	480-540	5.314
10	600	11.593	115.927	4.592	540-600	6.437
11	660	10.931	120.244	4.317	600-660	8.523
12	720	10.360	124.325	4.081	660-720	14.598
13	780	9.862	128.202	3.877	720-780	47.926
14	840	9.421	131.899	3.697	780-840	10.522
15	900	9.029	135.436	3.537	840-900	7.290
16	960	8.677	138.831	3.395	900-960	5.805
17	1020	8.359	142.098	3.267	960-1020	4.918
18	1080	8.069	145.248	3.150	1020-1080	4.317
19	1140	7.805	148.292	3.044	1080-1140	3.877
20	1200	7.562	151.239	2.947	1140-1200	3.537
21	1260	7.338	154.096	2.857	1200-1260	3.267
22	1320	7.130	156.870	2.775	1260-1320	3.044
23	1380	6.938	159.568	2.698	1320-1380	2.857
24	1440	6.758	162.195	2.627	1380-1440	2.698

Nota. Realizado en Excel.

Figura 36.

Hietograma Situación Futura (25 años) – Estación Manglaralto (M0619).



Nota. Realizado en Excel.

Tabla 29.

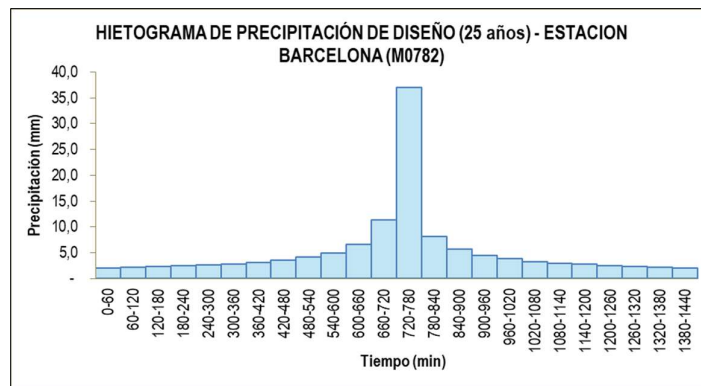
Hietograma de Precipitación de Diseño (25 años) – Estación Barcelona (M0782).

24 horas 1 día	Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación mm
1	60	37.045	37.045	37.045	0-60	2.030
2	120	24.164	48.329	11.284	60-120	2.145
3	180	18.821	56.462	8.133	120-180	2.278
4	240	15.762	63.050	6.588	180-240	2.435
5	300	13.737	68.684	5.635	240-300	2.624
6	360	12.277	73.660	4.976	300-360	2.858
7	420	11.164	78.147	4.487	360-420	3.155
8	480	10.282	82.255	4.107	420-480	3.549
9	540	9.562	86.056	3.802	480-540	4.107
10	600	8.961	89.606	3.549	540-600	4.976
11	660	8.449	92.943	3.337	600-660	6.588
12	720	8.008	96.097	3.155	660-720	11.284
13	780	7.623	99.094	2.996	720-780	37.045
14	840	7.282	101.951	2.858	780-840	8.133
15	900	6.979	104.685	2.734	840-900	5.635
16	960	6.707	107.310	2.624	900-960	4.487
17	1020	6.461	109.834	2.525	960-1020	3.802
18	1080	6.237	112.269	2.435	1020-1080	3.337
19	1140	6.033	114.622	2.353	1080-1140	2.996
20	1200	5.845	116.900	2.278	1140-1200	2.734
21	1260	5.672	119.108	2.209	1200-1260	2.525
22	1320	5.512	121.253	2.145	1260-1320	2.353
23	1380	5.363	123.338	2.085	1320-1380	2.209
24	1440	5.224	125.369	2.030	1380-1440	2.085

Nota. Realizado en *Excel*.

Figura 37.

Hietograma Situación Futura (25 años) – Estación Barcelona (M0782).



Nota. Realizado en *Excel*.

Hietograma de diseño con un periodo de retorno de 50 años (Tabla 30 y 31, Figura 38 y 39), con intervalos de tiempos sucesivos hasta completar un día (24 horas).

Tabla 30.

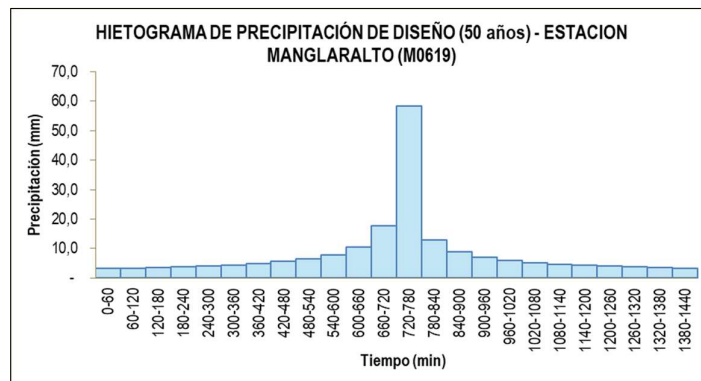
Hietograma de Precipitación de Diseño (50 años) – Estación Manglaralto (M0619).

24 horas 1 día	Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación mm
1	60	58.401	58.401	58.401	0-60	3.201
2	120	38.095	76.190	17.789	60-120	3.381
3	180	29.671	89.012	12.822	120-180	3.591
4	240	24.849	99.397	10.386	180-240	3.839
5	300	21.656	108.281	8.883	240-300	4.137
6	360	19.354	116.125	7.844	300-360	4.505
7	420	17.600	123.199	7.074	360-420	4.973
8	480	16.209	129.674	6.475	420-480	5.596
9	540	15.074	135.668	5.993	480-540	6.475
10	600	14.126	141.263	5.596	540-600	7.844
11	660	13.320	146.524	5.260	600-660	10.386
12	720	12.625	151.497	4.973	660-720	17.789
13	780	12.017	156.221	4.724	720-780	58.401
14	840	11.480	160.726	4.505	780-840	12.822
15	900	11.002	165.036	4.311	840-900	8.883
16	960	10.573	169.173	4.137	900-960	7.074
17	1020	10.186	173.154	3.980	960-1020	5.993
18	1080	9.833	176.992	3.839	1020-1080	5.260
19	1140	9.511	180.702	3.709	1080-1140	4.724
20	1200	9.215	184.292	3.591	1140-1200	4.311
21	1260	8.942	187.774	3.482	1200-1260	3.980
22	1320	8.689	191.155	3.381	1260-1320	3.709
23	1380	8.454	194.443	3.288	1320-1380	3.482
24	1440	8.235	197.643	3.201	1380-1440	3.288

Nota. Realizado en Excel.

Figura 38.

Hietograma Situación Futura (50 años) – Estación Manglaralto (M0619).



Nota. Realizado en Excel.

Tabla 31.

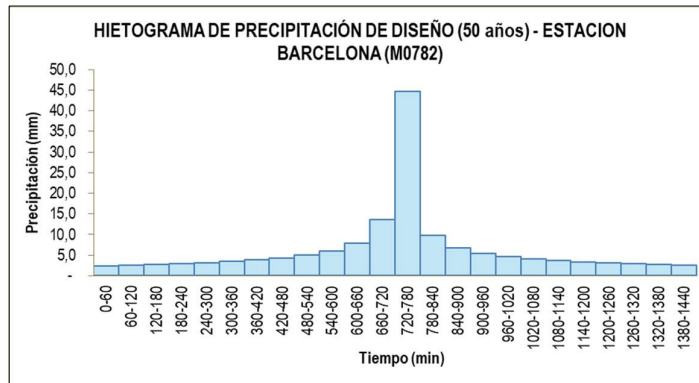
Hietograma de Precipitación de Diseño (50 años) – Estación Barcelona (M0782).

24 horas 1 día	Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación mm
1	60	44.680	44.680	44.680	0-60	2.449
2	120	29.145	58.289	13.610	60-120	2.587
3	180	22.700	68.099	9.809	120-180	2.747
4	240	19.011	76.044	7.946	180-240	2.937
5	300	16.568	82.840	6.796	240-300	3.165
6	360	14.807	88.842	6.001	300-360	3.446
7	420	13.465	94.254	5.412	360-420	3.805
8	480	12.401	99.207	4.954	420-480	4.281
9	540	11.533	103.793	4.585	480-540	4.954
10	600	10.807	108.074	4.281	540-600	6.001
11	660	10.191	112.098	4.025	600-660	7.946
12	720	9.659	115.903	3.805	660-720	13.610
13	780	9.194	119.517	3.614	720-780	44.680
14	840	8.783	122.963	3.446	780-840	9.809
15	900	8.417	126.261	3.298	840-900	6.796
16	960	8.089	129.426	3.165	900-960	5.412
17	1020	7.792	132.471	3.045	960-1020	4.585
18	1080	7.523	135.408	2.937	1020-1080	4.025
19	1140	7.276	138.246	2.838	1080-1140	3.614
20	1200	7.050	140.993	2.747	1140-1200	3.298
21	1260	6.841	143.657	2.664	1200-1260	3.045
22	1320	6.647	146.243	2.587	1260-1320	2.838
23	1380	6.468	148.759	2.515	1320-1380	2.664
24	1440	6.300	151.207	2.449	1380-1440	2.515

Nota. Realizado en Excel.

Figura 39.

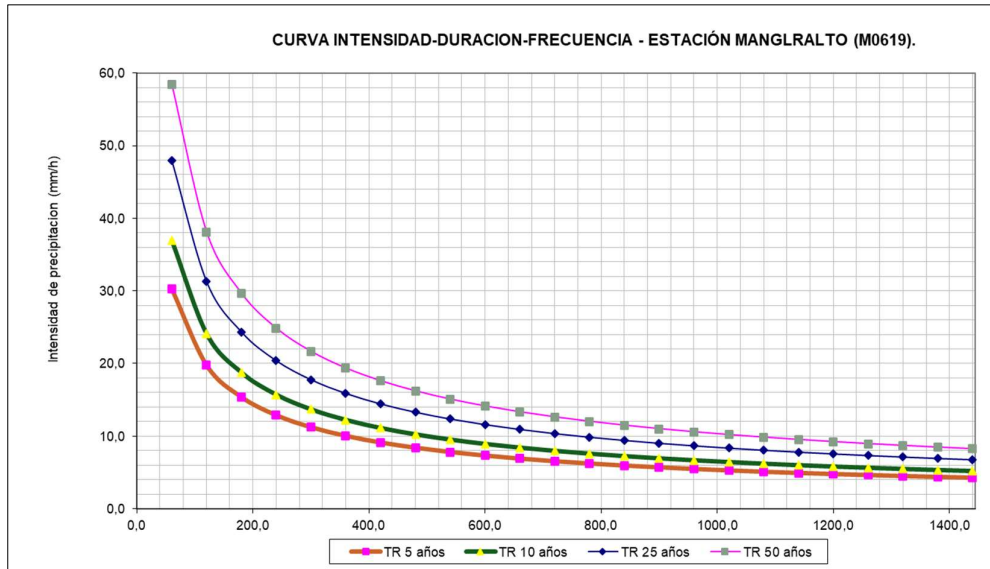
Hietograma Situación Futura (50 años) – Estación Barcelona (M0782).



Nota. Realizado en Excel.

Figura 40.

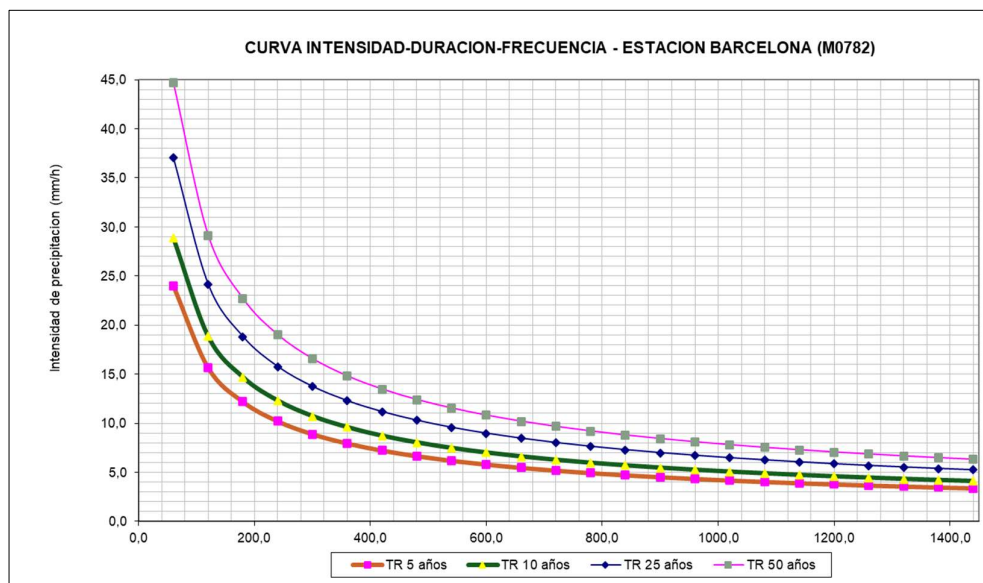
Curvas IDF de la estación Manglaralto (M0619).



Nota. Realizado en Excel.

Figura 41.

Curvas IDF de la estación de Barcelona (M0782).



Nota. Realizado en Excel.

4.3.2. Análisis del Método Número de Curva (SCS).

4.2.1. Uso de la Cobertura y Textura del Suelo.

En base al mapa proporcionado por el Geoportal de Agricultura del Ecuador se tiene la siguiente clasificación del uso de cobertura de suelo de cada subcuenca en la Tabla 32.

Tabla 32.

Cobertura del suelo de cada subcuenca.

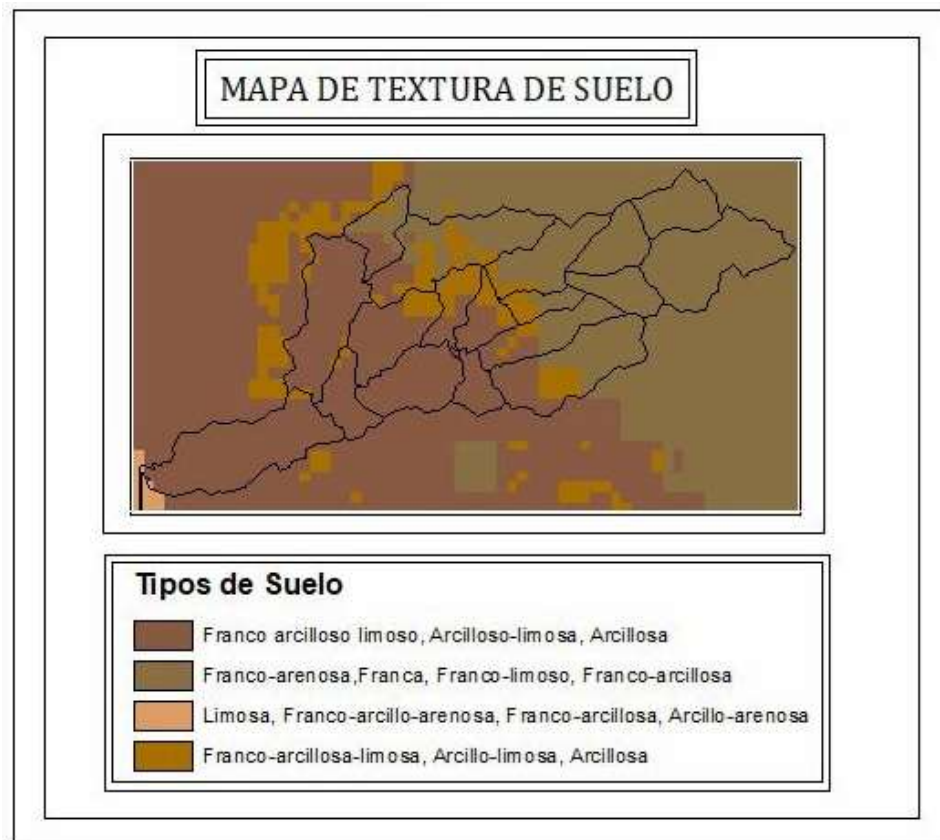
COBERTURA DE SUELO		
Subcuencas	Tipo de cobertura de suelo	Área (Km2)
S1	Vegetación herbácea húmeda muy alterada	0.040
	Cultivo paja toquilla	0.118
	Bosque húmedo poco alterado	1.946
S2	Bosque seco medianamente alterado	3.097
	Bosque húmedo poco alterado	1.637
	Pasto cultivado	0.071
	Cultivo paja toquilla	0.292
	Vegetación herbácea seca muy alterada	0.180
S3	Bosque seco medianamente alterado	1.523
	Pasto cultivado	0.067
	Vegetación herbácea seca muy alterada	0.199
S4	Bosque húmedo poco alterado	4.146
	Cultivo paja toquilla	0.808
S5	Bosque húmedo poco alterado	1.406
	Cultivo paja toquilla	0.099
S6	Pasto cultivado	0.019
	Cultivo paja toquilla	0.726
	Bosque húmedo poco alterado	0.378
S7	Pasto cultivado	0.310
	Pechiche	0.231
	Pasto cultivado con presencia de arboles	0.069
	Bosque húmedo poco alterado	0.742
S8	Matorral seco medianamente alterado	0.984
	Pasto cultivado	1.262
	Pechiche	0.152
	Centro poblado	0.006
	Vegetación herbácea seca muy alterada	0.139
	Limón	0.013
	Bosque seco medianamente alterado	0.315
Bosque húmedo poco alterado	0.053	
S9	Pasto cultivado	0.818
	Paja toquilla	1.401
	Bosque húmedo poco alterado	0.224
	Bosque húmedo medianamente alterado	0.047
S10	Pasto cultivado	0.289
	Pasto cultivado con presencia de arboles	0.190
	Paja toquilla	0.714
S11	Bosque húmedo poco alterado	3.443
	Bosque húmedo poco alterado	1.811
	Cultivo paja toquilla	0.140
S12	Pasto cultivado con presencia de arboles	0.040
	Pasto cultivado	0.217

	Bosque húmedo poco alterado	0.515
	Bosque húmedo medianamente alterado	0.047
	Matorral seco poco alterado	0.177
S13	Bosque seco medianamente alterado	1.694
	Pasto cultivado	1.835
	Vegetación herbácea seca muy alterada	0.788
	Centro poblado	0.091
	Área proceso de urbanización	0.068
	Matorral seco medianamente alterado	0.249
	Matorral seco poco alterado	0.089
S14	Bosque húmedo poco alterado	2.705
	Pasto cultivado	0.045
	Paja toquilla	0.281
S15	Pasto cultivado con presencia de arboles	0.364
	Maíz	0.103
	Bosque húmedo poco alterado	0.508
	Bosque húmedo medianamente alterado	0.276
	Barbecho	0.047
	Pasto cultivado	0.113
S16	Pasto cultivado con presencia de arboles	0.011
	Bosque húmedo medianamente alterado	0.073
S17	Matorral seco medianamente alterado	1.182
	Centro poblado	0.141
	Maíz	0.235
	Limón	0.038
	Pasto cultivado	1.412
	Maracuyá	0.109
	Área en proceso urbanización	0.158
	Pechiche	0.054
	Pasto con presencia de árboles	0.303
	Plátano	0.061
S18	Matorral seco medianamente alterado	0.717
	Vegetación herbácea seca muy alterada	0.401
	Barbecho	0.156
	Bosque húmedo medianamente alterado	0.227
	Plátano	0.048
	Pasto cultivado	0.176
S19	Urbano	0.127
	Centro poblado	0.209
	Pista de aterrizado	0.211
	Área en proceso urbanización	0.837
	Pasto cultivado	0.435
	Vegetación herbácea seca muy alterada	0.372
	Matorral seco muy alterado	0.080
	Matorral seco medianamente alterado	0.489
	Maíz	0.241
	Bosque seco medianamente alterado	2.431
Campamento empresarial	0.056	

Nota. Realizado en Excel.

Figura 42.

Mapa de Textura de Suelo de las Subcuencas del río Manglaralto.



Nota. Realizado en ArcGIS.

4.3.3. Análisis del Método Racional.

4.3.3.1. Cálculo del tiempo de concentración (T_c).

En este proceso, se recopilan los datos de pendiente media y longitud del cauce principal. De esta manera, aplicando el método de Kirpich, se determina el tiempo de concentración de cada subcuenca.

Tabla 33.*Tiempo de concentración – Método Kirpich.*

Tiempo de concentración			
Aplicación del método de Kirpich			
Subcuencas	Longitud (m)	Pendiente promedio (m/m)	Tc (min)
S1	2589.62	0.171	16.33
S2	5775.96	0.072	42.34
S3	3247.49	0.079	26.26
S4	4293.80	0.113	28.29
S5	2727.80	0.136	18.59
S6	2734.18	0.108	20.38
S7	2569.57	0.058	24.71
S8	3396.24	0.043	34.37
S9	4545.72	0.104	30.58
S10	5188.45	0.110	33.13
S11	2795.79	0.112	20.39
S12	2015.97	0.063	19.86
S14	4132.48	0.114	27.37
S15	2720.32	0.053	26.60
S16	3608.41	0.033	39.91

Nota. Elaborado por el autor.**4.3.3.2. Cálculo de la intensidad de lluvia (i).**

A partir de las ecuaciones 14 y 15 se obtiene la intensidad de lluvia.

Tabla 34.*Intensidad de lluvia (mm/h).*

Intensidad de lluvia (mm/h)					
Subcuencas	t (min)	Periodo de retorno (años)			
		5	10	25	50
S1	16.33	53.46	64.48	82.61	99.64
S2	42.34	37.55	45.75	59.41	72.40
S3	26.26	50.40	61.41	79.75	97.18
S4	28.29	38.11	45.96	58.88	71.02
S5	18.59	49.37	59.55	76.29	92.01
S6	20.38	46.64	56.26	72.07	86.92
S7	24.71	52.33	63.76	82.80	100.90
S8	34.37	42.70	52.03	67.56	82.33
S9	30.58	36.32	43.81	56.12	67.69
S10	33.13	34.58	41.70	53.42	64.43
S11	20.39	46.63	56.24	72.05	86.90
S12	19.86	47.39	57.16	73.22	88.31
S14	27.37	38.89	46.91	60.09	72.48
S15	26.60	50.00	60.93	79.13	96.42
S16	39.91	38.94	47.45	61.62	75.09

Nota. Realizado en Excel.

Se determina el caudal de diseño, convirtiendo el área de la cuenca de kilómetros cuadrados (km²) a hectáreas (ha). Para este cálculo, se emplea la intensidad de lluvia obtenida en los análisis previos en los periodos de retorno 5, 10, 25 y 50 años, el tiempo de concentración y el coeficiente de escorrentía, lo que permite los siguientes resultados.

Tabla 35.

Caudal de Diseño (5 años) – Método Racional.

Caudal de diseño – Método Racional (5 años)					
Subcuencas	Área (ha)	Tc (min)	Intensidad de lluvia 5 años (mm/hr)	Coefficiente de escorrentía	Caudal de diseño (m ³ /s)
S1	211.44	16.33	53.46	0.36	11.31
S2	512.65	42.34	37.55	0.36	19.25
S3	180.69	26.26	50.40	0.41	10.31
S4	498.80	28.29	38.11	0.37	19.77
S5	161.52	18.59	49.37	0.36	7.97
S6	102.11	20.38	46.64	0.45	5.94
S7	154.97	24.71	52.33	0.40	9.09
S8	303.40	34.37	42.70	0.50	18.04
S9	257.65	30.58	36.32	0.47	12.15
S10	457.52	33.13	34.58	0.38	16.85
S11	200.71	20.39	46.63	0.36	9.38
S12	115.30	19.86	47.39	0.48	7.36
S14	296.47	27.37	38.89	0.37	11.70
S15	141.50	26.60	50.00	0.51	10.08
S16	293.62	39.91	38.94	0.52	16.48

Nota. Realizado en Excel.

Tabla 36.

Caudal de Diseño (10 años) – Método Racional.

Caudal de diseño – Método Racional (10 años)					
Subcuencas	Área (ha)	Tc (min)	Intensidad de lluvia 10 años (mm/hr)	Coefficiente de escorrentía	Caudal de diseño (m ³ /s)
S1	211.44	16.33	64.48	0.36	13.65
S2	512.65	42.34	45.75	0.39	23.45
S3	180.69	26.26	61.41	0.41	12.56
S4	498.80	28.29	45.96	0.37	23.85
S5	161.52	18.59	59.55	0.36	9.61
S6	102.11	20.38	56.26	0.45	7.16
S7	154.97	24.71	63.76	0.40	11.08
S8	303.40	34.37	52.03	0.50	21.98
S9	257.65	30.58	43.81	0.47	14.65
S10	457.52	33.13	41.70	0.38	20.32
S11	200.71	20.39	56.24	0.36	11.31
S12	115.30	19.86	57.16	0.48	8.87
S14	296.47	27.37	46.91	0.37	14.11
S15	141.50	26.60	60.93	0.51	12.28
S16	293.62	39.91	47.45	0.52	20.08

Nota. Realizado en Excel.

Tabla 37.*Caudal de Diseño (25 años) – Método Racional.*

Caudal de diseño – Método Racional (25 años)					
Subcuencas	Área (ha)	Tc (min)	Intensidad de lluvia 25años (mm/hr)	Coefficiente de escorrentía	Caudal de diseño (m3/s)
S1	211.44	16.33	82.61	0.36	17.48
S2	512.65	42.34	59.41	0.39	30.46
S3	180.69	26.26	79.75	0.41	16.31
S4	498.80	28.29	58.88	0.37	30.55
S5	161.52	18.59	76.29	0.36	12.32
S6	102.11	20.38	72.07	0.45	9.17
S7	154.97	24.71	82.80	0.40	14.39
S8	303.40	34.37	67.56	0.50	28.54
S9	257.65	30.58	56.12	0.47	18.77
S10	457.52	33.13	53.42	0.38	26.03
S11	200.71	20.39	72.05	0.36	14.49
S12	115.30	19.86	73.22	0.48	11.37
S14	296.47	27.37	60.09	0.37	18.08
S15	141.50	26.60	79.13	0.51	15.95
S16	293.62	39.91	61.62	0.52	26.08

*Nota. Realizado en Excel.***Tabla 38.***Caudal de Diseño (50 años) – Método Racional.*

Caudal de diseño – Método Racional (50 años)					
Subcuencas	Área (ha)	Tc (min)	Intensidad de lluvia 50años (mm/hr)	Coefficiente de escorrentía	Caudal de diseño (m3/s)
S1	211.44	16.33	99.64	0.36	21.08
S2	512.65	42.34	72.40	0.39	37.12
S3	180.69	26.26	97.18	0.41	19.87
S4	498.80	28.29	71.02	0.37	36.85
S5	161.52	18.59	92.01	0.36	14.85
S6	102.11	20.38	86.92	0.45	11.06
S7	154.97	24.71	100.90	0.40	17.53
S8	303.40	34.37	82.33	0.50	34.78
S9	257.65	30.58	67.69	0.47	22.63
S10	457.52	33.13	64.43	0.38	31.40
S11	200.71	20.39	86.90	0.36	17.48
S12	115.30	19.86	88.31	0.48	13.71
S14	296.47	27.37	72.48	0.37	21.81
S15	141.50	26.60	96.42	0.51	19.44
S16	293.62	39.91	75.09	0.52	31.78

Nota. Realizado en Excel.

4.3.4. Análisis del Método del Hidrograma Unitario adimensional SCS.

4.3.4.1. Cálculo del tiempo de concentración (T_c).

El tiempo de concentración ya se calcula en el método racional por el método Kirpich, por lo tanto, se aplican los mismos resultados en el presente método.

4.3.4.2. Cálculo del tiempo de retardo (T_r).

En la Tabla 39 presenta los cálculos del tiempo de retardo correspondiente a cada subcuena del río Manglaralto, obtenidos a partir del tiempo de concentración.

Tabla 39.

Tiempo de concentración por el método SCS.

Subcuencas	Longitud (m)	Tc (min)	Coficiente	Tr (min)
S1	2589.62	16.33	0.60	9.80
S2	5775.96	42.34	0.60	25.40
S3	3247.49	26.26	0.60	15.76
S4	4293.80	28.29	0.60	16.97
S5	2727.80	18.59	0.60	11.15
S6	2734.18	20.38	0.60	12.23
S7	2569.57	24.71	0.60	14.83
S8	3396.24	34.37	0.60	20.62
S9	4545.72	30.58	0.60	18.35
S10	5188.45	33.13	0.60	19.88
S11	2795.79	20.39	0.60	12.23
S12	2015.97	19.86	0.60	11.92
S14	4132.48	27.37	0.60	16.42
S15	2720.32	26.60	0.60	15.96
S16	3608.41	39.91	0.60	23.94

Nota. Realizado en *Excel*.

4.3.5. Análisis del Método del Hidrograma Unitario de Snyder.

4.3.5.1. Cálculo del Tiempo de retardo (t_p).

En la Tabla 40 se indican los valores del tiempo de retardo de cada subcuenca.

Tabla 40.

Tiempo de retardo par el método Snyder.

Subcuencas	L (km)	Lc (km)	Ct	tp (hrs)	tp (min)
S1	2.59	1.43	1.559	1.22	73.42
S2	5.78	2.63	1.646	1.74	104.46
S3	3.25	1.36	1.638	1.49	89.19
S4	4.29	1.75	1.623	1.61	96.66
S5	2.73	1.54	1.617	1.28	76.54
S6	2.73	1.45	1.637	1.32	79.34
S7	2.57	1.37	1.639	1.30	77.97
S8	3.40	1.75	1.637	1.43	85.62
S9	4.55	2.19	1.642	1.59	95.53
S10	5.19	2.52	1.643	1.66	99.30
S11	2.80	1.47	1.623	1.33	79.54
S12	2.02	1.11	1.640	1.19	71.65
S14	4.13	1.82	1.637	1.58	94.76
S15	2.72	1.07	1.639	1.43	85.66
S16	3.61	1.67	1.635	1.50	89.70

Nota. Elaborado en *Excel*.

4.3.5.2. Determinación del Coeficiente de pico de Snyder.

En la Tabla 41 se indican los valores del coeficiente de pico de Snyder de cada subcuenca según su porcentaje de vegetación.

Tabla 41.

Valores de coeficiente de pico de Snyder.

Subcuencas	Cp
S1	0.56
S2	0.56
S3	0.56
S4	0.56
S5	0.56
S6	0.56
S7	0.56
S8	0.56
S9	0.56
S10	0.56
S11	0.56
S12	0.56
S14	0.56
S15	0.56
S16	0.571

Nota. Elaborado en *Excel*.

4.3.6. Análisis del Método del Hidrograma Unitario de Clark.

4.3.6.1. Cálculo del tiempo de concentración (*tc*).

En la Tabla 42 se indican los valores del tiempo de concentración de cada subcuenca.

Tabla 42.

Tiempo de concentración método Clark.

Subcuencas	Área	Pendiente (m/m)	tc (hrs)
S1	2.11	0.171	0.88
S2	5.13	0.072	1.93
S3	1.81	0.079	1.01
S4	4.99	0.113	1.66
S5	1.62	0.136	0.80
S6	1.02	0.108	0.66
S7	1.55	0.058	1.01
S8	3.03	0.043	1.65
S9	2.58	0.104	1.15
S10	4.58	0.110	1.59
S11	2.01	0.112	0.97
S12	1.15	0.063	0.83
S14	2.96	0.114	1.21
S15	1.41	0.053	0.98
S16	2.94	0.033	1.75

Nota. Realizado en *Excel*.

4.3.6.2. Cálculo del Coeficiente de almacenamiento.

En la Tabla 43 se indican los valores del coeficiente de almacenamiento respectiva de cada subcuena.

Tabla 43.

Coeficiente de almacenamiento por el método Clark.

Subcuencas	tc (hrs)	Porcentaje	Coeficiente de almacenamiento
S1	0.88	0.75	0.66
S2	1.93	0.75	1.45
S3	1.01	0.75	0.76
S4	1.66	0.75	1.24
S5	0.80	0.75	0.60
S6	0.66	0.75	0.49
S7	1.01	0.75	0.76
S8	1.65	0.75	1.24
S9	1.15	0.75	0.86
S10	1.59	0.75	1.19
S11	0.97	0.75	0.73
S12	0.83	0.75	0.62
S14	1.21	0.75	0.91
S15	0.98	0.75	0.74
S16	1.75	0.75	1.31

Nota. Realizado en Excel.

4.3.7. Análisis del Método Muskingum.

La Tabla 44 presenta los valores de los parámetros K y n, determinados mediante el método de Muskingum.

Tabla 44.

Valores de K – Método Muskingum.

Método Muskingum						
Ríos	Subcuencas	Longitud (m)	Longitud (Km)	Pendiente promedio (m/m)	Muskingum K	n
R1	S11	2795.79	2.80	0.112	0.60	0.2383
R2	S14	4132.48	4.13	0.114	0.80	0.3197
R3	S15	2720.32	2.72	0.053	0.67	0.2689
R4	S12	2015.97	2.02	0.063	0.52	0.2077
R5	S16	3608.41	3.61	0.033	0.91	0.3657
R6	S18	2751.13	2.75	0.042	0.71	0.2840
R7	S13	5658.02	5.66	0.032	1.29	0.5164
R8	S19	7575.38	7.58	0.022	1.74	0.6957

Nota. Elaborado por el autor.

4.3.8. Análisis comparativo de los métodos empíricos.

La Tabla 45 muestra los caudales obtenidos mediante distintos métodos. Los métodos basados en hidrogramas unitarios, como el adimensionales SCS y los propuestos por Snyder y Clark, tienden a estimar caudales más bajos. En cambio, el método racional tiende a sobreestimar el valor de sus caudales.

Tabla 45.
Caudales máximos y totales de la Cuenca Alta y Media del río Manglaralto.

Subcuencas	Métodos Empíricos																							
	Método Racional						Método Hidrograma Unitario Adimensional SCS						Método Hidrograma Unitario de Snyder						Método Hidrograma Unitario de Clark					
	Período de retorno		Período de retorno		Período de retorno		Período de retorno		Período de retorno		Período de retorno		Período de retorno		Período de retorno		Período de retorno		Período de retorno					
5	10	25	50	5	10	25	50	5	10	25	50	5	10	25	50	5	10	25	50					
S1	11.31	13.65	17.48	21.08	3.4	5.3	8.7	12.2	2.2	3.4	5.7	7.9	2.8	4.3	6.9	9.6	2.8	4.3	6.9	9.6				
S2	19.25	23.45	30.46	37.12	6.4	11.6	21.7	32.4	3.5	6.1	11.2	16.5	3.8	6.6	11.9	17.6	3.8	6.6	11.9	17.6				
S3	10.31	12.56	16.31	19.87	2.7	4.7	8.4	12.3	1.5	2.6	4.6	6.9	2.3	3.7	6.6	9.5	2.3	3.7	6.6	9.5				
S4	19.77	23.85	30.55	36.85	8.7	13.2	21.5	29.8	4.5	6.9	11.4	15.9	5.2	8	13	18.2	5.2	8	13	18.2				
S5	7.97	9.61	12.32	14.85	2.6	4	6.7	9.3	1.6	2.5	4.2	5.9	2.2	3.3	5.4	7.4	2.2	3.3	5.4	7.4				
S6	5.94	7.16	9.17	11.06	2.6	3.6	5.5	7.3	1.6	2.2	3.4	4.5	2.1	2.9	4.3	5.7	2.1	2.9	4.3	5.7				
S7	9.09	11.08	14.39	17.53	4.3	6.4	10.1	13.8	2.7	3.9	6.3	8.6	3.4	4.9	7.7	10.4	3.4	4.9	7.7	10.4				
S8	18.04	21.98	28.54	34.78	14.2	18.9	26.9	34.4	8.3	11.1	15.9	20.5	8.7	11.7	16.7	21.5	8.7	11.7	16.7	21.5				
S9	12.15	14.65	18.77	22.63	6.5	9.2	13.8	18.4	3.4	4.9	7.5	10.1	4.9	6.8	10.2	13.5	4.9	6.8	10.2	13.5				
S10	16.85	20.32	26.03	31.40	8	12.1	19.7	27.3	4.1	6.2	10.2	14.3	4.9	7.5	12.3	17.2	4.9	7.5	12.3	17.2				
S11	9.38	11.31	14.49	17.48	3.2	5	8.3	11.6	2	3.1	5.1	7.1	2.6	4	6.5	9	2.6	4	6.5	9				
S12	7.36	8.87	11.37	13.71	2.7	3.9	6	8	1.8	2.6	4	5.3	2.2	3.1	4.7	6.2	2.2	3.1	4.7	6.2				
S14	11.70	14.11	18.08	21.81	4.8	7.4	12.2	17.1	2.5	3.9	6.6	9.2	3.6	5.4	8.9	12.4	3.6	5.4	8.9	12.4				
S15	10.08	12.28	15.95	19.44	5.7	7.8	11.5	15	3.3	4.6	6.8	8.9	4.4	6	8.7	11.3	4.4	6	8.7	11.3				
S16	16.48	20.08	26.08	31.78	13.7	18.3	26	33.3	8	10.7	15.2	19.6	8.2	11	15.7	20.2	8.2	11	15.7	20.2				
Caudales máximos	19.77	23.85	30.55	37.12	14.2	18.9	26.9	34.4	8.3	11.1	15.9	20.5	8.7	11.7	16.7	21.5	8.7	11.7	16.7	21.5				
Caudales Cuenca Alta	48.44	58.42	74.84	90.27	17.90	27.50	45.20	62.90	10.30	15.90	26.40	36.80	12.80	19.60	31.80	44.20	12.80	19.60	31.80	44.20				
Caudales Cuenca Media	137.23	166.55	215.15	261.13	71.60	103.90	161.80	219.30	40.70	58.80	91.70	124.40	48.50	69.60	107.70	145.50	48.50	69.60	107.70	145.50				
Caudales Totales	185.67	224.97	289.99	351.40	89.50	131.40	207.00	282.20	51.00	74.70	118.10	161.20	61.30	89.20	139.50	189.70	61.30	89.20	139.50	189.70				

El método de Snyder resulta particularmente adecuado para la estimación de hidrogramas unitarios en cuencas hidrográficas de 30 a 30000 km², aplicable en zonas rurales con topografía moderada a montañosa, donde predominan lluvias intensas de poca duración. Generalmente es un método apropiado para cuencas no aforadas, sin embargo, sus coeficientes regionales: coeficiente de retardo y coeficiente pico (Ct y Cp), requieren calibración de la zona para no generar incertidumbre en la estimación del caudal. (Ruiz & Martínez, 2021b)

Por otra parte, el método de Clark es particularmente eficiente para la modelación hidrológica de cuencas que presentan un almacenamiento natural significativo o una cobertura vegetal densa, factores que influyen en la atenuación del hidrograma. El uso de este método es complejo debido a que exige la calibración del coeficiente de almacenamiento. (Avellaneda & Montalvo, 2019)

El método racional es el más utilizado en la ingeniería de obras hidráulicas para la determinación de caudales máximos. El método parte de una suposición de una lluvia uniforme y una respuesta hidrológica instantánea, sin considerar la variación temporal ni la distribución espacial de las precipitaciones, lo que limita su aplicabilidad en escenarios más complejos. Según Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz (2014), la mayoría de los autores recomiendan aplicar el método racional solo en cuencas con áreas menores de 50 km² y es idóneo en cuencas hidrográficas que carecen de información hidrológica y puede ser aplicado en cuencas del Ecuador, a pesar de ello se observa una sobreestimación de caudales en la Cuenca del río Manglaralto, debido a que el método asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación.

En cuanto al método adimensional SCS, aunque originalmente fue diseñado para estimar avenidas máximas en cuencas pequeñas, su evolución ha permitido su uso en cuencas de mayor extensión de hasta 30000 km² (Ruiz & Martínez, 2021a). Por el cual, entre los métodos analizados, el método SCS se presenta como el más adecuado para el caso de estudio, dada su flexibilidad y efectividad en cuencas de tamaño medio a grande, como la cuenca del río Manglaralto. Este método posibilita simular el efecto de estrategias de restauración fluvial, como la revegetación ribereña o la recuperación de humedales sobre los flujos y caudales del sistema.

4.3.9. Escenario 1.

El escenario 1 representa una situación futura con un periodo de retorno de 5 años, con el objetivo de evaluar el temporal de lluvias y su impacto en la cuenca alta y media. Para este análisis se utiliza una precipitación de 24 horas.

La Tabla 46 presenta los caudales máximos en m³/s y volumen pico en m³ por el método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS de las subcuencas de la cuenca alta y media y la hora que llega al caudal máximo.

Tabla 46.

Resultados generales de volumen y caudal pico – Método H.U. SCS (5 años).

Elemento	Área (Km ²)	Caudal Pico (m ³ /s)	Fecha-Hora	Volumen pico	
				mm	(1000) m ³
Subcuenca 1	2.11	3.4	22mar.2030, 13:00	22.21	47.0
Subcuenca 2	5.13	6.4	22mar.2030, 13:00	19.79	101.5
Subcuenca 3	1.81	2.7	22mar.2030, 13:00	22.43	40.5
Subcuenca 4	4.99	8.7	22mar.2030, 13:00	23.52	117.3
Subcuenca 5	1.62	2.6	22mar.2030, 13:00	22.21	35.9
Subcuenca 6	1.02	2.6	22mar.2030, 13:00	32.24	32.9
Subcuenca 7	1.55	4.3	22mar.2030, 13:00	36.02	55.8
Subcuenca 8	3.03	14.2	22mar.2030, 13:00	58.84	178.5
Subcuenca 9	2.58	6.5	22mar.2030, 13:00	32.24	83.1
Subcuenca 10	4.58	8	22mar.2030, 13:00	23.52	107.6
Subcuenca 11	2.01	3.2	22mar.2030, 13:00	22.21	44.6
Subcuenca 12	1.15	2.7	22mar.2030, 13:00	30.67	35.4
Subcuenca 14	2.96	4.8	22mar.2030, 13:00	22.21	65.9
Subcuenca 15	1.41	5.7	22mar.2030, 13:00	50.60	71.6
Subcuenca 16	2.94	13.7	22mar.2030, 13:00	58.84	172.8

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

4.3.9.1. Tramo de la Cuenca Alta.

En este tramo se consideran los datos de cada subcuenca conforman la cuenca alta, considerando los datos del flujo directo de cada una y obteniendo un flujo total.

Los cálculos indican que el caudal máximo en la cuenca alta se da a las 13 horas del día 1 con un caudal de 17.90 m³/s, terminando su intensidad a las

3 horas del día 2, observando una pérdida total del flujo hasta el final del evento de simulación.

Tabla 47.

Cuenca alta - Datos de Flujo de Subcuencas (5 años).

Date	Time	Subcuenca 1	Subcuenca 4	Subcuenca 5	Subcuenca 11	Total Flow (m3/s)
		Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	
22mar.2030	0:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	1:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	2:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	3:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	4:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	5:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	6:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	7:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	8:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	9:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	10:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	11:00	0	0.2	0	0	0.2
22mar.2030	12:00	0.4	1.1	0.3	0.4	2.2
22mar.2030	13:00	3.4	8.7	2.6	3.2	17.9
22mar.2030	14:00	2	5	1.5	1.9	10.4
22mar.2030	15:00	1.3	3.1	1	1.2	6.6
22mar.2030	16:00	1	2.4	0.7	0.9	5
22mar.2030	17:00	0.8	2	0.6	0.8	4.2
22mar.2030	18:00	0.7	1.7	0.5	0.7	3.6
22mar.2030	19:00	0.7	1.6	0.5	0.6	3.4
22mar.2030	20:00	0.6	1.5	0.5	0.6	3.2
22mar.2030	21:00	0.6	1.4	0.4	0.5	2.9
22mar.2030	22:00	0.5	1.3	0.4	0.5	2.7
22mar.2030	23:00	0.5	1.2	0.4	0.5	2.6
23mar.2030	0:00	0.5	1.2	0.4	0.5	2.6
23mar.2030	1:00	0.1	0.3	0.1	0.1	0.6
23mar.2030	2:00	0	0.1	0	0	0.1
22mar.2030	3:00	0	0	0	0	0

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

La Tabla 48 presenta la precipitación total que cae sobre la cuenca alta (Precip), el agua que se infiltra en el terreno (Loss) y el agua que genera escorrentía superficial (Excess) en mm. La mayor escorrentía de 30.90 mm se da a las 13 horas del día 1.

Tabla 48.

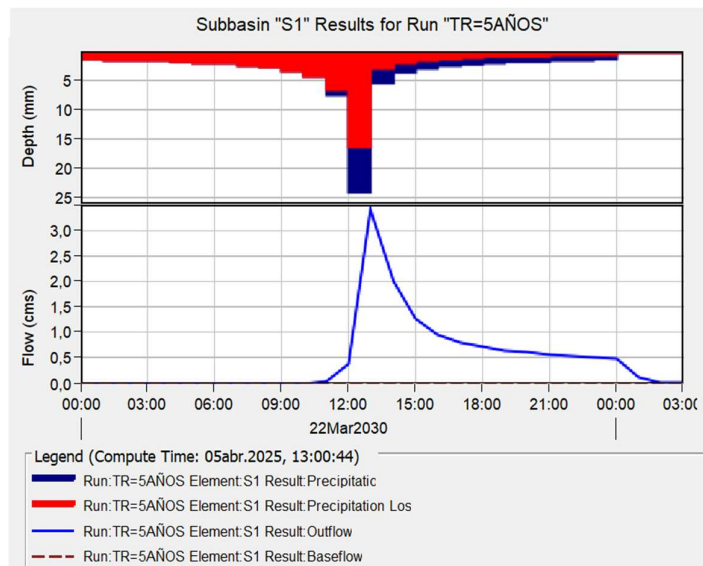
Escorrentía de la cuenca alta (5 años).

Date	Time	Total Precip (mm)	Total Loss (mm)	Total Excess (mm)
22mar.2030	00:00			
22mar.2030	01:00	5.24	5.24	0
22mar.2030	02:00	5.56	5.56	0
22mar.2030	03:00	5.88	5.88	0
22mar.2030	04:00	6.32	6.32	0
22mar.2030	05:00	6.8	6.8	0
22mar.2030	06:00	7.4	7.4	0
22mar.2030	07:00	8.16	8.16	0
22mar.2030	08:00	9.2	9.2	0
22mar.2030	09:00	10.64	10.64	0
22mar.2030	10:00	12.88	12.88	0
22mar.2030	11:00	17.04	16.65	0.43
22mar.2030	12:00	29.2	25.65	3.56
22mar.2030	13:00	95.92	64.99	30.9
22mar.2030	14:00	21.04	11.33	9.71
22mar.2030	15:00	14.6	7.37	7.2
22mar.2030	16:00	11.6	5.62	5.99
22mar.2030	17:00	9.84	4.59	5.25
22mar.2030	18:00	8.64	3.91	4.73
22mar.2030	19:00	7.76	3.4	4.35
22mar.2030	20:00	7.08	3.04	4.04
22mar.2030	21:00	6.52	2.76	3.79
22mar.2030	22:00	6.08	2.53	3.59
22mar.2030	23:00	5.72	2.33	3.39
23mar.2030	00:00	5.4	2.14	3.26
23mar.2030	01:00	0	0	0
23mar.2030	02:00	0	0	0
23mar.2030	03:00	0	0	0

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 43.

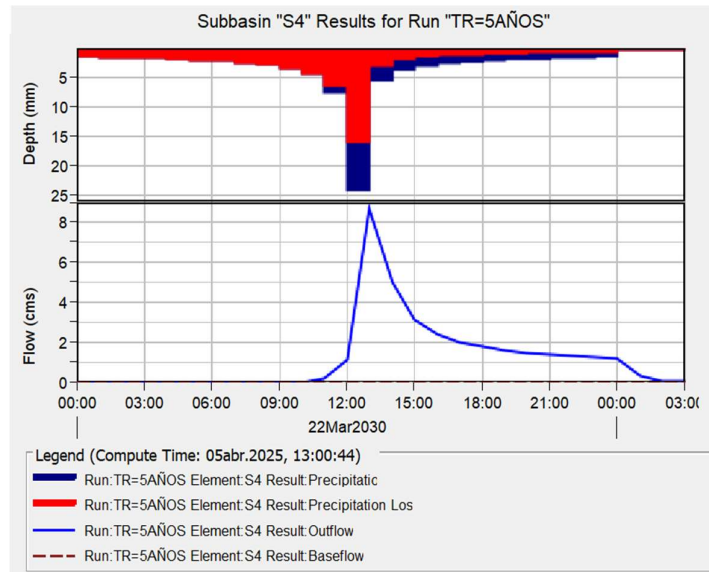
Hidrograma de la Subcuenca 1 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 44.

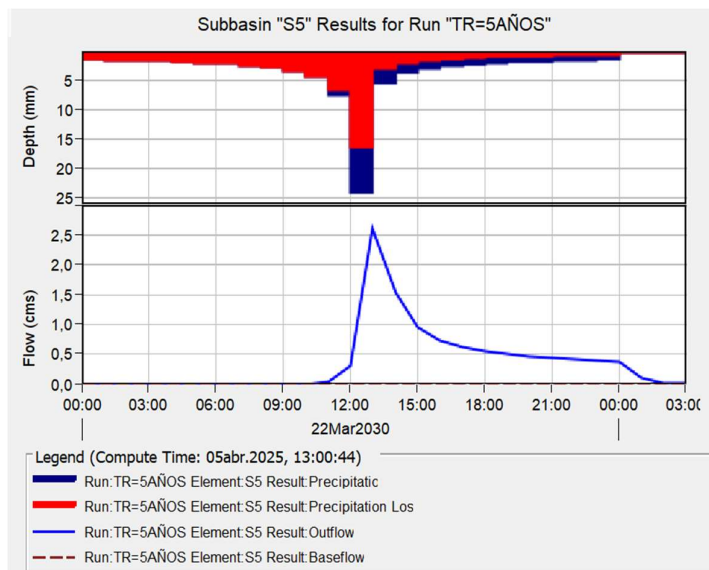
Hidrograma de la Subcuenca 4 (TR=5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 45.

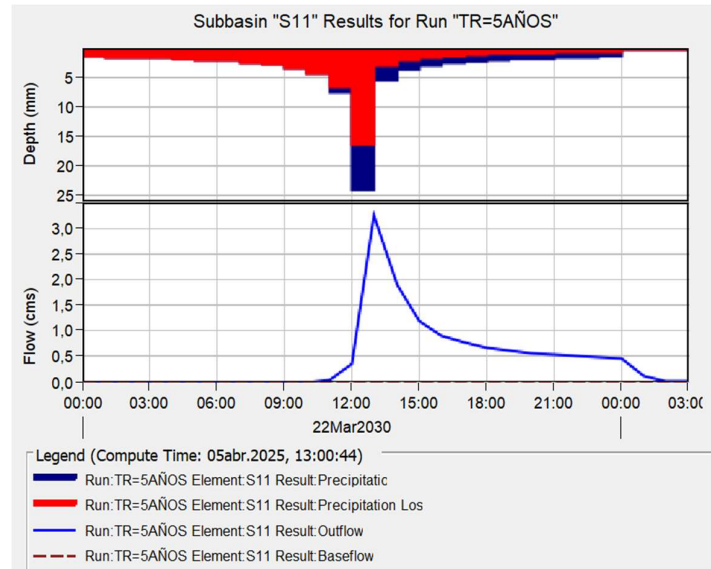
Hidrograma de la Subcuenca 5 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 46.

Hidrograma de la Subcuenca 11 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

4.3.9.2. Tramo de la Cuenca Media.

Los cálculos indican que el caudal máximo en la cuenca media se da a las 13 horas del día 1 con un caudal de 71.60 m³/s, terminando su intensidad a las 3 horas del día 2, observando una pérdida total del flujo hasta el final del evento de simulación.

Tabla 49.

Cuenca media - Datos de Flujo de Subcuencas (5 años).

Date	Time	Subcuena 2		Subcuena 3		Subcuena 6		Subcuena 7		Subcuena 8		Subcuena 9		Subcuena 10		Subcuena 12		Subcuena 14		Subcuena 15		Subcuena 16		Total Flow (m3/s)	
		Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)	Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)	Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)	Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)	Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)	Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)	Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)	Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)	Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)	Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)	Direct (Flow (m3/s))	Subtotal (m3/s)		
22mar.2030	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2030	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2030	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2030	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2030	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2030	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2030	6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2030	7:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4
22mar.2030	8:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.9	0.9	0.9
22mar.2030	9:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1.4	1.4	1.4
22mar.2030	10:00	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	1	1	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.3	1	2.7	2.7	2.7
22mar.2030	11:00	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.7	1.7	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	1.7	5.2	5.2	5.2	
22mar.2030	12:00	0.2	0.2	0.2	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	3.5	3.5	1.2	1.2	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1.3	3.4	13	13	13	
22mar.2030	13:00	6.4	6.4	2.7	2.6	4.3	4.3	2.4	2.4	14.2	14.2	6.5	6.5	8	8	2.7	2.7	4.8	4.8	5.7	13.7	71.6	71.6	71.6	
22mar.2030	14:00	4.2	1.7	1.7	1.4	2.4	2.4	4	4	7.2	7.2	3.5	3.5	4.6	4.6	1.5	1.5	2.8	2.8	3	7	39.3	39.3	39.3	
22mar.2030	15:00	2.8	1.1	0.8	0.6	1.4	1.4	1.1	1.1	4	4	2.1	2.1	2.9	2.9	0.9	0.9	1.8	1.8	1.7	3.9	23.4	23.4	23.4	
22mar.2030	16:00	2.3	0.9	0.6	0.6	1.1	1.1	0.8	0.8	2.9	2.9	1.5	1.5	2.2	2.2	0.7	0.7	1.3	1.3	1.2	2.8	17.5	17.5	17.5	
22mar.2030	17:00	1.9	0.7	0.7	0.5	0.9	0.9	0.8	0.8	2.3	2.3	1.3	1.3	1.8	1.8	0.5	0.5	1.1	1.1	1	2.2	14.2	14.2	14.2	
22mar.2030	18:00	1.7	0.7	0.7	0.4	0.8	0.8	2	2	2	2	1.1	1.1	1.6	1.6	0.5	0.5	1	1	0.9	2	12.7	12.7	12.7	
22mar.2030	19:00	1.6	0.6	0.6	0.4	0.7	0.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1	1	1.5	1.5	0.4	0.4	0.9	0.9	0.8	1.8	11.5	11.5	11.5	
22mar.2030	20:00	1.5	0.6	0.6	0.4	0.6	0.6	1.7	1.7	1.7	1.7	0.9	0.9	1.3	1.3	0.4	0.4	0.8	0.8	0.7	1.6	10.5	10.5	10.5	
22mar.2030	21:00	1.4	0.5	0.5	0.3	0.6	0.6	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9	0.9	1.3	1.3	0.4	0.4	0.8	0.8	0.7	1.5	9.9	9.9	9.9	
22mar.2030	22:00	1.3	0.5	0.5	0.3	0.6	0.6	1.4	1.4	1.4	1.4	0.8	0.8	1.2	1.2	0.3	0.3	0.7	0.7	0.6	1.4	9.1	9.1	9.1	
22mar.2030	23:00	1.3	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	1.3	1.3	1.3	1.3	0.8	0.8	1.1	1.1	0.3	0.3	0.7	0.7	0.6	1.3	8.7	8.7	8.7	
23mar.2030	0:00	1.2	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	1.2	1.2	1.2	1.2	0.7	0.7	1.1	1.1	0.3	0.3	0.7	0.7	0.6	1.2	8.4	8.4	8.4	
23mar.2030	1:00	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3	2.1	2.1	2.1	
23mar.2030	2:00	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.4	0.4	
23mar.2030	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La Tabla 50 presenta la precipitación total que cae sobre la cuenca media (Precip), el agua que se infiltra en el terreno (Loss) y el agua que genera escorrentía superficial (Excess) en mm. La mayor escorrentía de 136.58mm se da a las 13 horas del día 1.

Tabla 50.

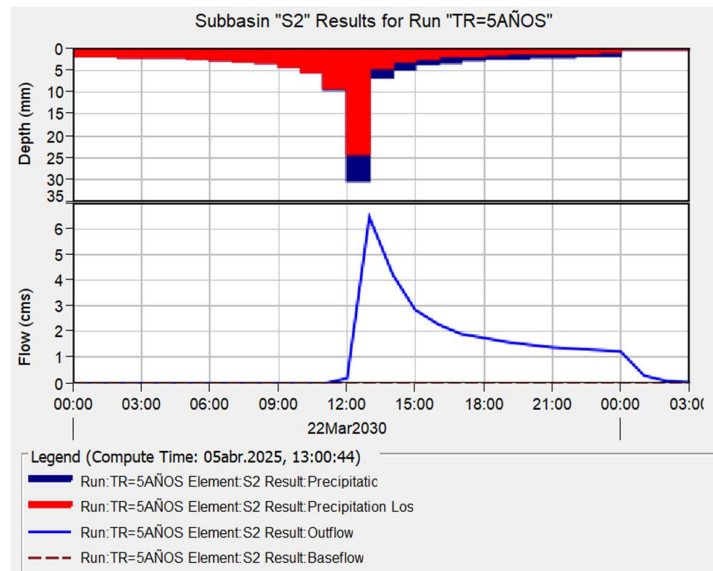
Escorrentía de la cuenca media (5 años).

Date	Time	Total Precip (mm)	Total Loss (mm)	Total Excess (mm)
22mar.2030	00:00			
22mar.2030	01:00	16.51	16.51	0
22mar.2030	02:00	17.45	17.45	0
22mar.2030	03:00	18.51	18.51	0
22mar.2030	04:00	19.84	19.84	0
22mar.2030	05:00	21.34	21.34	0
22mar.2030	06:00	23.29	23.21	0.06
22mar.2030	07:00	25.68	25.19	0.49
22mar.2030	08:00	28.9	27.7	1.22
22mar.2030	09:00	33.46	31.1	2.36
22mar.2030	10:00	40.52	35.85	4.67
22mar.2030	11:00	53.64	44.32	9.32
22mar.2030	12:00	91.88	67.67	24.19
22mar.2030	13:00	301.64	165.03	136.58
22mar.2030	14:00	66.2	27.95	38.25
22mar.2030	15:00	45.91	18.08	27.8
22mar.2030	16:00	36.52	13.71	22.82
22mar.2030	17:00	30.96	11.17	19.79
22mar.2030	18:00	27.18	9.47	17.67
22mar.2030	19:00	24.4	8.26	16.13
22mar.2030	20:00	22.23	7.36	14.93
22mar.2030	21:00	20.51	6.62	13.92
22mar.2030	22:00	19.12	6.07	13.09
22mar.2030	23:00	18.01	5.56	12.39
23mar.2030	00:00	17.01	5.17	11.81
23mar.2030	01:00	0	0	0
23mar.2030	02:00	0	0	0
23mar.2030	03:00	0	0	0

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 47.

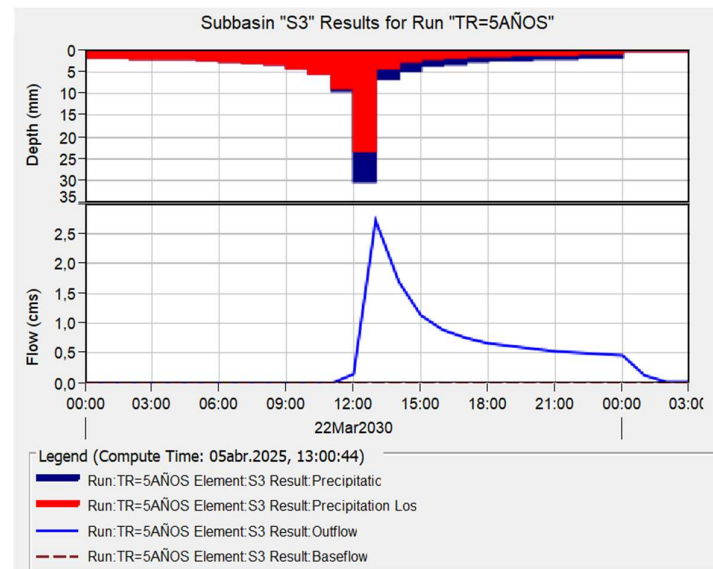
Hidrograma de la Subcuenca 2 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 48.

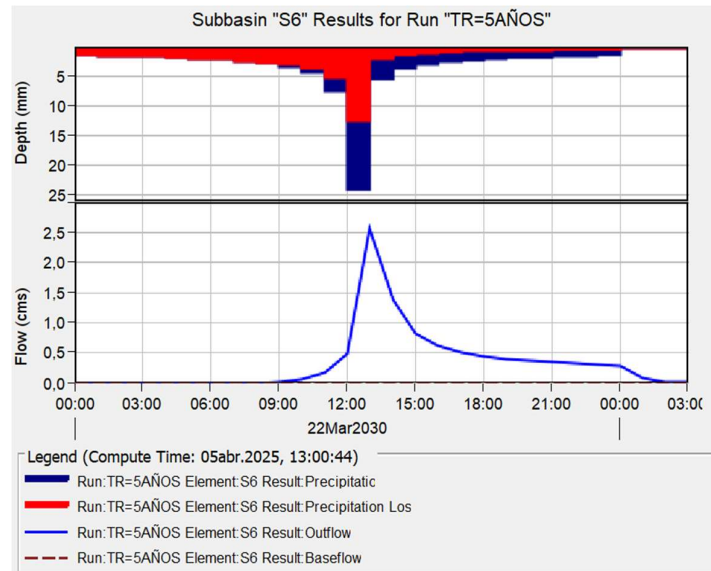
Hidrograma de la Subcuenca 3 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 49.

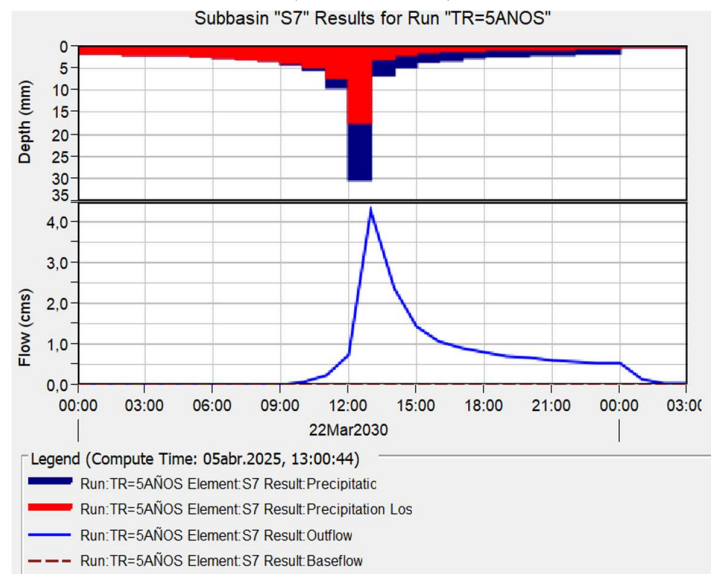
Hidrograma de la Subcuenca 6 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 50.

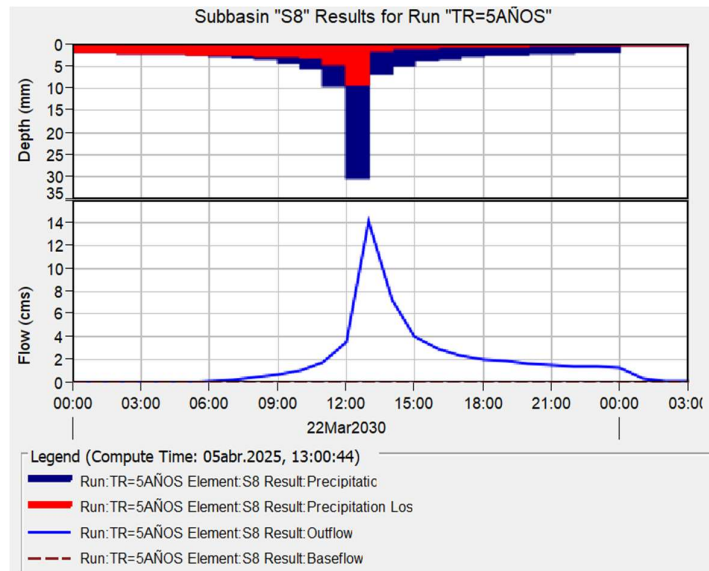
Hidrograma de la Subcuenca 7 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 51.

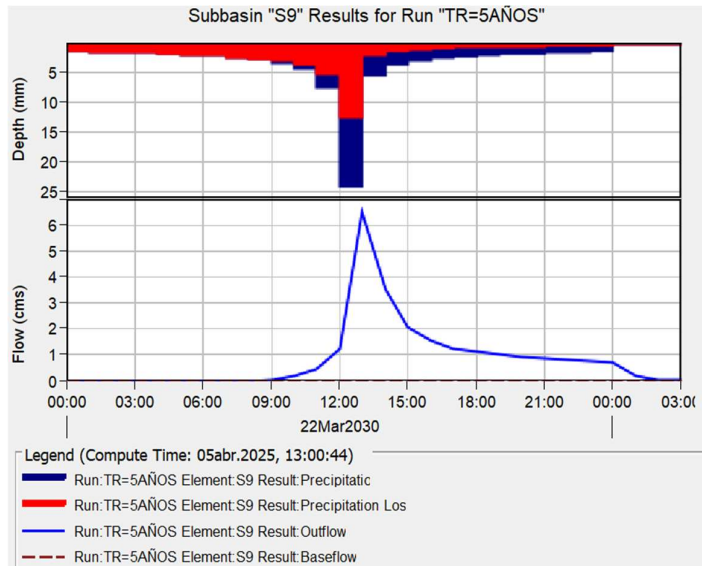
Hidrograma de la Subcuenca 8 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 52.

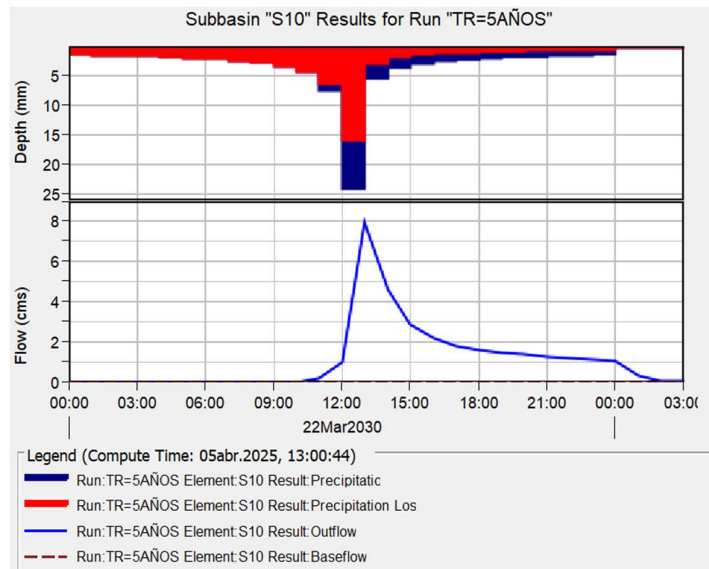
Hidrograma de la Subcuenca 9 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 53.

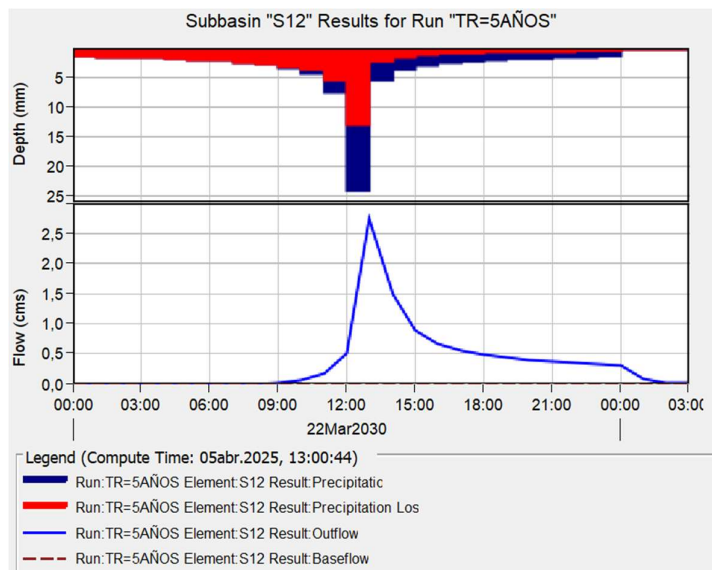
Hidrograma de la Subcuenca 10 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 54.

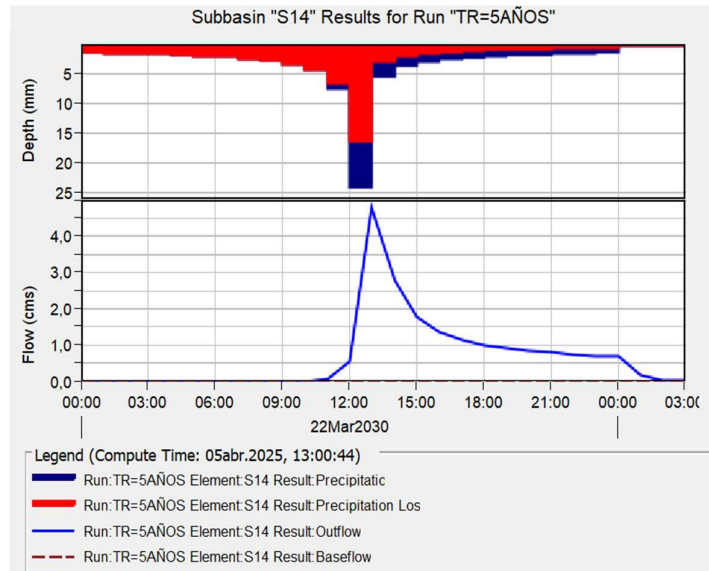
Hidrograma de la Subcuenca 12 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 55.

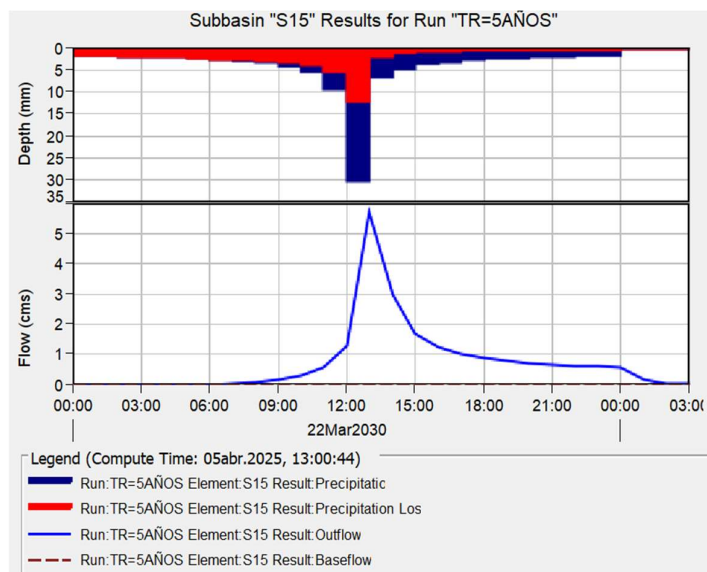
Hidrograma de la Subcuenca 14 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 56.

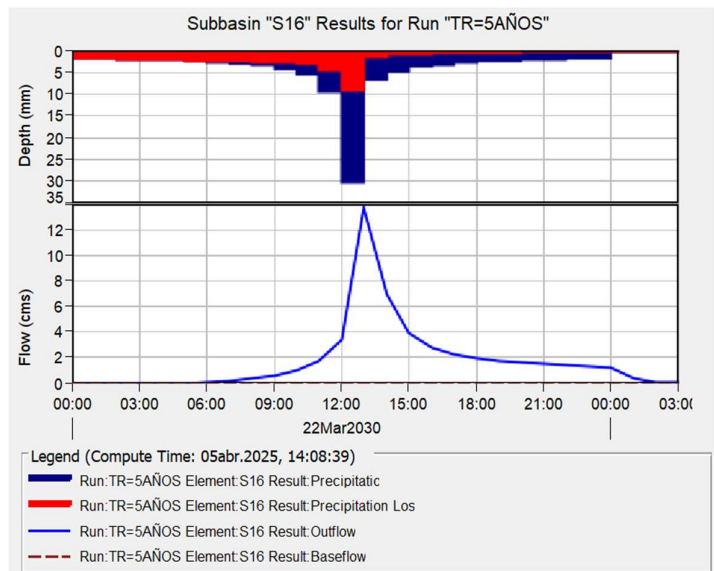
Hidrograma de la Subcuenca 15 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

Figura 57.

Hidrograma de la Subcuenca 16 (TR = 5 años).



Nota. Elaborado por *HEC-HMS*.

4.3.10. Escenario 2.

El escenario 2 representa una situación futura con un periodo de retorno de 10 años, con el objetivo de evaluar el temporal de lluvias y su impacto en la cuenca alta y media. Para este análisis se utiliza una precipitación de 24 horas.

La Tabla 51 presenta los caudales máximos en m³/s y volumen pico en m³ por el método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS de las subcuencas de la cuenca alta y media y la hora que llega al caudal máximo.

Tabla 51.*Resultados generales de volumen y caudal pico – Método H.U. SCS (10 años).*

Elemento	Área (Km2)	Caudal Pico (m3/s)	Fecha-Hora	Volumen pico	
				mm	(1000) m3
Subcuenca 1	2.11	5.3	22mar.2035, 13:00	32.87	69.5
Subcuenca 2	5.13	11.6	22mar.2035, 13:00	31.82	163.1
Subcuenca 3	1.81	4.7	22mar.2035, 13:00	35.24	63.7
Subcuenca 4	4.99	13.2	22mar.2035, 13:00	34.48	172.0
Subcuenca 5	1.62	4.0	22mar.2035, 13:00	32.87	53.1
Subcuenca 6	1.02	3.6	22mar.2035, 13:00	44.96	45.9
Subcuenca 7	1.55	6.4	22mar.2035, 13:00	52.17	80.8
Subcuenca 8	3.03	18.9	22mar.2035, 13:00	78.72	238.8
Subcuenca 9	2.58	9.2	22mar.2035, 13:00	44.96	115.8
Subcuenca 10	4.58	12.1	22mar.2035, 13:00	34.48	157.8
Subcuenca 11	2.01	5.0	22mar.2035, 13:00	32.87	66.0
Subcuenca 12	1.15	3.9	22mar.2035, 13:00	43.12	49.7
Subcuenca 14	2.96	7.4	22mar.2035, 13:00	32.87	97.5
Subcuenca 15	1.41	7.8	22mar.2035, 13:00	69.35	98.1
Subcuenca 16	2.94	18.3	22mar.2035, 13:00	78.72	231.1

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.**4.3.10.1. Tramo de la Cuenca Alta.**

En este tramo se consideran los datos de cada subcuenca que conforman la cuenca alta, considerando los datos del flujo directo de cada una y obteniendo un flujo total.

Los cálculos indican que el caudal máximo en la cuenca alta por el método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS se da a las 13 horas del día 1 con un caudal de 25.30 m3/s, terminando su intensidad a las 3 horas del día 2, observando una pérdida total del flujo hasta el final del evento de simulación.

Tabla 52.*Cuenca alta - Datos de Flujo de Subcuencas (10 años).*

Date	Time	Subcuenca 1	Subcuenca 4	Subcuenca 5	Subcuenca 11	Total
		Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Flow (m3/s)
22mar.2030	0:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	1:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	2:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	3:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	4:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	5:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	6:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	7:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	8:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	9:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	10:00	0	0.1	0	0.2	0.3
22mar.2030	11:00	0.2	0.7	0.2	0.8	1.9
22mar.2030	12:00	0.8	2.2	0.6	5	8.6
22mar.2030	13:00	5.3	13.2	4	2.8	25.3
22mar.2030	14:00	3	7.3	2.3	1.7	14.3
22mar.2030	15:00	1.8	4.4	1.4	1.3	8.9
22mar.2030	16:00	1.3	3.3	1	1.1	6.7
22mar.2030	17:00	1.1	2.7	0.8	0.9	5.5
22mar.2030	18:00	1	2.4	0.8	0.8	5
22mar.2030	19:00	0.9	2.2	0.7	0.8	4.6
22mar.2030	20:00	0.8	2	0.6	0.7	4.1
22mar.2030	21:00	0.8	1.9	0.6	0.7	4
22mar.2030	22:00	0.7	1.7	0.6	0.6	3.6
22mar.2030	23:00	0.7	1.7	0.5	0.6	3.5
23mar.2030	0:00	0.6	1.6	0.5	0.2	2.9
23mar.2030	1:00	0.2	0.4	0.1	0	0.7
23mar.2030	2:00	0	0.1	0	0	0.1
22mar.2030	3:00	0	0	0	0	0

Nota. Realizado en HEC-HMS.

La Tabla 53 presenta la precipitación total que cae sobre la cuenca alta (Precip), el agua que se infiltra en el terreno (Loss) y el agua que genera escorrentía superficial (Excess) en mm. La mayor escorrentía de 38.94mm se da a las 13 horas del día 1.

Tabla 53.

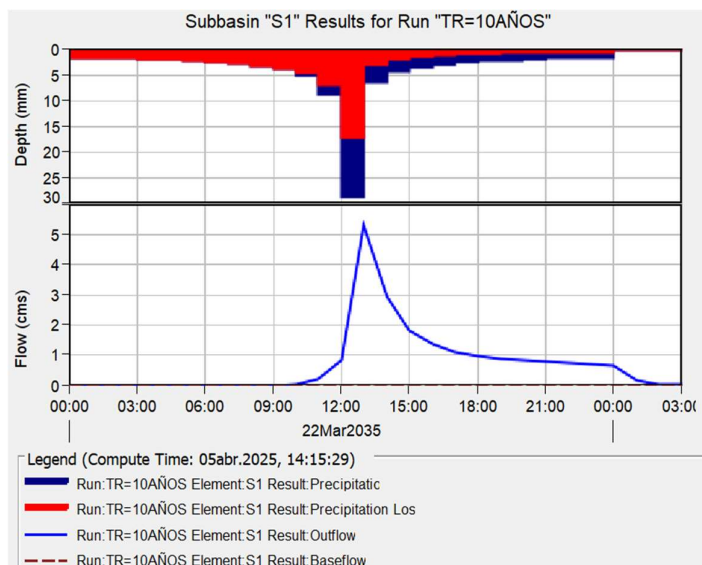
Escorrentía de la cuenca alta (10 años).

Date	Time	Total Precip (mm)	Total Loss (mm)	Total Excess (mm)
22mar.2035	0:00			
22mar.2035	1:00	6.44	6.44	0
22mar.2035	2:00	6.79	6.79	0
22mar.2035	3:00	7.24	7.24	0
22mar.2035	4:00	7.75	7.75	0
22mar.2035	5:00	8.38	8.38	0
22mar.2035	6:00	9.15	9.15	0
22mar.2035	7:00	10.15	10.15	0
22mar.2035	8:00	11.52	11.52	0
22mar.2035	9:00	13.51	13.44	0.07
22mar.2035	10:00	16.78	16.01	0.77
22mar.2035	11:00	24.23	20.89	3.34
22mar.2035	12:00	55.35	38.24	17.11
22mar.2035	13:00	93.11	54.17	38.94
22mar.2035	14:00	23.45	10.59	12.86
22mar.2035	15:00	16.7	7.05	9.65
22mar.2035	16:00	13.47	5.42	8.05
22mar.2035	17:00	11.52	4.45	7.06
22mar.2035	18:00	10.17	3.8	6.35
22mar.2035	19:00	9.15	3.33	5.81
22mar.2035	20:00	8.36	2.97	5.4
22mar.2035	21:00	7.75	2.69	5.07
22mar.2035	22:00	7.24	2.44	4.78
22mar.2035	23:00	6.79	2.25	4.54
23mar.2035	0:00	4.89	1.59	3.3
23mar.2035	1:00	0	0	0
23mar.2035	2:00	0	0	0
23mar.2035	3:00	0	0	0

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 58.

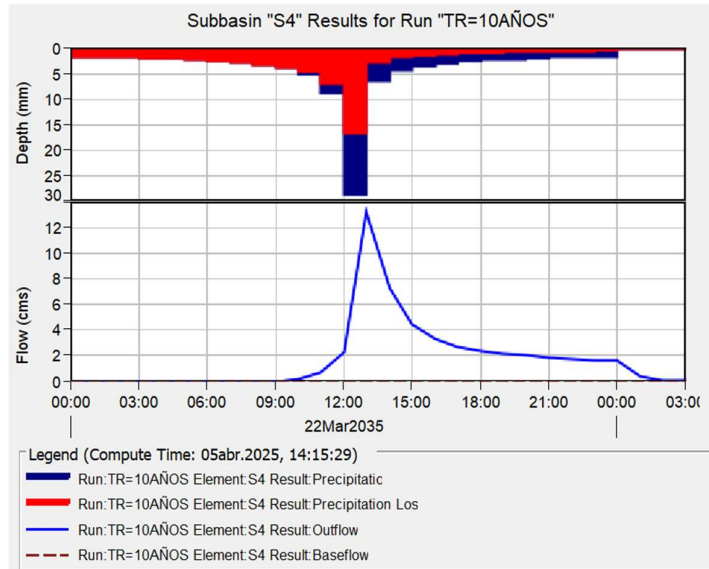
Hidrograma de la Subcuenca 1 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 59.

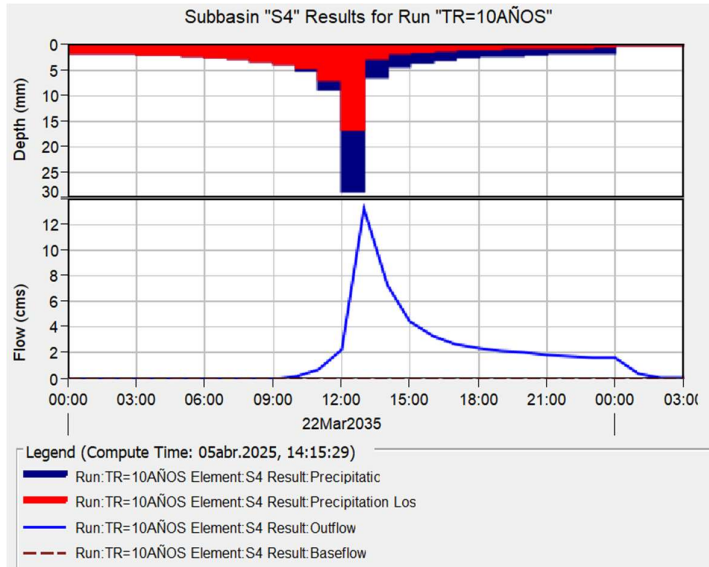
Hidrograma de la Subcuenca 2 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 60.

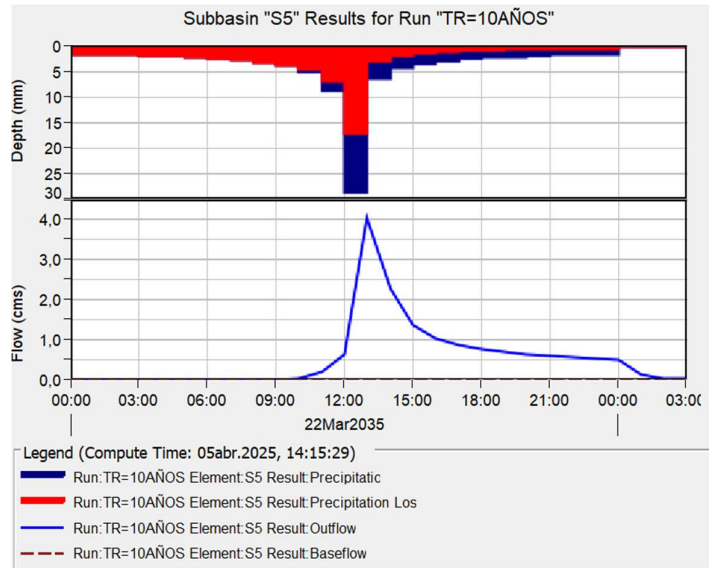
Hidrograma de la Subcuenca 4 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 61.

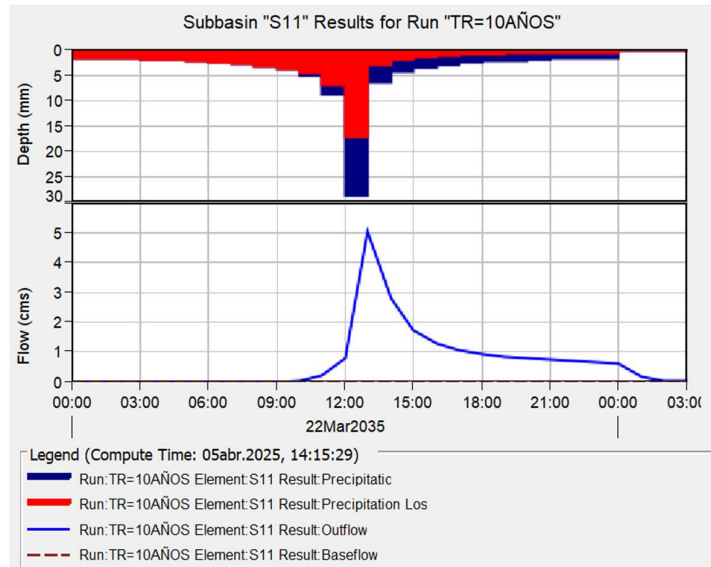
Hidrograma de la Subcuenca 5 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 62.

Hidrograma de la Subcuenca 11 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

4.3.10.2. Tramo de la Cuenca Media.

Los cálculos indican que el caudal máximo en la cuenca media por el método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS se da a las 13 horas del día 1 con un caudal de 103.90 m³/s, terminando su intensidad a las 3 horas del día 2, observando una pérdida total del flujo hasta el final del evento de simulación

Tabla 54.
Cuenca media - Datos de Flujo de Subcuencas (10 años).

Date	Time	Subcuenca 2		Subcuenca 3		Subcuenca 6		Subcuenca 7		Subcuenca 8		Subcuenca 9		Subcuenca 10		Subcuenca 12		Subcuenca 14		Subcuenca 15		Subcuenca 16		Total Flow (m ³ /s)	
		Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)	Direct (Flow)		Direct (Flow)
22mar.2035	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2035	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2035	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2035	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2035	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2035	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2035	6:00	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.4
22mar.2035	7:00	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.9	0.9
22mar.2035	8:00	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	0.7	1.6	1.6
22mar.2035	9:00	0	0	0.1	0.1	0.1	1.1	0.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	1.1	1.1	3	3
22mar.2035	10:00	0	0	0.2	0.2	0.2	1.6	0.4	0.4	0.4	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	1.6	1.6	4.8	4.8
22mar.2035	11:00	0	0.1	0.3	0.5	2.6	0.8	0.8	2.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.9	2.5	2.5	8.9	8.9	
22mar.2035	12:00	1.1	0.6	0.8	1.3	5	2	2	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.9	4.8	4.8	21.5	21.5	
22mar.2035	13:00	11.6	4.7	3.6	6.4	18.9	9.2	9.2	18.9	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	7.4	7.8	7.8	18.3	103.9	103.9	
22mar.2035	14:00	6.9	2.7	1.9	3.4	9.4	4.8	4.8	9.4	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	4.1	4	4	9.1	55.1	55.1	
22mar.2035	15:00	4.4	1.7	1.1	2	5.2	2.8	2.8	5.2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2.5	2.2	2.2	5.1	32.2	32.2	
22mar.2035	16:00	3.4	1.3	0.8	1.5	3.7	2	2	3.7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1.9	1.6	1.6	3.6	23.7	23.7	
22mar.2035	17:00	2.9	1.1	0.7	1.2	3	1.7	1.7	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.6	1.3	1.3	2.9	19.6	19.6	
22mar.2035	18:00	2.5	1	0.6	1.1	2.6	1.5	1.5	2.6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.4	1.1	1.1	2.5	17.1	17.1	
22mar.2035	19:00	2.3	0.9	0.5	1	2.3	1.3	1.3	2.3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.3	1	1	2.2	15.4	15.4	
22mar.2035	20:00	2.1	0.8	0.5	0.9	2.1	1.2	1.2	2.1	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.2	0.9	0.9	2	14	14	14	
22mar.2035	21:00	2	0.8	0.4	0.8	1.9	1.1	1.1	1.9	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.1	0.9	0.9	1.9	13.1	13.1	13.1	
22mar.2035	22:00	1.9	0.7	0.4	0.8	1.8	1	1	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1	0.8	0.8	1.8	12.3	12.3	12.3	
22mar.2035	23:00	1.8	0.7	0.4	0.7	1.7	1	1	1.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	0.8	0.7	1.6	11.6	11.6	11.6	
23mar.2035	0:00	1.7	0.6	0.4	0.7	1.6	0.9	0.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	0.9	0.7	0.7	1.6	10.9	10.9	10.9	
23mar.2035	1:00	0.4	0.2	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	2.8	2.8	2.8	
23mar.2035	2:00	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.4	0.4
23mar.2035	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La Tabla 55 presenta la precipitación total que cae sobre la cuenca media (Precip), el agua que se infiltra en el terreno (Loss) y el agua que genera escorrentía superficial (Excess) en mm. La mayor escorrentía de 194.76 mm se da a las 13 horas del día 1.

Tabla 55.

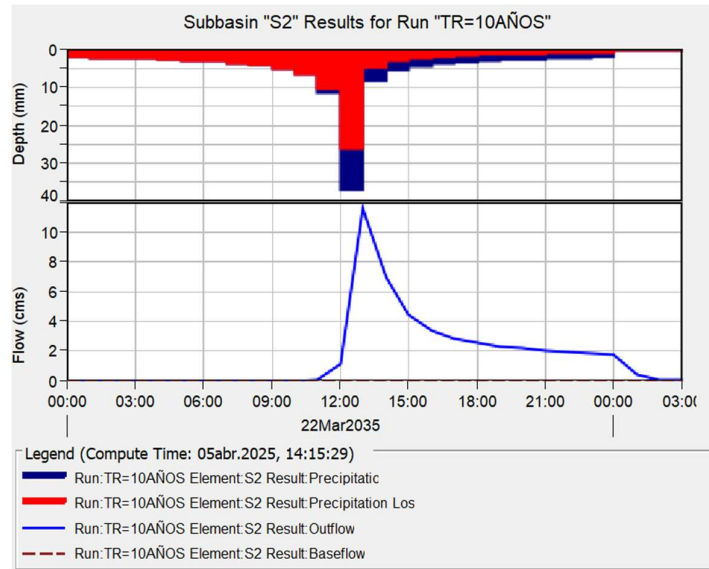
Escorrentía de la cuenca media (10 años).

Date	Time	Total Precip (mm)	Total Loss (mm)	Total Excess (mm)
22mar.2035	0:00			
22mar.2035	1:00	20.07	20.07	0
22mar.2035	2:00	21.19	21.19	0
22mar.2035	3:00	22.52	22.52	0
22mar.2035	4:00	24.08	24.08	0
22mar.2035	5:00	25.91	25.87	0.04
22mar.2035	6:00	28.25	27.72	0.51
22mar.2035	7:00	31.14	29.79	1.35
22mar.2035	8:00	35.09	32.52	2.57
22mar.2035	9:00	40.59	35.74	4.85
22mar.2035	10:00	49.16	40.56	8.6
22mar.2035	11:00	65.06	49.11	15.99
22mar.2035	12:00	111.49	72.79	38.7
22mar.2035	13:00	366.06	171.24	194.76
22mar.2035	14:00	80.35	28.23	52.11
22mar.2035	15:00	55.66	18.14	37.55
22mar.2035	16:00	44.32	13.7	30.62
22mar.2035	17:00	37.59	11.11	26.44
22mar.2035	18:00	32.97	9.4	23.55
22mar.2035	19:00	29.58	8.17	21.43
22mar.2035	20:00	26.97	7.26	19.75
22mar.2035	21:00	24.97	6.55	18.4
22mar.2035	22:00	23.24	5.93	17.29
22mar.2035	23:00	21.8	5.46	16.35
23mar.2035	0:00	20.63	5.08	15.55
23mar.2035	1:00	0	0	0
23mar.2035	2:00	0	0	0
23mar.2035	3:00	0	0	0

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 63.

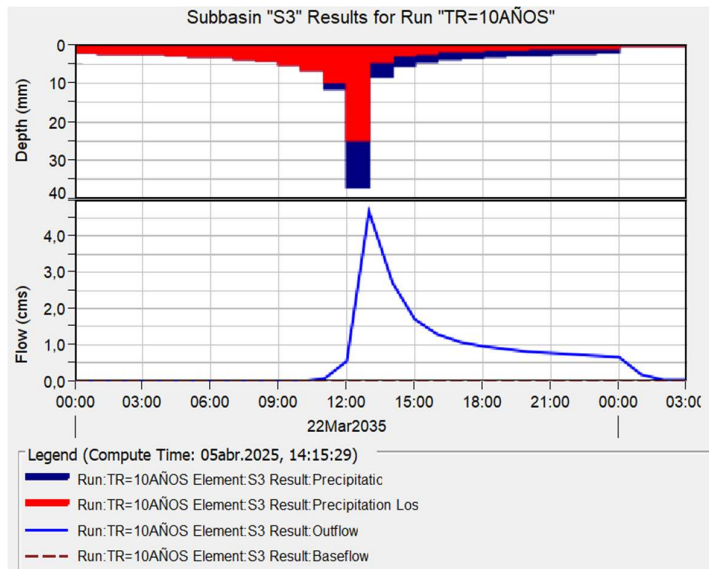
Hidrograma de la Subcuenca 2 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 64.

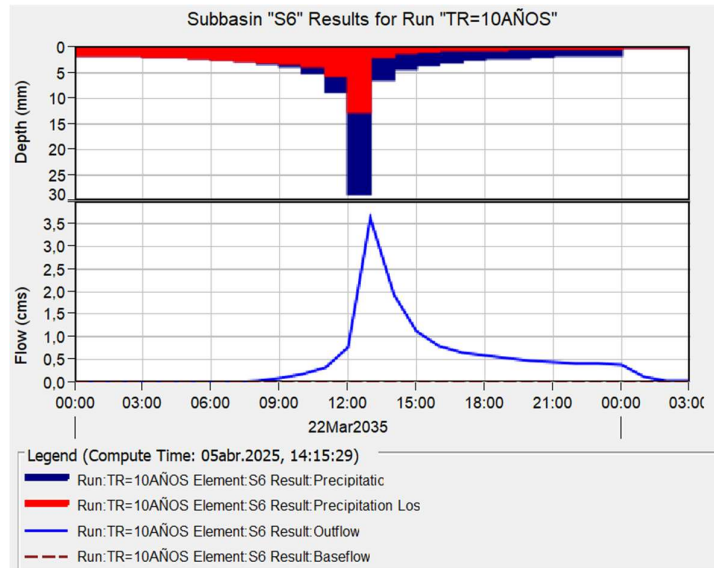
Hidrograma de la Subcuenca 3 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 65.

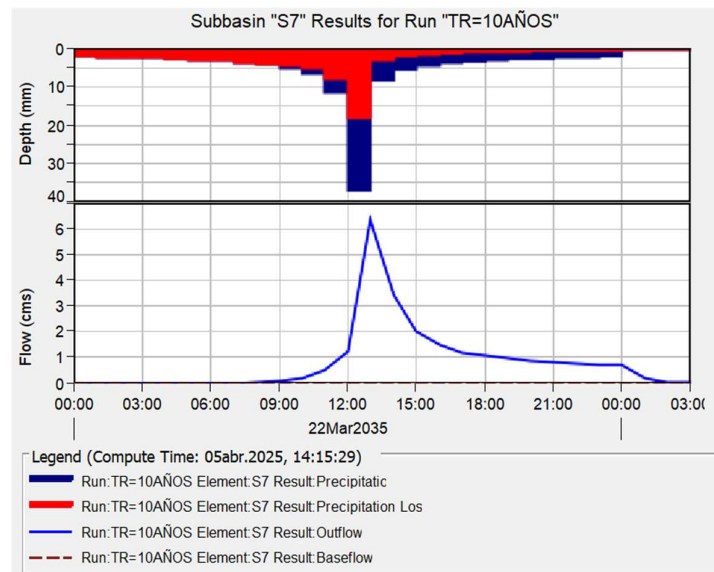
Hidrograma de la Subcuenca 6 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 66.

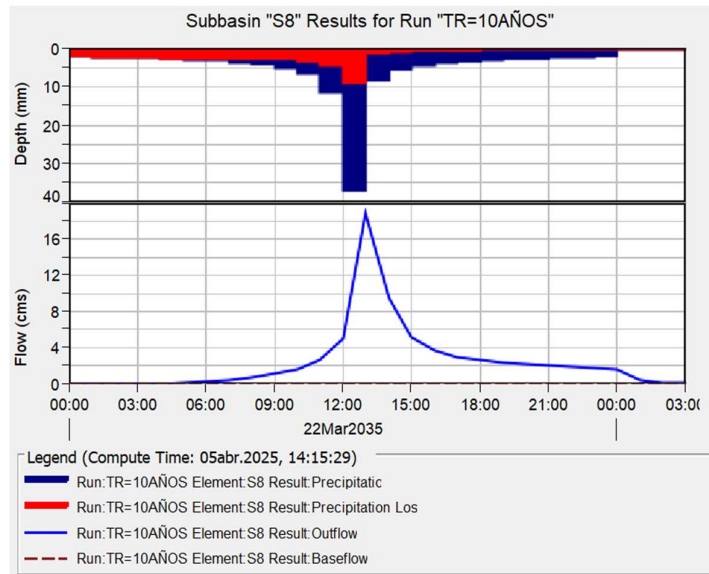
Hidrograma de la Subcuenca 7 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 67.

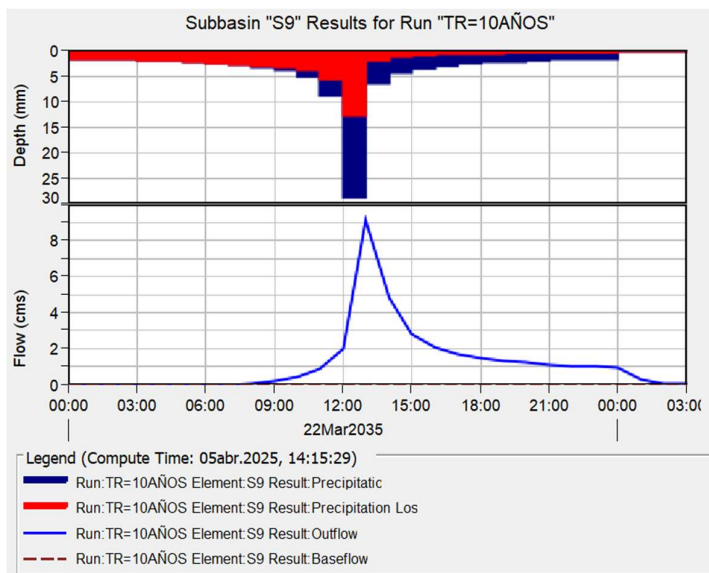
Hidrograma de la Subcuenca 8 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 68.

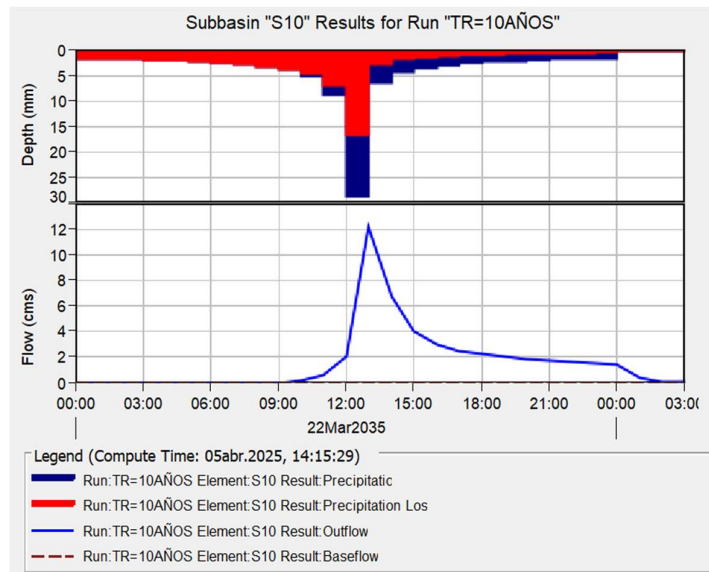
Hidrograma de la Subcuenca 9 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 69.

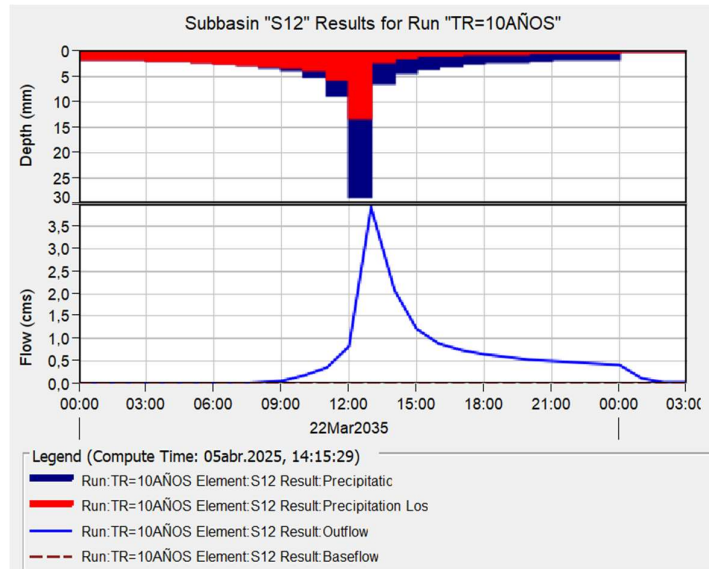
Hidrograma de la Subcuenca 10 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 70.

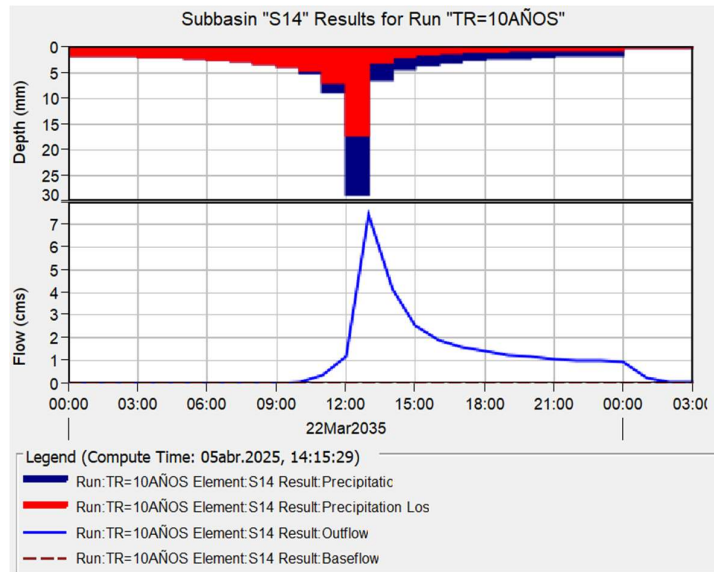
Hidrograma de la Subcuenca 12 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 71.

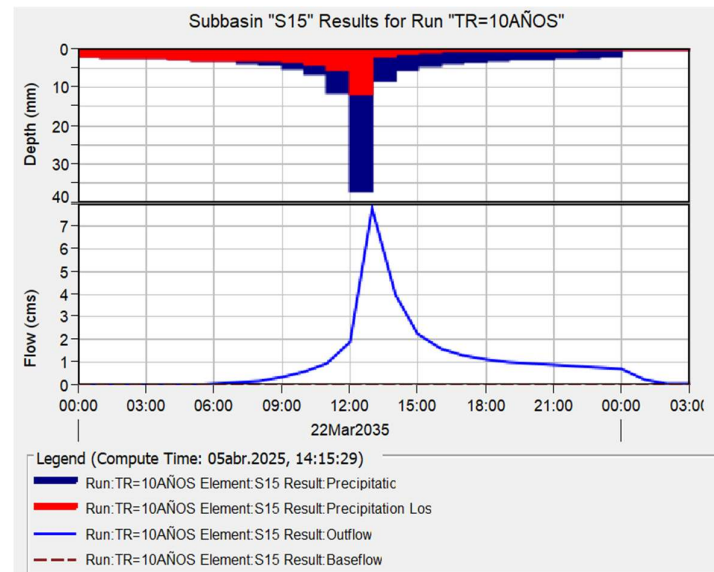
Hidrograma de la Subcuenca 14 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 72.

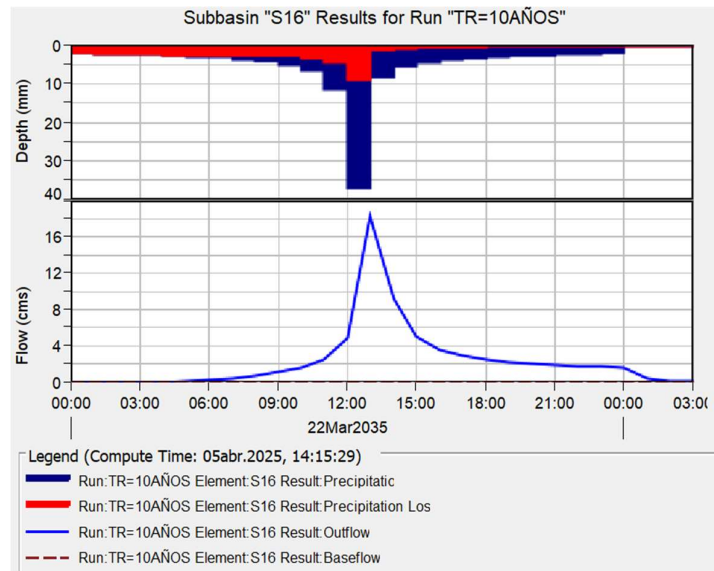
Hidrograma de la Subcuenca 15 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 73.

Hidrograma de la Subcuenca 16 (TR = 10 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

4.3.11. Escenario 3.

El escenario 3 representa una situación futura con un periodo de retorno de 25 años, con el objetivo de evaluar el temporal de lluvias y su impacto en la cuenca alta y media. Para este análisis se utiliza una precipitación de 24 horas.

La Tabla 56 presenta los caudales máximos en m³/s y volumen pico en m³ por el método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS de las subcuencas de la cuenca alta y media y la hora que llega al caudal máximo.

Tabla 56.*Resultados generales de volumen y caudal pico – Método H.U. SCS (25 años).*

Elemento	Área (Km2)	Caudal Pico (m3/s)	Fecha-Hora	Volumen pico	
				mm	(1000) m3
Subcuenca 1	2.11	8.7	22mar.2050, 13:00	52.52	111.1
Subcuenca 2	5.13	21.7	22mar.2050, 13:00	283.6	283.6
Subcuenca 3	1.81	8.4	22mar.2050, 13:00	108.2	108.2
Subcuenca 4	4.99	21.5	22mar.2050, 13:00	272.2	272.2
Subcuenca 5	1.62	6.7	22mar.2050, 13:00	84.8	84.8
Subcuenca 6	1.02	5.5	22mar.2050, 13:00	68.9	68.9
Subcuenca 7	1.55	10.1	22mar.2050, 13:00	126.4	126.4
Subcuenca 8	3.03	26.9	22mar.2050, 13:00	342.9	342.9
Subcuenca 9	2.58	13.8	22mar.2050, 13:00	173.9	173.9
Subcuenca 10	4.58	19.7	22mar.2050, 13:00	54.57	249.7
Subcuenca 11	2.01	8.3	22mar.2050, 13:00	52.52	105.4
Subcuenca 12	1.15	6.0	22mar.2050, 13:00	65.26	75.2
Subcuenca 14	2.96	12.2	22mar.2050, 13:00	52.52	155.7
Subcuenca 15	1.41	11.5	22mar.2050, 13:00	102.25	144.7
Subcuenca 16	2.94	26.0	22mar.2050, 13:00	113.03	331.9

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.**4.3.11.1. Tramo de la Cuenca Alta.**

En este tramo se consideran los datos de cada subcuenca que conforman la cuenca alta, considerando los datos del flujo directo de cada una y obteniendo un flujo total.

Los cálculos indican que el caudal máximo en la cuenca alta por el método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS se da a las 13 horas del día 1 con un caudal de 45.20 m3/s, terminando su intensidad a las 3 horas del día 2, observando una pérdida total del flujo hasta el final del evento de simulación.

Tabla 57.*Cuenca alta - Datos de Flujo de Subcuencas (25 años).*

Date	Time	Subcuenca 1	Subcuenca 4	Subcuenca 5	Subcuenca 11	Total
		Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Flow (m3/s)
22mar.2030	0:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	1:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	2:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	3:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	4:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	5:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	6:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	7:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	8:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	9:00	0.1	0.3	0.1	0.1	0.6
22mar.2030	10:00	0.3	0.8	0.2	0.3	1.6
22mar.2030	11:00	0.7	1.8	0.5	0.6	3.6
22mar.2030	12:00	1.7	4.4	1.3	1.6	9
22mar.2030	13:00	8.7	21.5	6.7	8.3	45.2
22mar.2030	14:00	4.7	11.4	3.6	4.4	24.1
22mar.2030	15:00	2.7	6.6	2.1	2.6	14
22mar.2030	16:00	2	4.9	1.5	1.9	10.3
22mar.2030	17:00	1.6	4	1.3	1.6	8.5
22mar.2030	18:00	1.4	3.5	1.1	1.4	7.4
22mar.2030	19:00	1.3	3.1	1	1.2	6.6
22mar.2030	20:00	1.2	2.9	0.9	1.1	6.1
22mar.2030	21:00	1.1	2.7	0.8	1.1	5.7
22mar.2030	22:00	1	2.5	0.8	1	5.3
22mar.2030	23:00	1	2.4	0.8	0.9	5.1
23mar.2030	0:00	0.9	2.2	0.7	0.9	4.7
23mar.2030	1:00	0.2	0.6	0.2	0.2	1.2
23mar.2030	2:00	0	0.1	0	0	0.1
22mar.2030	3:00	0	0	0	0	0

Nota. Realizado en HEC-HMS.

La Tabla 58 presenta la precipitación total que cae sobre la cuenca alta y media (Precip), el agua que se infiltra en el terreno (Loss) y el agua que genera escorrentía superficial (Excess) en mm. La mayor escorrentía de 76.53 mm se da a las 13 horas del día 1.

Tabla 58.

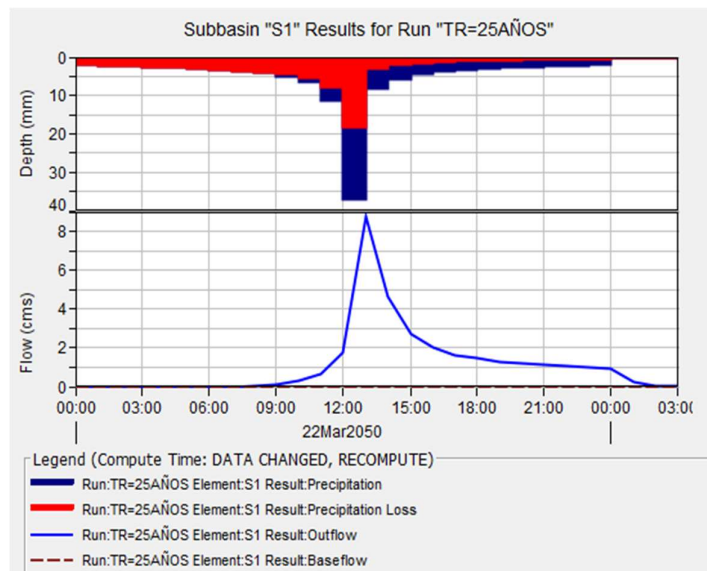
Escorrentía de la cuenca alta (25 años).

Date	Time	Total Precip (mm)	Total Loss (mm)	Total Excess (mm)
22mar.2030	0:00			
22mar.2030	1:00	8.12	8.12	0
22mar.2030	2:00	8.56	8.56	0
22mar.2030	3:00	9.12	9.12	0
22mar.2030	4:00	9.72	9.72	0
22mar.2030	5:00	10.48	10.48	0
22mar.2030	6:00	11.44	11.44	0
22mar.2030	7:00	12.6	12.6	0
22mar.2030	8:00	14.2	14.18	0.02
22mar.2030	9:00	16.44	15.63	0.81
22mar.2030	10:00	19.92	17.41	2.51
22mar.2030	11:00	26.36	20.78	5.55
22mar.2030	12:00	45.12	30.71	14.42
22mar.2030	13:00	148.16	71.67	76.53
22mar.2030	14:00	32.52	11.69	20.87
22mar.2030	15:00	22.56	7.46	15.06
22mar.2030	16:00	17.96	5.64	12.32
22mar.2030	17:00	15.2	4.57	10.66
22mar.2030	18:00	13.36	3.86	9.49
22mar.2030	19:00	12	3.35	8.64
22mar.2030	20:00	10.92	2.96	7.96
22mar.2030	21:00	10.12	2.68	7.44
22mar.2030	22:00	9.4	2.44	6.99
22mar.2030	23:00	8.84	2.21	6.6
23mar.2030	0:00	8.36	2.05	6.27
23mar.2030	1:00	0	0	0
23mar.2030	2:00	0	0	0
23mar.2030	3:00	0	0	0

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 74.

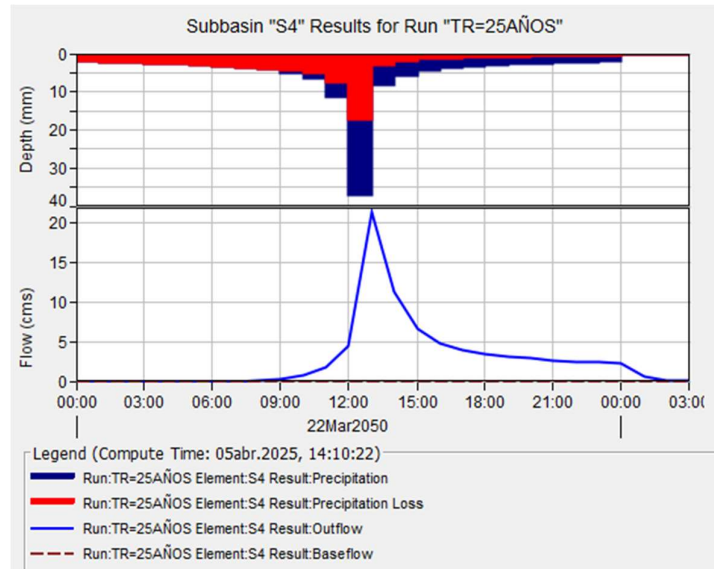
Hydrograma de la Subcuenca 1 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 75.

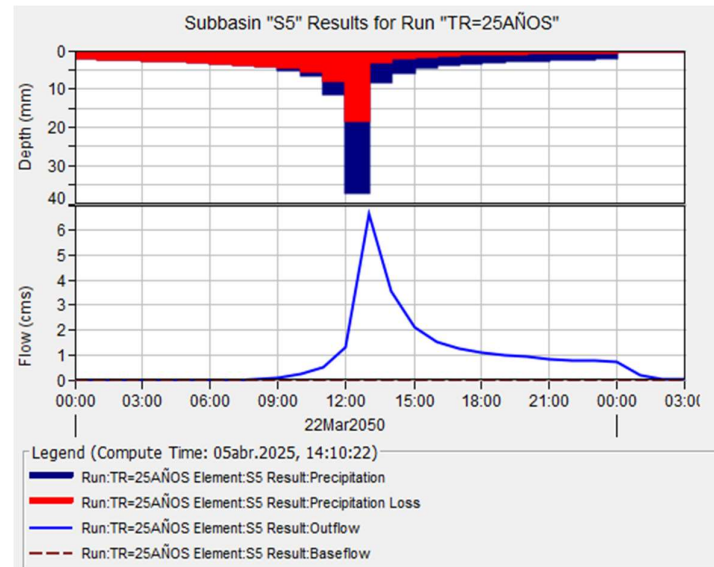
Hidrograma de la Subcuenca 4 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 76.

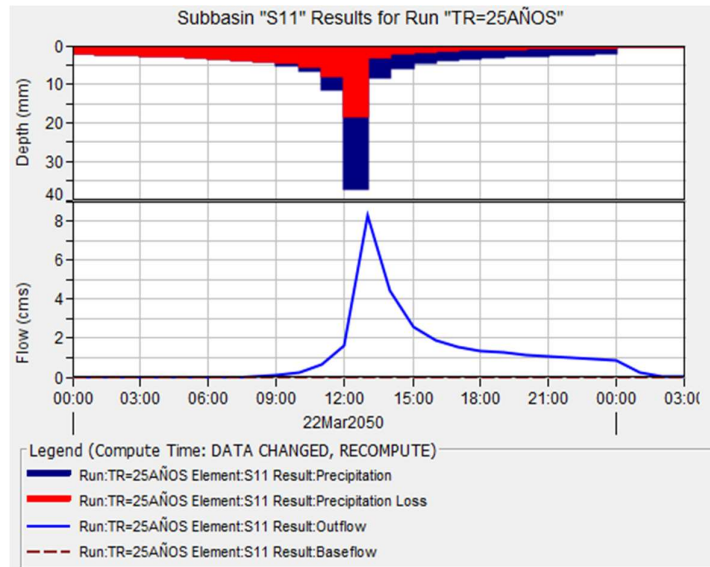
Hidrograma de la Subcuenca 5 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 77.

Hidrograma de la Subcuenca 11 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

4.3.11.2. Tramo de la Cuenca Media.

Los cálculos indican que el caudal máximo en la cuenca media por el método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS se da a las 13 horas del día 1 con un caudal de 161.80 m³/s.

Tabla 59.

Cuenca media - Datos de Flujo de Subcuencas (25 años).

Date	Time	Subcuenca 2		Subcuenca 3		Subcuenca 6		Subcuenca 7		Subcuenca 8		Subcuenca 9		Subcuenca 10		Subcuenca 12		Subcuenca 14		Subcuenca 15		Subcuenca 16		Total Flow (m3/s)	
		Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 2 (m3/s)	Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 3 (m3/s)	Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 6 (m3/s)	Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 7 (m3/s)	Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 8 (m3/s)	Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 9 (m3/s)	Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 10 (m3/s)	Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 12 (m3/s)	Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 14 (m3/s)	Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 15 (m3/s)	Direct (Flow) (m3/s)	Subcuenca 16 (m3/s)		
22mar.2050	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2050	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2050	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2050	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2050	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2050	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.2	0.4	0.4
22mar.2050	6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	0.5	1.1	1.1	
22mar.2050	7:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.9	0.9	2.1	2.1	
22mar.2050	8:00	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	1.4	0.3	0	0	0.1	0.3	0	0	0.1	0.3	0	0.4	1.3	1.3	3.7	3.7	
22mar.2050	9:00	0	0	0	0.2	0.3	0.3	0.3	1.9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.7	1.9	1.9	6.1	6.1		
22mar.2050	10:00	0.2	0.1	0.4	0.4	0.6	0.6	2.7	0.9	2.7	0.9	0.9	0.9	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	1	2.6	2.6	10	10		
22mar.2050	11:00	1	0.5	0.6	0.6	1	1	4	4	4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	0.6	0.6	0.9	1.6	3.9	3.9	17.3	17.3		
22mar.2050	12:00	3.5	1.5	1.3	1.3	2.3	2.3	7.5	7.5	7.5	3.3	3.3	3.3	4	4	1.4	1.4	2.4	3	7.3	7.3	37.5	37.5		
22mar.2050	13:00	21.7	8.4	5.5	5.5	10.1	10.1	26.9	26.9	26.9	13.8	13.8	13.8	19.7	19.7	6	6	12.2	11.5	26	26	161.8	161.8		
22mar.2050	14:00	12	4.6	2.8	2.8	5.2	5.2	13.2	13.2	13.2	7.1	7.1	7.1	10.5	10.5	3.1	3.1	6.5	5.7	12.8	12.8	83.5	83.5		
22mar.2050	15:00	7.3	2.7	1.6	1.6	3	3	7.2	7.2	7.2	4	4	4	6.1	6.1	1.8	1.8	3.8	3.2	7	7	47.7	47.7		
22mar.2050	16:00	5.5	2	1.1	1.1	2.1	2.1	5.1	5.1	5.1	2.9	2.9	2.9	4.5	4.5	1.3	1.3	2.8	2.2	4.9	4.9	34.4	34.4		
22mar.2050	17:00	4.5	1.7	0.9	0.9	1.7	1.7	4	4	4	2.3	2.3	2.3	3.6	3.6	1	1	2.3	1.8	3.9	3.9	27.7	27.7		
22mar.2050	18:00	4	1.5	0.8	0.8	1.5	1.5	3.5	3.5	3.5	2	2	2	3.2	3.2	0.9	0.9	2	1.6	3.4	3.4	24.4	24.4		
22mar.2050	19:00	3.6	1.3	0.7	0.7	1.4	1.4	3.1	3.1	3.1	1.8	1.8	1.8	2.9	2.9	0.8	0.8	1.8	1.4	3	3	21.8	21.8		
22mar.2050	20:00	3.3	1.2	0.7	0.7	1.3	1.3	2.8	2.8	2.8	1.7	1.7	1.7	2.6	2.6	0.7	0.7	1.7	1.3	2.8	2.8	20.1	20.1		
22mar.2050	21:00	3.1	1.1	0.6	0.6	1.2	1.2	2.6	2.6	2.6	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	0.7	0.7	1.6	1.2	2.5	2.5	18.6	18.6		
22mar.2050	22:00	2.9	1.1	0.6	0.6	1.1	1.1	2.4	2.4	2.4	1.4	1.4	1.4	2.3	2.3	0.6	0.6	1.5	1.1	2.4	2.4	17.4	17.4		
22mar.2050	23:00	2.8	1	0.5	0.5	1	1	2.3	2.3	2.3	1.4	1.4	1.4	2.2	2.2	0.6	0.6	1.4	1	2.2	2.2	16.4	16.4		
23mar.2050	0:00	2.6	1	0.5	0.5	1	1	2.2	2.2	2.2	1.3	1.3	1.3	2.1	2.1	0.6	0.6	1.3	1	2.1	2.1	15.7	15.7		
23mar.2050	1:00	0.7	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.1	0.1	0.3	0.2	0.5	0.5	3.7	3.7		
23mar.2050	2:00	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	
23mar.2050	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

La Tabla 60 presenta la precipitación total que cae sobre la cuenca media (Precip), el agua que se infiltra en el terreno (Loss) y el agua que genera escorrentía superficial (Excess) en mm. La mayor escorrentía de 297.32 mm se da a las 13 horas del día 1.

Tabla 60.

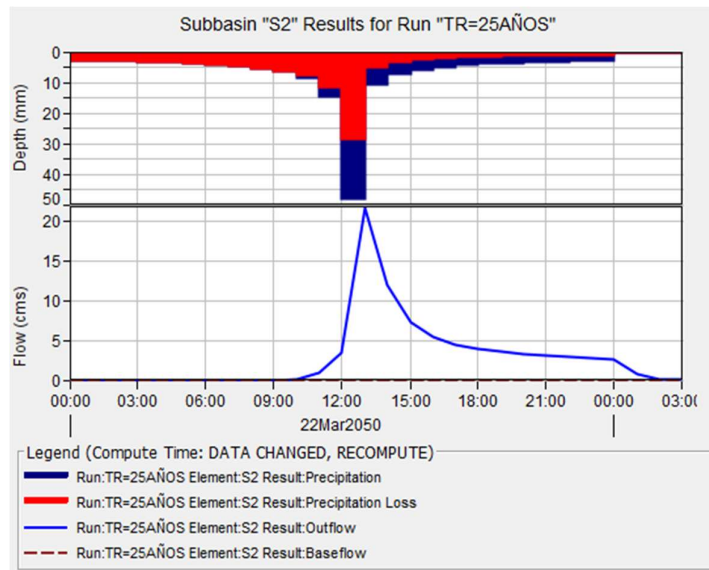
Escorrentía de la cuenca media (25 años).

Date	Time	Total Precip (mm)	Total Loss (mm)	Total Excess (mm)
22mar.2035	0:00			
22mar.2035	1:00	25.93	25.93	0
22mar.2035	2:00	27.38	27.38	0
22mar.2035	3:00	29.1	29.1	0
22mar.2035	4:00	31.05	31.01	0.04
22mar.2035	5:00	33.44	32.76	0.69
22mar.2035	6:00	36.5	34.65	1.85
22mar.2035	7:00	40.23	36.67	3.58
22mar.2035	8:00	45.29	38.89	6.42
22mar.2035	9:00	52.41	41.82	10.6
22mar.2035	10:00	63.54	46.13	17.38
22mar.2035	11:00	84.07	54.1	29.95
22mar.2035	12:00	144	78.12	65.89
22mar.2035	13:00	472.78	175.45	297.32
22mar.2035	14:00	103.77	27.86	75.96
22mar.2035	15:00	71.94	17.74	54.15
22mar.2035	16:00	57.25	13.33	43.98
22mar.2035	17:00	48.52	10.75	37.78
22mar.2035	18:00	42.62	9.07	33.53
22mar.2035	19:00	38.28	7.86	30.38
22mar.2035	20:00	34.89	6.94	27.92
22mar.2035	21:00	32.27	6.26	25.98
22mar.2035	22:00	29.99	5.67	24.36
22mar.2035	23:00	28.21	5.19	22.99
23mar.2035	0:00	26.65	4.8	21.8
23mar.2035	1:00	0	0	0
23mar.2035	2:00	0	0	0
23mar.2035	3:00	0	0	0

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 78.

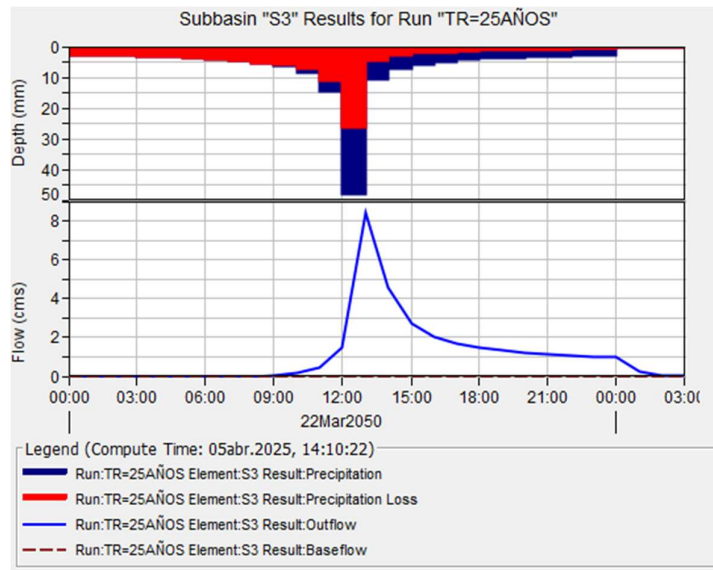
Hidrograma de la Subcuenca 2 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 79.

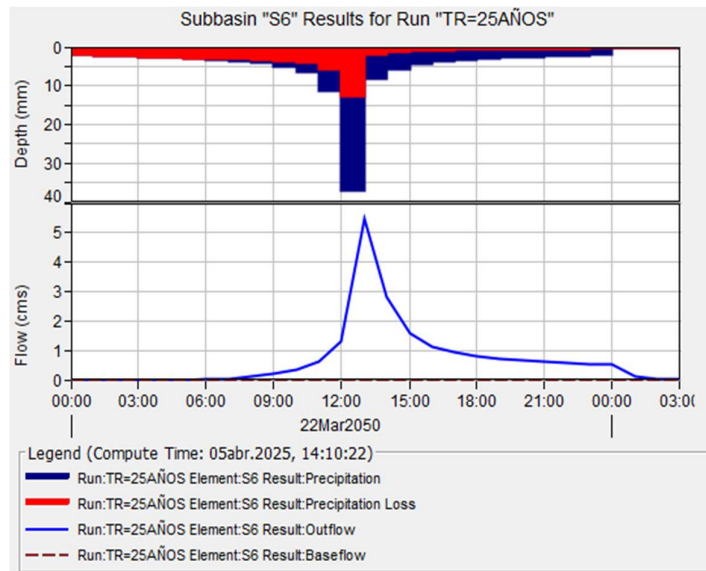
Hidrograma de la Subcuenca 3 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 80.

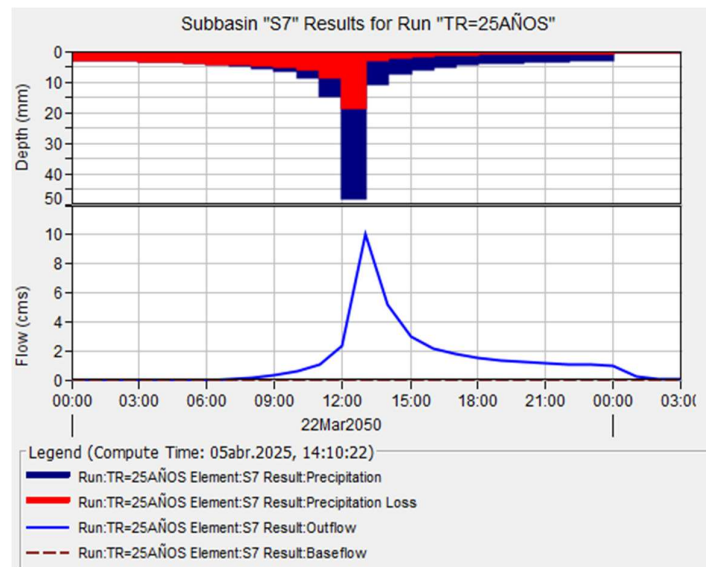
Hidrograma de la Subcuenca 6 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 81.

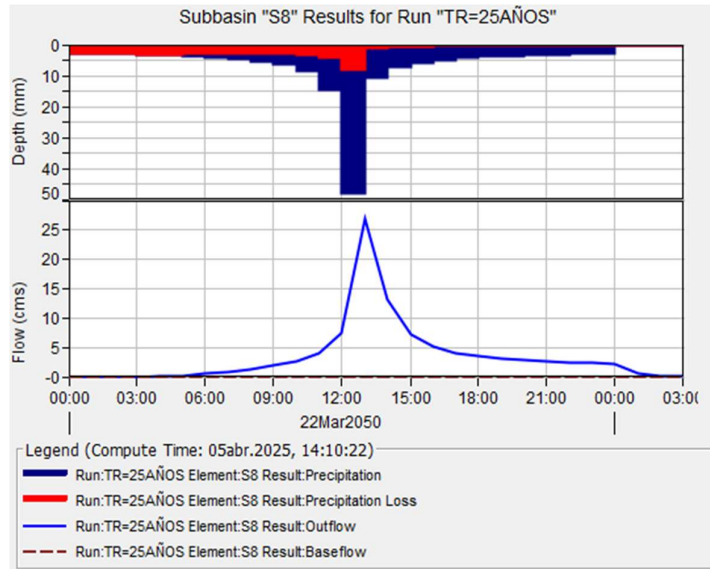
Hidrograma de la Subcuenca 7 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 82.

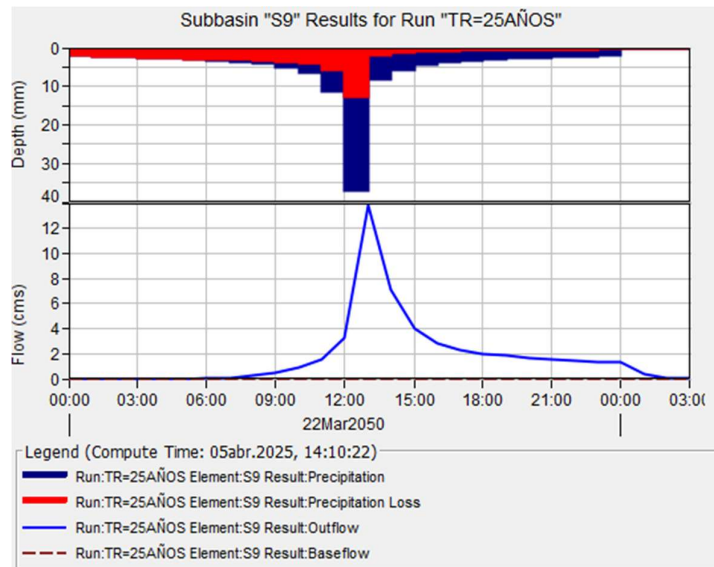
Hidrograma de la Subcuenca 8 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 83.

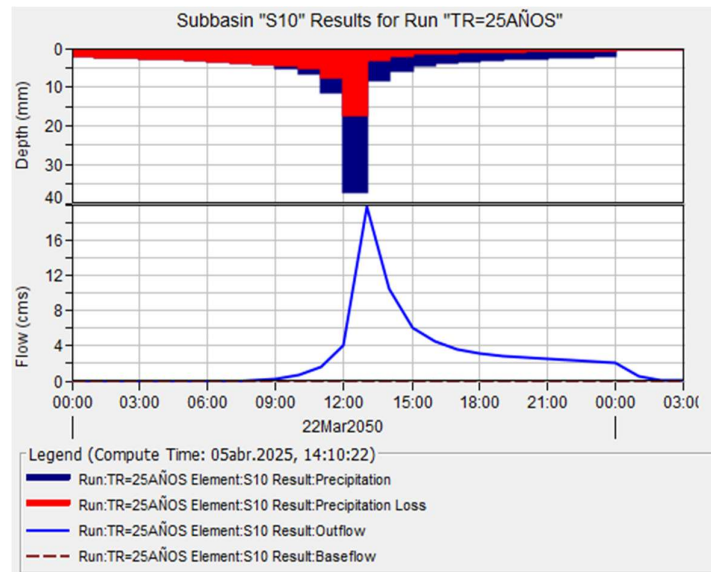
Hidrograma de la Subcuenca 9 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 84.

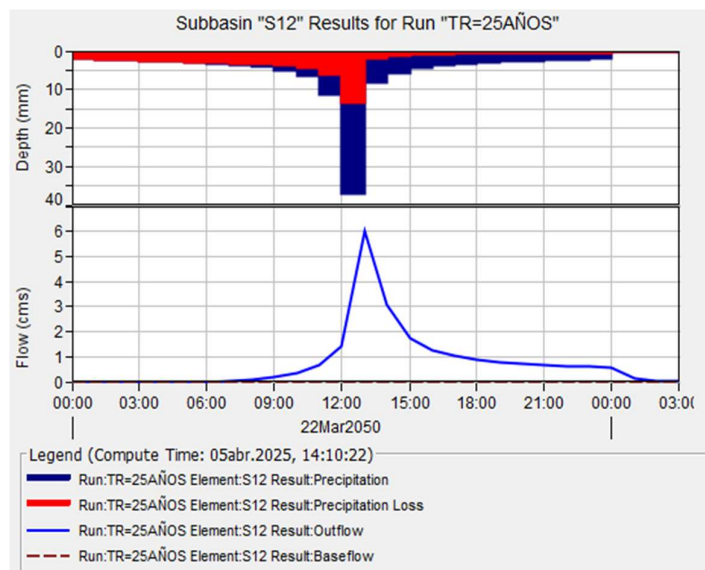
Hidrograma de la Subcuenca 10 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 85.

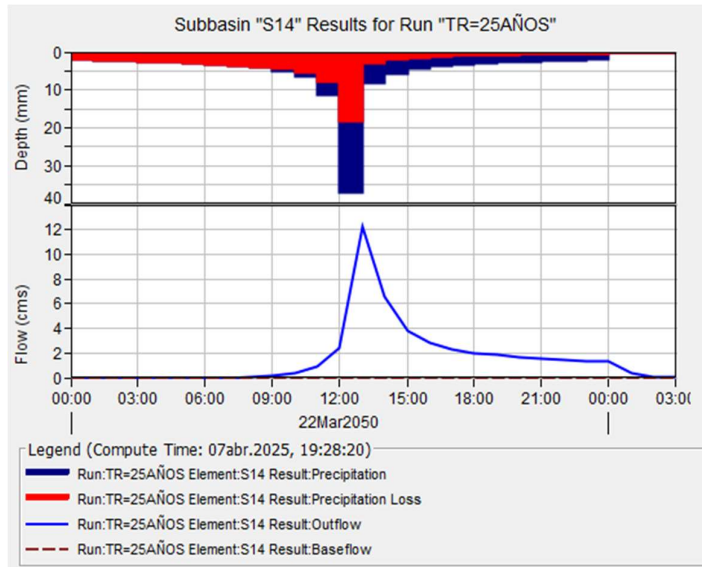
Hidrograma de la Subcuenca 12 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 86.

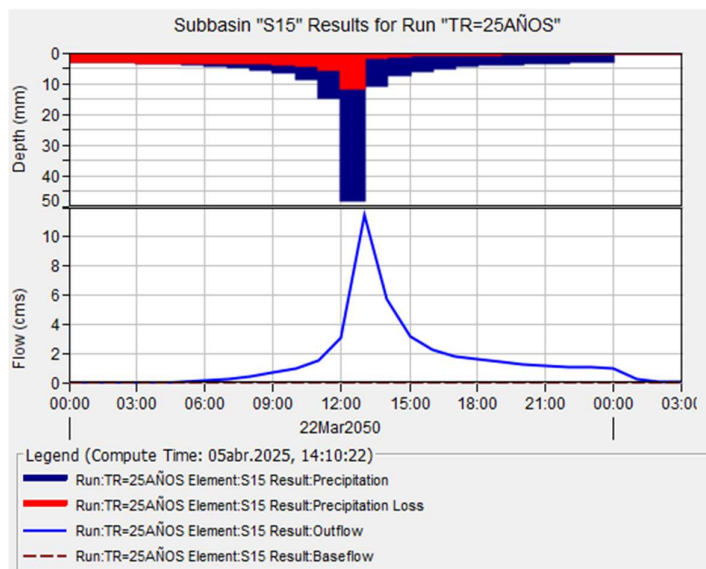
Hidrograma de la Subcuenca 14 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 87.

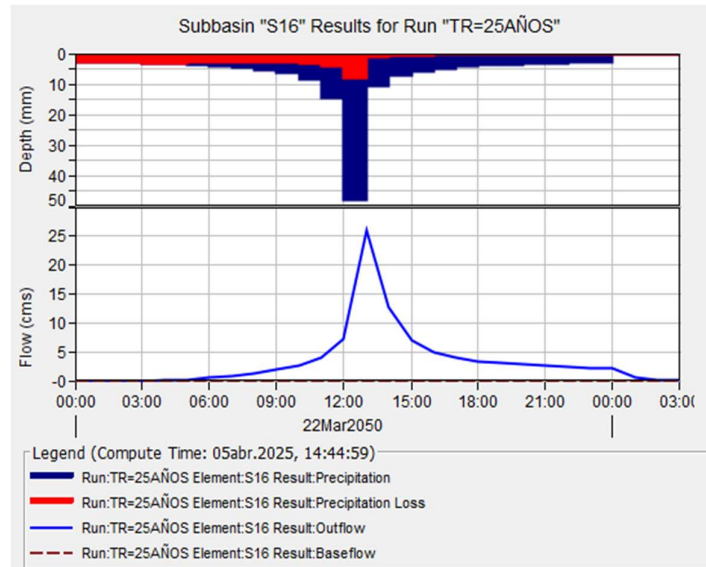
Hidrograma de la Subcuenca 15 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 88.

Hidrograma de la Subcuenca 16 (TR = 25 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

4.3.12. Escenario 4.

El escenario 4 representa una situación futura con un periodo de retorno de 50 años, con el objetivo de evaluar el temporal de lluvias y su impacto en la cuenca alta y media. Para este análisis se utiliza una precipitación de 24 horas.

La Tabla 61 presenta los caudales máximos en m³/s y volumen pico en m³ por el método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS de las subcuencas de la cuenca alta y media y la hora que llega al caudal máximo.

Tabla 61.*Resultados generales de volumen y caudal pico – Método H.U. SCS (50 años).*

Elemento	Área (Km ²)	Caudal Pico (m ³ /s)	Fecha-Hora	Volumen pico	
				mm	(1000) m ³
Subcuenca 1	2.11	12.2	22mar.2075, 13:00	72.66	153.6
Subcuenca 2	5.13	32.4	22mar.2075, 13:00	80.51	412.7
Subcuenca 3	1.81	12.3	22mar.2075, 13:00	86.04	155.5
Subcuenca 4	4.99	29.8	22mar.2075, 13:00	75.05	374.3
Subcuenca 5	1.62	9.3	22mar.2075, 13:00	72.66	117.4
Subcuenca 6	1.02	7.3	22mar.2075, 13:00	89.84	91.7
Subcuenca 7	1.55	13.8	22mar.2075, 13:00	111.49	172.8
Subcuenca 8	3.03	34.4	22mar.2075, 13:00	146.51	444.5
Subcuenca 9	2.58	18.4	22mar.2075, 13:00	89.84	231.5
Subcuenca 10	4.58	27.3	22mar.2075, 13:00	75.05	343.4
Subcuenca 11	2.01	11.6	22mar.2075, 13:00	72.66	145.8
Subcuenca 12	1.15	8.0	22mar.2075, 13:00	87.32	100.7
Subcuenca 14	2.96	17.1	22mar.2075, 13:00	72.66	215.4
Subcuenca 15	1.41	15.0	22mar.2075, 13:00	134.72	190.6
Subcuenca 16	2.94	33.3	22mar.2075, 13:00	146.51	430.2

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.**4.3.12.1. Tramo de la Cuenca Alta.**

En este tramo se consideran los datos de cada subcuenca que conforman la cuenca alta, considerando los datos del flujo directo de cada una y obteniendo un flujo total.

Los cálculos indican que el caudal máximo en la cuenca alta por el método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS se da a las 13 horas del día 1 con un caudal de 62.90 m³/s, terminando su intensidad a las 3 horas del día 2, observando una pérdida total del flujo hasta el final del evento de simulación.

Tabla 62.*Cuenca alta - Datos de Flujo de Subcuencas (50 años).*

Date	Time	Subcuenca 1	Subcuenca 4	Subcuenca 5	Subcuenca 11	Total
		Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Direct (Flow (m3/s))	Flow (m3/s)
22mar.2030	0:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	1:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	2:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	3:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	4:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	5:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	6:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	7:00	0	0	0	0	0
22mar.2030	8:00	0.1	0.3	0.1	0.1	0.6
22mar.2030	9:00	0.3	0.8	0.2	0.3	1.6
22mar.2030	10:00	0.6	1.6	0.5	0.6	3.3
22mar.2030	11:00	1.2	3	0.9	1.1	6.2
22mar.2030	12:00	2.7	6.7	2.1	2.6	14.1
22mar.2030	13:00	12.2	29.8	9.3	11.6	62.9
22mar.2030	14:00	6.4	15.4	4.9	6	32.7
22mar.2030	15:00	3.7	8.8	2.8	3.5	18.8
22mar.2030	16:00	2.7	6.4	2	2.5	13.6
22mar.2030	17:00	2.2	5.2	1.6	2	11
22mar.2030	18:00	1.9	4.5	1.4	1.8	9.6
22mar.2030	19:00	1.7	4.1	1.3	1.6	8.7
22mar.2030	20:00	1.6	3.7	1.2	1.5	8
22mar.2030	21:00	1.4	3.5	1.1	1.4	7.4
22mar.2030	22:00	1.3	3.2	1	1.3	6.8
22mar.2030	23:00	1.3	3	1	1.2	6.5
23mar.2030	0:00	1.2	2.9	0.9	1.1	6.1
23mar.2030	1:00	0.3	0.7	0.2	0.3	1.5
23mar.2030	2:00	0.1	0.1	0	0.1	0.3
22mar.2030	3:00	0	0	0	0	0

Nota. Realizado en HEC-HMS.

La Tabla 63 presenta la precipitación total que cae sobre la cuenca alta y media (Precip), el agua que se infiltra en el terreno (Loss) y el agua que genera escorrentía superficial (Excess) en mm. La mayor escorrentía de 106.02 mm se da a las 13 horas del día 1.

Tabla 63.

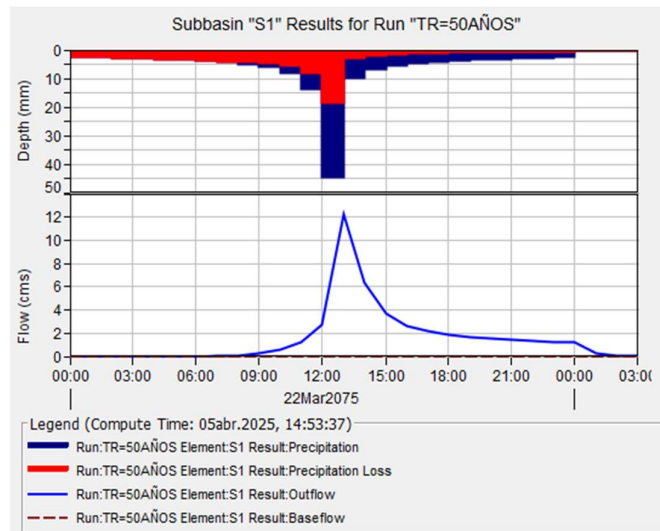
Escorrentía de la cuenca alta (50 años).

Date	Time	Total Precip (mm)	Total Loss (mm)	Total Excess (mm)
22mar.2030	00:00			
22mar.2030	01:00	9.8	9.8	0
22mar.2030	02:00	10.36	10.36	0
22mar.2030	03:00	11	11	0
22mar.2030	04:00	11.76	11.76	0
22mar.2030	05:00	12.64	12.64	0
22mar.2030	06:00	13.8	13.8	0
22mar.2030	07:00	15.24	15.19	0.02
22mar.2030	08:00	17.12	16.23	0.89
22mar.2030	09:00	19.8	17.25	2.58
22mar.2030	10:00	24	18.95	5.05
22mar.2030	11:00	31.8	22.34	9.46
22mar.2030	12:00	54.44	32.34	22.1
22mar.2030	13:00	178.72	72.7	106.02
22mar.2030	14:00	39.24	11.48	27.76
22mar.2030	15:00	27.2	7.3	19.87
22mar.2030	16:00	21.64	5.48	16.16
22mar.2030	17:00	18.36	4.41	13.91
22mar.2030	18:00	16.12	3.71	12.38
22mar.2030	19:00	14.44	3.23	11.24
22mar.2030	20:00	13.2	2.84	10.33
22mar.2030	21:00	12.2	2.56	9.63
22mar.2030	22:00	11.36	2.32	9.03
22mar.2030	23:00	10.64	2.13	8.52
23mar.2030	00:00	10.08	1.97	8.11
23mar.2030	01:00	0	0	0
23mar.2030	02:00	0	0	0
23mar.2030	03:00	0	0	0

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 89.

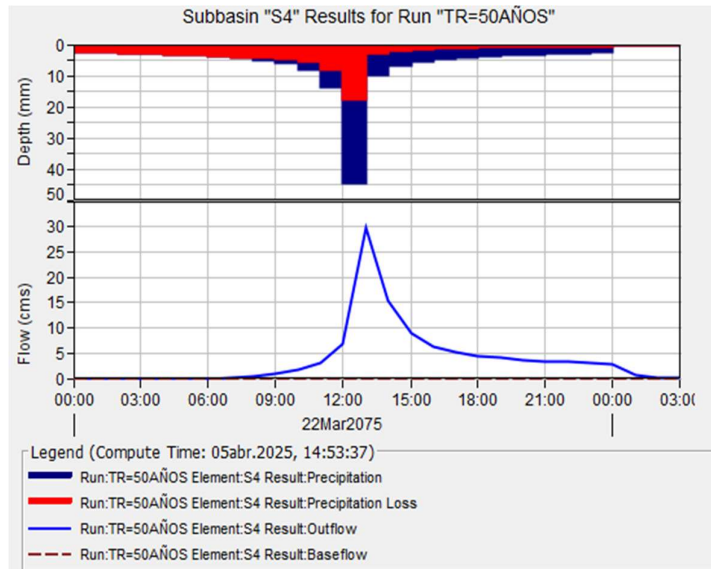
Hidrograma de la Subcuenca 1 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 90.

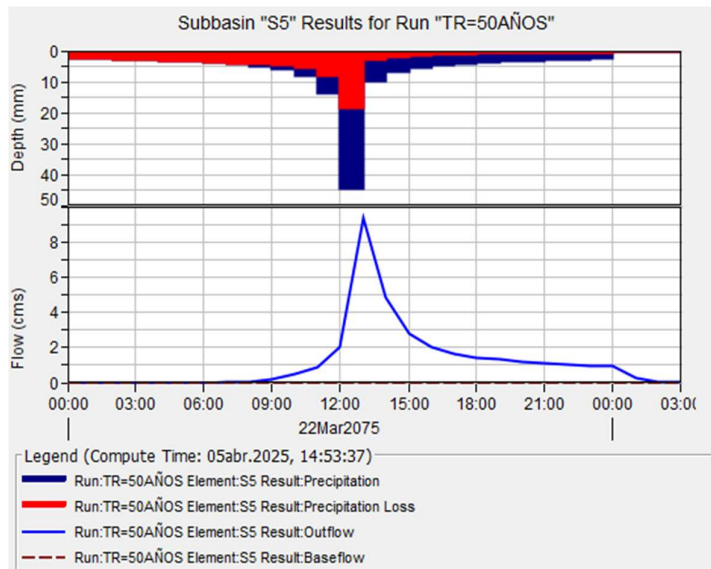
Hidrograma de la Subcuenca 4 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 91.

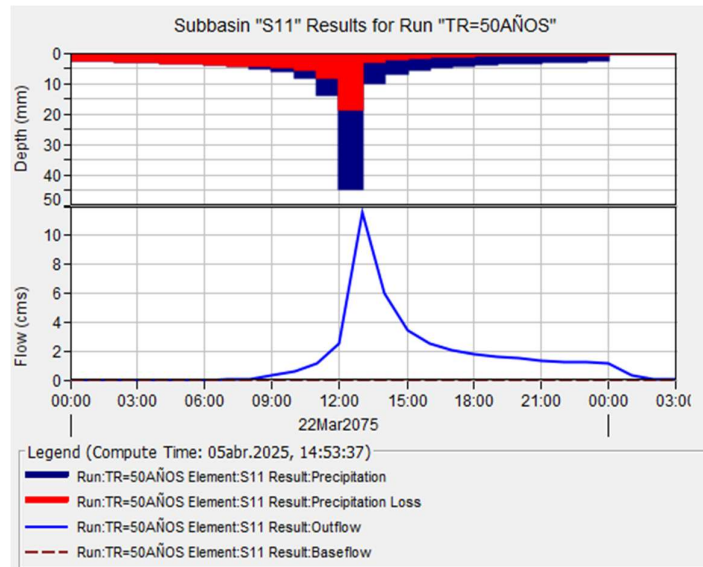
Hidrograma de la Subcuenca 5 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 92.

Hidrograma de la Subcuenca 11 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

4.3.12.2. Tramo de la Cuenca Media.

Los cálculos indican que el caudal máximo en la cuenca media por el método del Hidrograma Unitario Adimensional SCS se da a las 13 horas del día 1 con un caudal de 219.30 m³/s.

Tabla 64.

Cuenca media - Datos de Flujo de Subcuencas (50 años).

Date	Time	Subcuena 2		Subcuena 3		Subcuena 6		Subcuena 7		Subcuena 8		Subcuena 9		Subcuena 10		Subcuena 12		Subcuena 14		Subcuena 15		Subcuena 16		Total Flow (m ³ /s)	
		Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)	Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)	Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)	Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)	Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)	Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)	Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)	Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)	Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)	Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)	Direct (Flow (m ³ /s))	Subtotal (m ³ /s)		
22mar.2075	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2075	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2075	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2075	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22mar.2075	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2
22mar.2075	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.5	1.1	
22mar.2075	6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3	0.9	2.3		
22mar.2075	7:00	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	1.5	1.5	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	1.4	4		
22mar.2075	8:00	0	0	0	0	0.2	0.2	0.3	0.3	2.1	2.1	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.7	0.7	2	6.4		
22mar.2075	9:00	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	2.8	2.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	1	1	2.7	10.4		
22mar.2075	10:00	0.9	0.5	0.5	0.6	0.6	1	1	1	3.8	3.8	1.4	1.4	1.5	1.5	0.6	0.6	0.9	0.9	1.5	1.5	3.7	16.4		
22mar.2075	11:00	2.3	1	1	0.9	0.9	1.6	1.6	1.6	5.5	5.5	2.3	2.3	2.8	2.8	1	1	1.7	1.7	2.2	2.2	5.3	26.6		
22mar.2075	12:00	6.2	2.5	2.5	1.9	1.9	3.4	3.4	3.4	10	10	4.7	4.7	6.2	6.2	2	2	3.8	3.8	4.1	4.1	9.7	54.5		
22mar.2075	13:00	32.4	12.3	12.3	7.3	7.3	13.8	13.8	13.8	34.4	34.4	18.4	18.4	27.3	27.3	8	8	17.1	17.1	15	15	33.3	219.3		
22mar.2075	14:00	17.4	6.5	6.5	3.7	3.7	7	7	7	16.8	16.8	9.3	9.3	14.2	14.2	4.1	4.1	8.9	8.9	7.4	7.4	16.2	111.5		
22mar.2075	15:00	10.2	3.8	3.8	2	2	3.9	3.9	3.9	9.1	9.1	5.2	5.2	8.1	8.1	2.3	2.3	5.1	5.1	4	4	8.8	62.5		
22mar.2075	16:00	7.5	2.8	2.8	1.5	1.5	2.8	2.8	2.8	6.3	6.3	3.7	3.7	5.9	5.9	1.6	1.6	3.7	3.7	2.8	2.8	6.1	44.7		
22mar.2075	17:00	6.2	2.3	2.3	1.2	1.2	2.3	2.3	2.3	5	5	3	3	4.8	4.8	1.3	1.3	3	3	2.3	2.3	4.9	36.3		
22mar.2075	18:00	5.4	2	2	1	1	2	2	2	4.4	4.4	2.6	2.6	4.2	4.2	1.1	1.1	2.6	2.6	2	2	4.2	31.5		
22mar.2075	19:00	4.9	1.8	1.8	0.9	0.9	1.8	1.8	1.8	3.9	3.9	2.3	2.3	3.7	3.7	1	1	2.4	2.4	1.8	1.8	3.8	28.3		
22mar.2075	20:00	4.5	1.6	1.6	0.8	0.8	1.6	1.6	1.6	3.5	3.5	2.1	2.1	3.4	3.4	0.9	0.9	2.2	2.2	1.6	1.6	3.4	25.6		
22mar.2075	21:00	4.2	1.5	1.5	0.8	0.8	1.5	1.5	1.5	3.3	3.3	1.9	1.9	3.2	3.2	0.9	0.9	2	2	1.5	1.5	3.2	24		
22mar.2075	22:00	3.9	1.4	1.4	0.7	0.7	1.4	1.4	1.4	3	3	1.8	1.8	3	3	0.8	0.8	1.9	1.9	1.4	1.4	2.9	22.2		
22mar.2075	23:00	3.7	1.4	1.4	0.7	0.7	1.3	1.3	1.3	2.8	2.8	1.7	1.7	2.8	2.8	0.8	0.8	1.8	1.8	1.3	1.3	2.8	21.1		
23mar.2075	0:00	3.5	1.3	1.3	0.6	0.6	1.2	1.2	1.2	2.7	2.7	1.6	1.6	2.6	2.6	0.7	0.7	1.7	1.7	1.2	1.2	2.6	19.7		
23mar.2075	1:00	0.9	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.7	0.7	0.4	0.4	0.7	0.7	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.7	5.1		
23mar.2075	2:00	0.2	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	
23mar.2075	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

La Tabla 65 presenta la precipitación total que cae sobre la cuenca media (Precip), el agua que se infiltra en el terreno (Loss) y el agua que genera escorrentía superficial (Excess) en mm. La mayor escorrentía de 398.52 mm se da a las 13 horas del día 1.

Tabla 65.

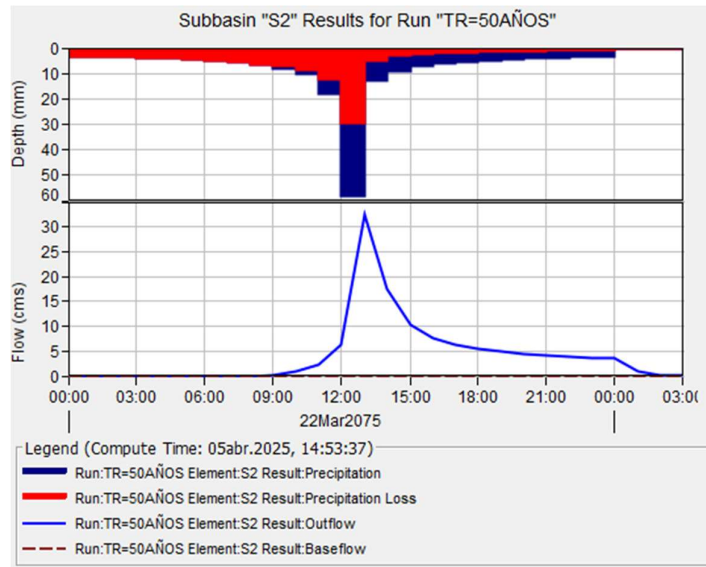
Escorrentía de la cuenca media (50 años).

Date	Time	Total Precip (mm)	Total Loss (mm)	Total Excess (mm)
22mar.2035	0:00			
22mar.2035	1:00	31.45	31.45	0
22mar.2035	2:00	33.23	33.23	0
22mar.2035	3:00	35.29	35.29	0
22mar.2035	4:00	37.74	37.28	0.46
22mar.2035	5:00	40.64	38.8	1.84
22mar.2035	6:00	44.31	40.49	3.78
22mar.2035	7:00	48.87	41.88	6.97
22mar.2035	8:00	55	43.62	11.36
22mar.2035	9:00	63.57	45.83	17.82
22mar.2035	10:00	77.04	49.46	27.63
22mar.2035	11:00	102.09	57.14	44.91
22mar.2035	12:00	174.79	80.9	93.88
22mar.2035	13:00	573.8	175.3	398.52
22mar.2035	14:00	125.97	27.03	98.94
22mar.2035	15:00	87.28	17.11	70.17
22mar.2035	16:00	69.47	12.76	56.74
22mar.2035	17:00	58.89	10.28	48.6
22mar.2035	18:00	51.71	8.63	43.05
22mar.2035	19:00	46.37	7.49	38.93
22mar.2035	20:00	42.36	6.62	35.77
22mar.2035	21:00	39.13	5.93	33.17
22mar.2035	22:00	36.46	5.38	31.06
22mar.2035	23:00	34.18	4.92	29.29
23mar.2035	0:00	32.34	4.55	27.76
23mar.2035	1:00	0	0	0
23mar.2035	2:00	0	0	0
23mar.2035	3:00	0	0	0

Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 93.

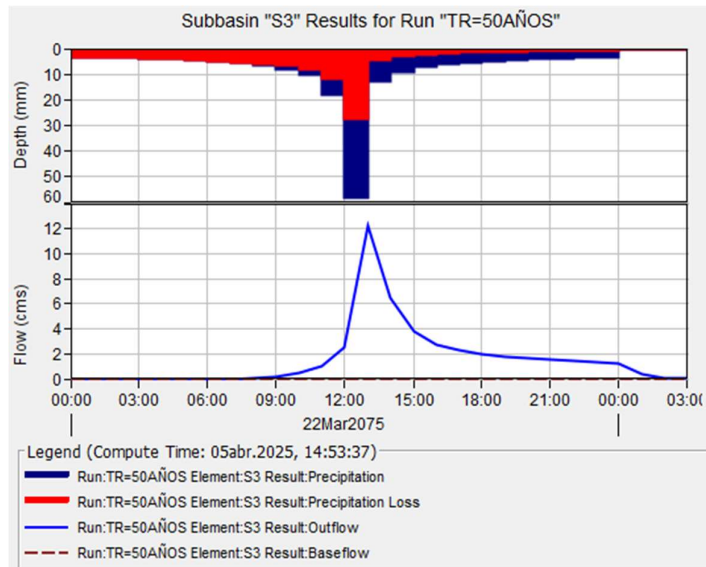
Hidrograma de la Subcuenca 2 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 94.

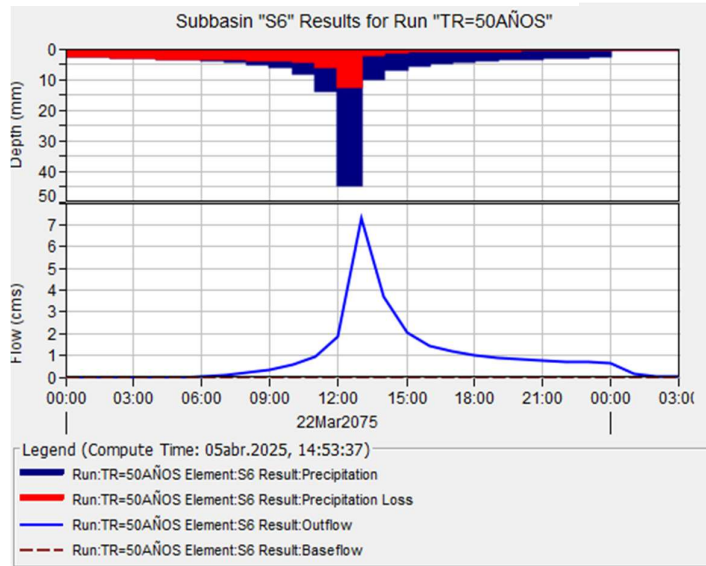
Hidrograma de la Subcuenca 3 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Figura 95.

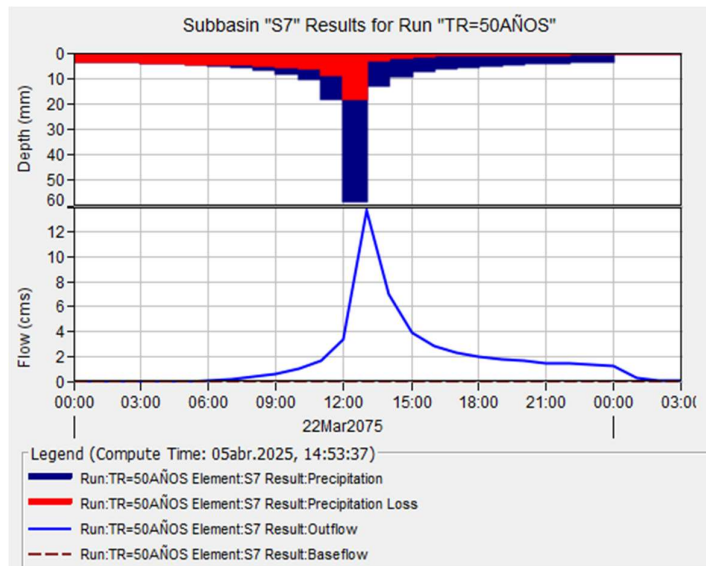
Hidrograma de la Subcuenca 6 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 96.

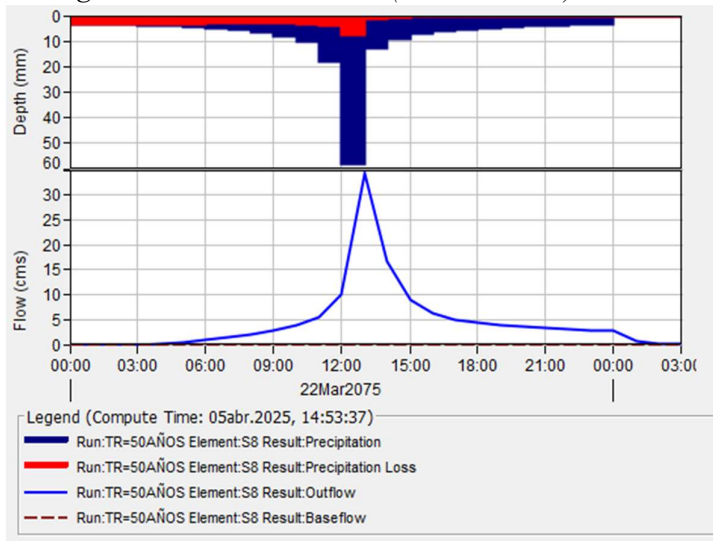
Hidrograma de la Subcuenca 7 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 97.

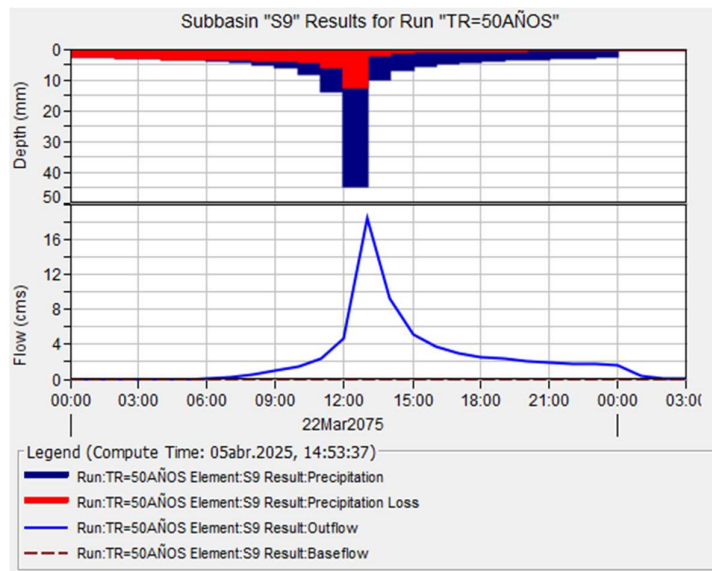
Hidrograma de la Subcuenca 8 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 98.

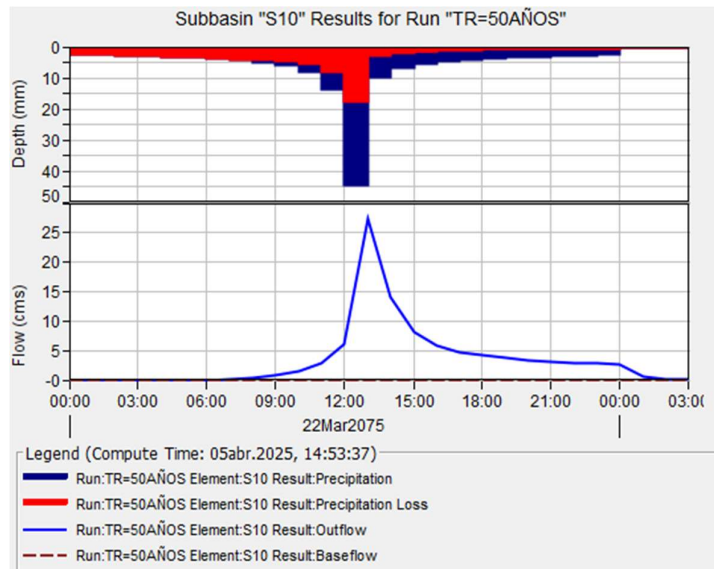
Hidrograma de la Subcuenca 9 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 99.

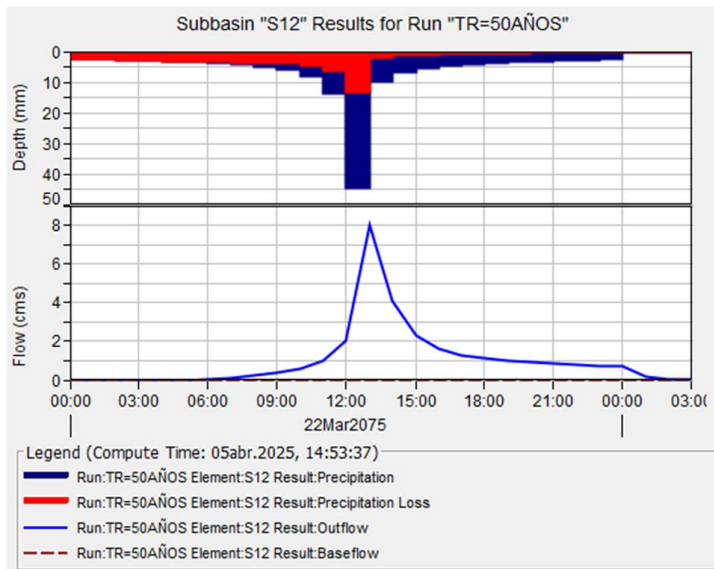
Hidrograma de la Subcuenca 10 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 100.

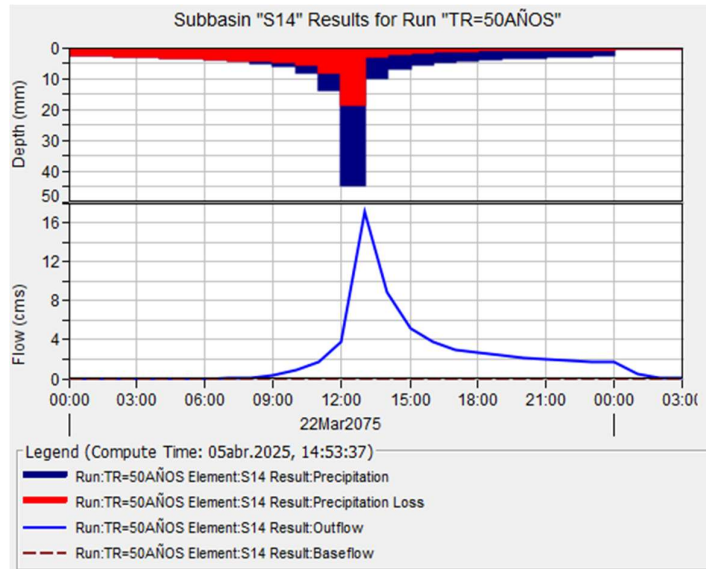
Hidrograma de la Subcuenca 12 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 101.

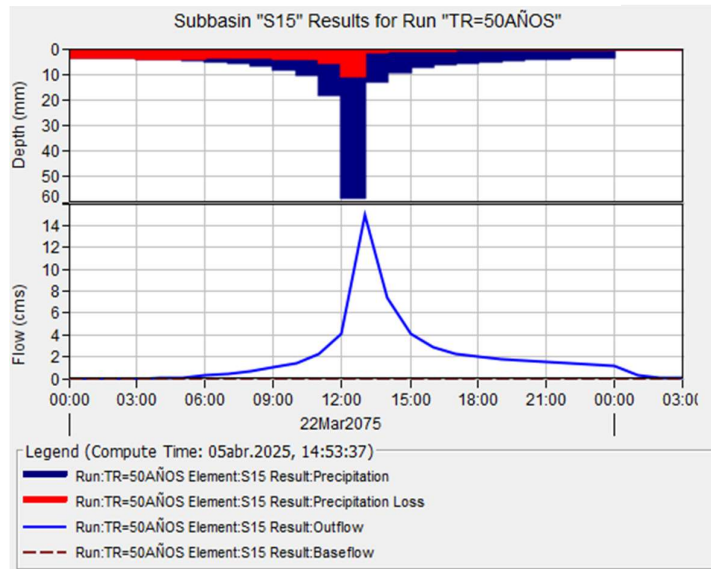
Hidrograma de la Subcuenca 14 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 102.

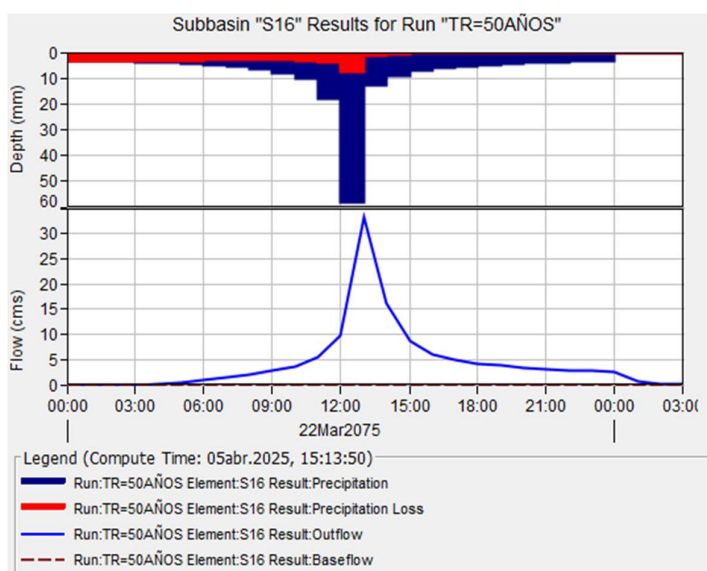
Hidrograma de la Subcuenca 15 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

Figura 103.

Hidrograma de la Subcuenca 16 (TR = 50 años).



Nota. Realizado en *HEC-HMS*.

4.3.13. Análisis de escorrentía.

En la Tabla 66 se detalla el resumen de la cantidad de agua que fluye por la superficie de la cuenca alta y media como resultado de un evento de precipitación, luego de las pérdidas iniciales como la infiltración.

Tabla 66.

Resumen de resultados de la lámina de escorrentía de la cuenca alta y media del río Manglaralto.

Cuenca del río Manglaralto	Lámina de escorrentía (mm)			
	Periodo de retorno			
	5	10	25	50
Cuenca Alta	90.19	100	212.14	293.06
Cuenca Media	387.49	546.41	832.55	1120.65
Total	477.68	646.41	1044.69	1413.71

Nota. Elaborado por el autor.

La lámina de escorrentía en las subcuencas 8 y 16 ubicadas en la cuenca media, presenta los valores más altos, coincidiendo con el área de estudio, donde se produce el mayor desbordamiento del río Dos Mangas.

Tabla 67.

Lámina de escorrentía de la subcuenca 8 y 16.

Cuenca Media del río Manglaralto	Lámina de escorrentía (mm)			
	Periodo de retorno			
	5	10	25	50
Subcuenca 8	58.87	78.70	113.05	146.55
Subcuenca 16	58.87	78.70	113.05	146.55

Nota. Elaborado por el autor.

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE. 3 – MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN FLUVIAL.

En esta modelación se presenta los resultados obtenidos del modelamiento hidráulico de un tramo de 1 km del río Dos Mangas, ubicado en la entre las subcuencas 8 y 16 de la cuenca del río Manglaralto. El tramo del río es levantado con equipo GNSS, abarcando un área de 6 hectáreas, 600 metros aguas arriba y 400 metros aguas abajo desde el punto de referencia (badén) con una franja de 30 metros a cada lado desde la orilla del río.

El modelamiento se realiza en el software HEC-RAS 6.6, utilizando como condiciones de entrada los hidrogramas generados en el Reach 5 del modelo hidrológico analizado en el software HEC-HMS 4.10. De esta manera, se simulan los caudales máximos generados durante estos eventos, permitiendo evaluar el comportamiento hidráulico del río Dos Mangas ante crecidas extremas.

Figura 104.

Superficie TIN del tramo de estudio.



Nota. Levantamiento con equipo GNSS. La superficie TIN es elaborado en ArcGIS con una resolución espacial de 0.5 metros por píxel, escala 1:2.531

En este evento de simulación de inundación se establecen las siguientes condiciones, considerando los siguientes parámetros.

Geometría:

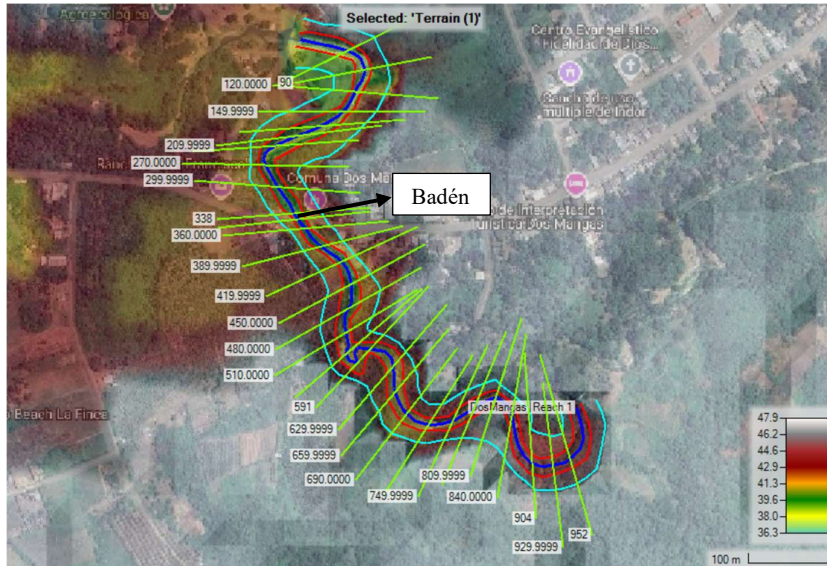
- Longitud de tramo: 1 km
- Número de secciones transversales: 31
- Longitud de las secciones transversales: 200 m
- Distancia entre las secciones transversales: 30 m

Condiciones de frontera:

- Flujo no permanente (hidrogramas)
- Pendiente del tramo: 0.006
- Coeficiente de Manning: Margen Izquierdo y Margen Derecho: 0.028. Margen Central: 0.030.
- Variación de los coeficientes de contracción en estructuras viales: Contracción 0.1 y Expansión 0.3.

Figura 105.

Secciones transversales.

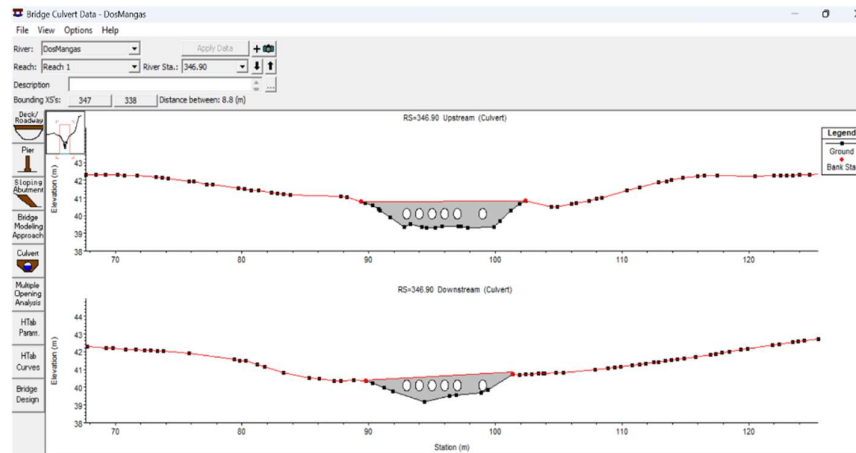


Nota. Elaborado en *RAS Mapper* del software *HEC-RAS*.

La modelación del badén se realiza en el tramo comprendido entre las secciones transversales 0+347 y 0+338. La representación hidráulica se incorpora en el modelo de HEC-RAS con el objetivo de simular su comportamiento ante eventos de crecida y analizar su capacidad de evacuación bajo condiciones extremas de caudal.

Figura 106.

Modelación del badén.



Nota. Elaborado en el software *HEC-RAS*.

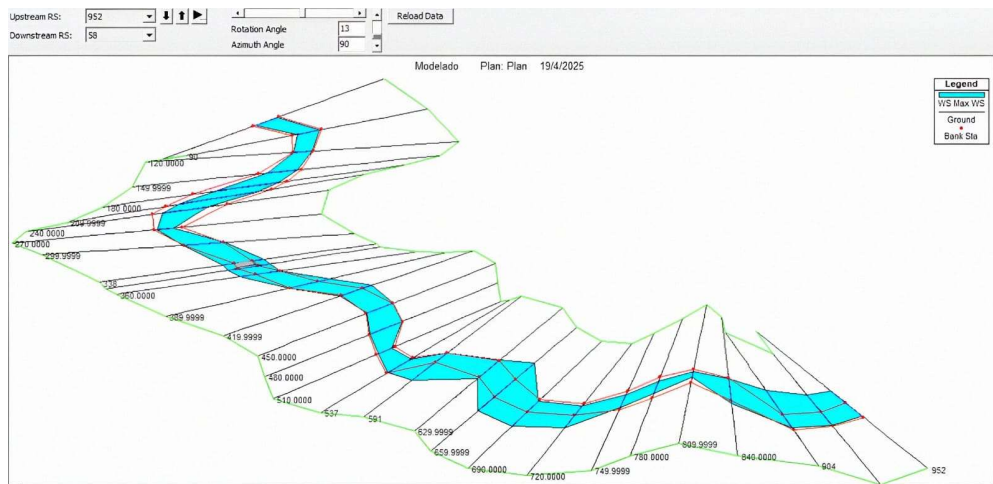
4.4.1. Simulación Hidráulica.

4.4.1.1. Simulación del Escenario 1.

Para el escenario 1, se analizó el riesgo de inundación para un periodo de retorno de 5 años. Las Figuras 107 y 108 muestran el comportamiento del río y el mapa de inundación.

Figura 107.

Plano de inundación TR = 5 años.



Nota. Elaborado en el software *HEC-RAS*.

Figura 108.

Mapa de inundación Dos Mangas TR = 5 años.

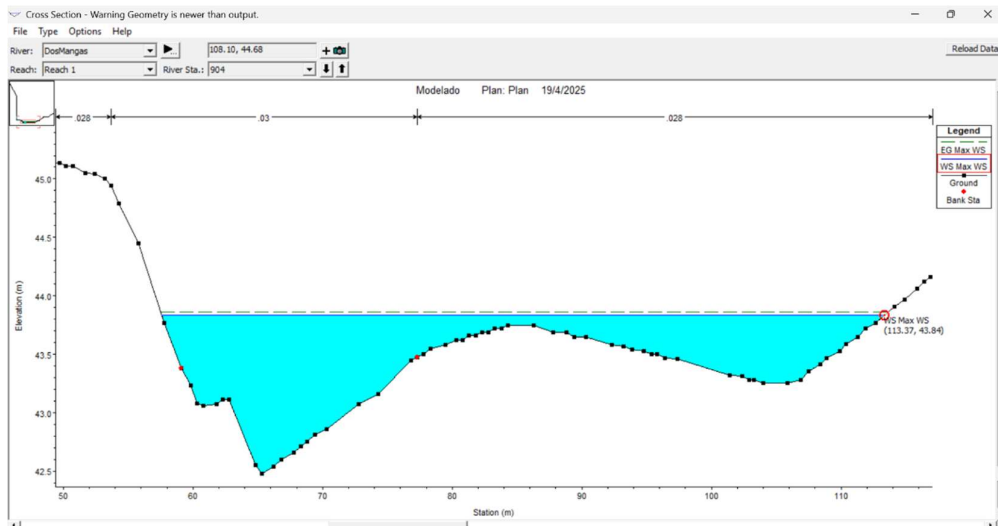


Nota. Elaborado en el software *HEC-RAS*.

Los resultados de la simulación demuestran que el nivel del agua supera los márgenes del cauce, generando un desbordamiento del río hacia las zonas boscosas y afectando parte de la vía incluido el badén que da acceso a la comuna.

Figura 109.

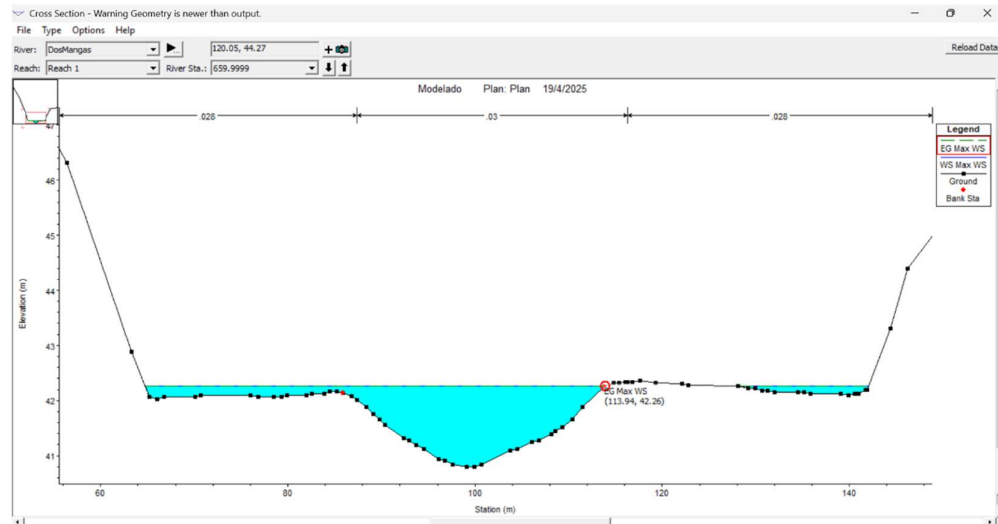
Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+904.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 110.

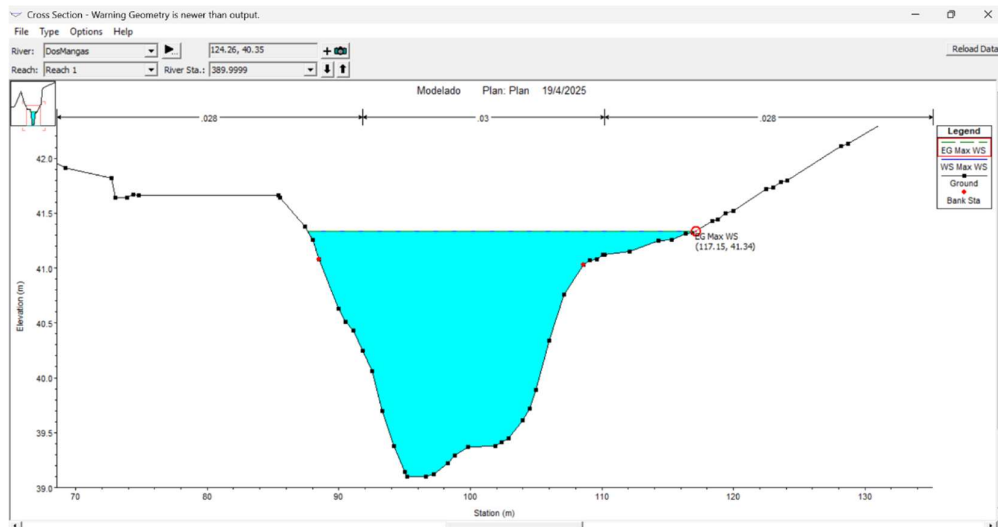
Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+660.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 111.

Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+390.

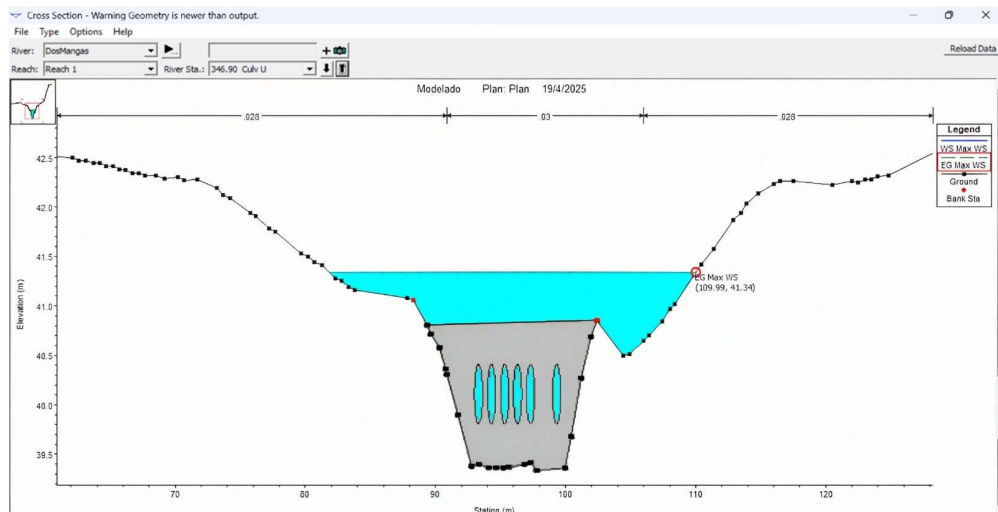


Nota. Generado por HEC-RAS.

El badén se localiza entre las secciones transversales 0+347 y 0+338 (Figura 112 y 113), donde, según los resultados de la simulación se presenta un desbordamiento que genera una lámina de agua de 0.48 metros sobre el nivel del cauce normal. Esta inundación afecta aproximadamente 28 metros de vía, incluyendo el badén.

Figura 112.

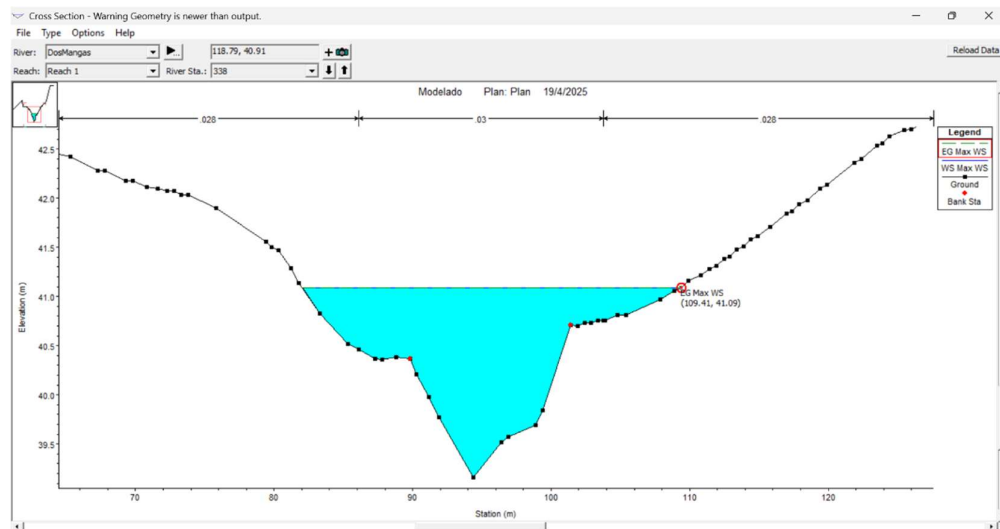
Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+346.90 Culv U.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 113.

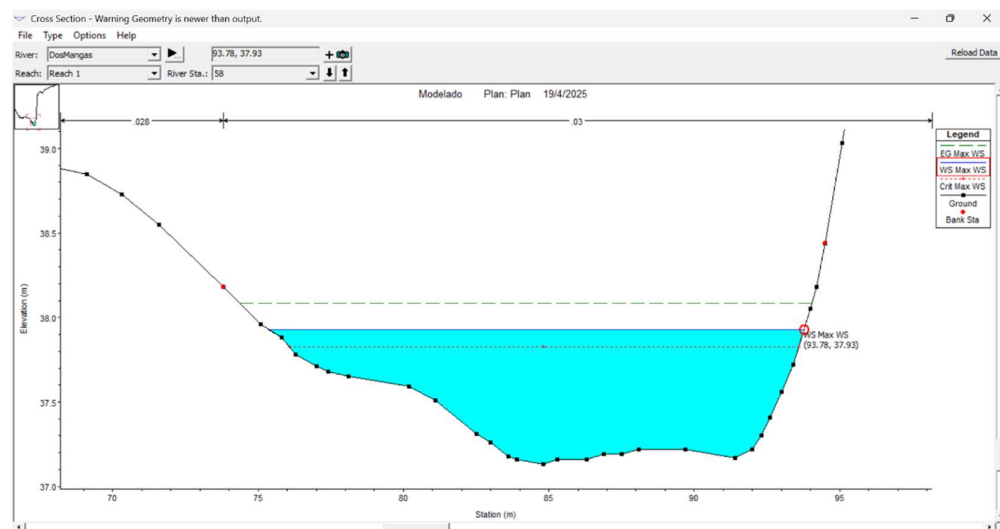
Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+338.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 114.

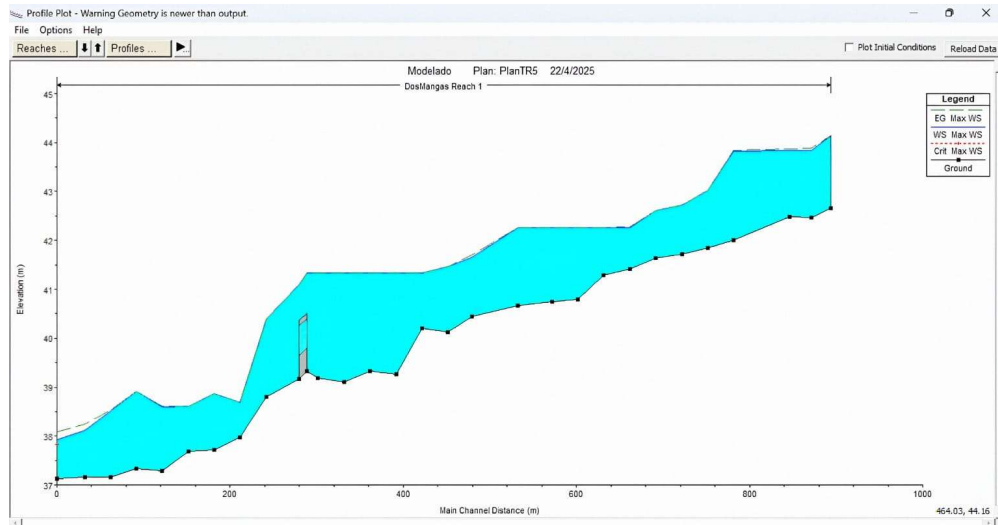
Inundación a los 5 años del río Dos Mangas en la sección 0+058.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 115.

Perfil Longitudinal a los 5 años del río - Dos Mangas.



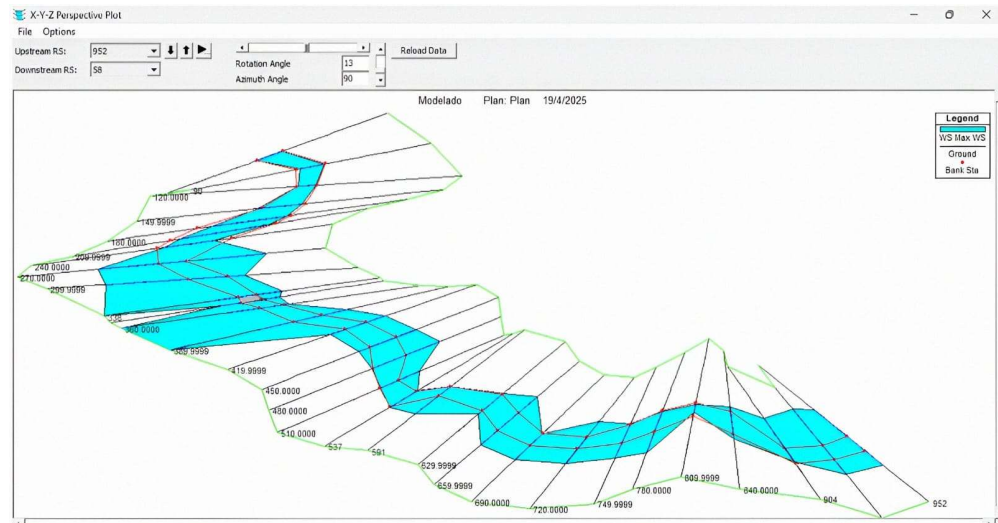
Nota. Generado por HEC-RAS.

4.4.1.2. Simulación del Escenario 2.

En el escenario 2, se analiza el riesgo de inundación para un periodo de retorno de 10 años. Las Figuras 116 y 117 muestran el comportamiento del río y el mapa de inundación.

Figura 116.

Plano de inundación TR = 10 años.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 117.

Mapa de inundación Dos Mangas TR = 10 años.

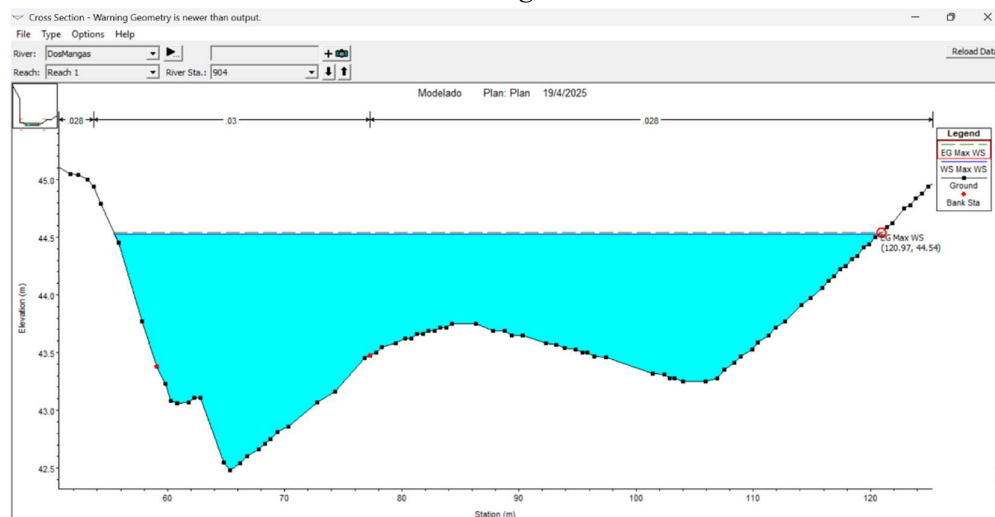


Nota. Generado por HEC-RAS.

El comportamiento del flujo muestra que el nivel del agua sobrepasa los márgenes del cauce, especialmente en zonas donde el río es sinuoso, característica que favorecen el desbordamiento debido a la acumulación local de caudal y a la redirección del flujo.

Figura 118.

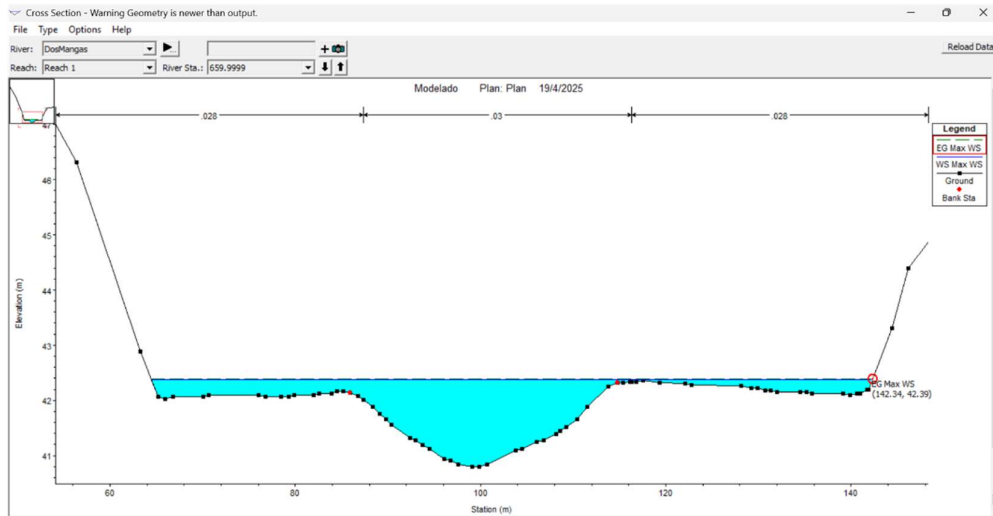
Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+904.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 119.

Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+660.

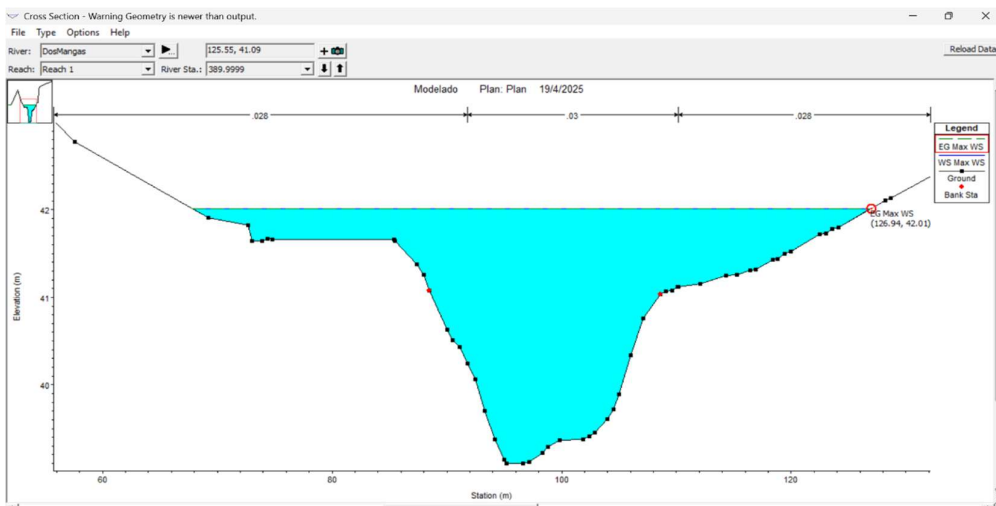


Nota. Generado por HEC-RAS.

En la sección transversal 0+390 (Figura 120), ubicada en las proximidades de una vivienda y zonas de cultivo, se evidencia que el desbordamiento del río afecta ambos márgenes. En el lateral derecho, el flujo alcanza parcialmente la infraestructura de una vivienda, mientras que en el lateral izquierdo inunda parte de los cultivos, con una lámina de agua aproximada de 0.35 metros.

Figura 120.

Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+390.

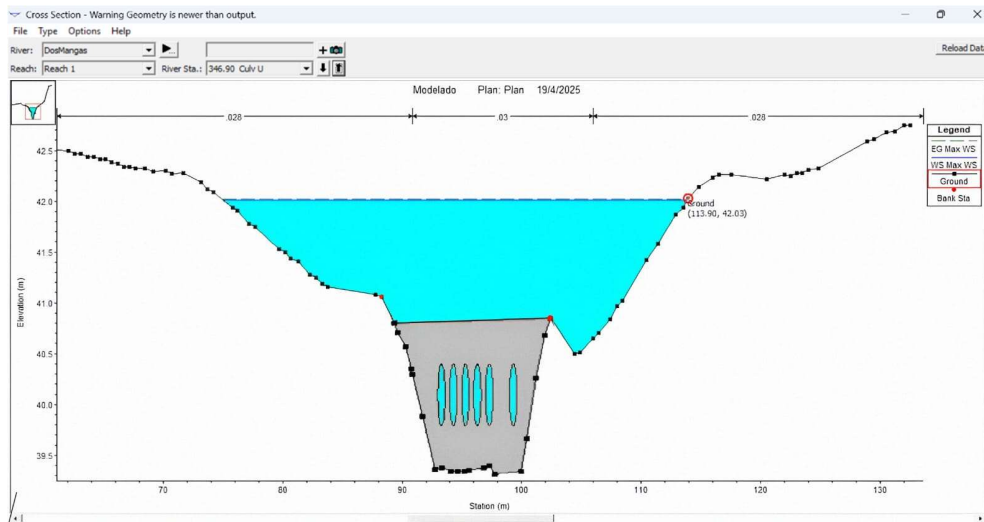


Nota. Generado por HEC-RAS.

El badén se localiza entre las secciones transversales 0+338 y 0+347 (Figura 121 y 122), donde, según los resultados de la simulación se presenta un desbordamiento que genera una lámina de agua de 1.18 metros. Esta inundación afecta aproximadamente 39 metros de vía, incluyendo el badén.

Figura 121.

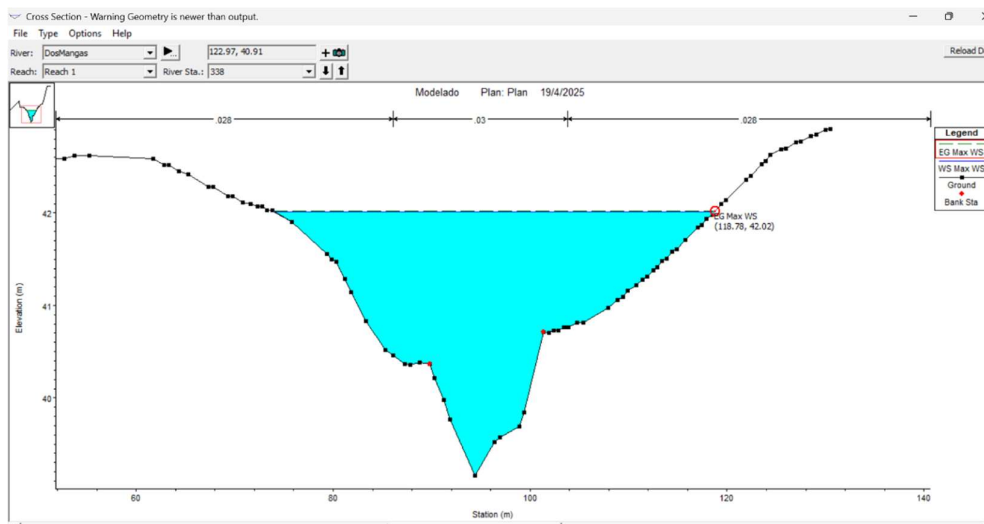
Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+346.90 Culv U.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 122.

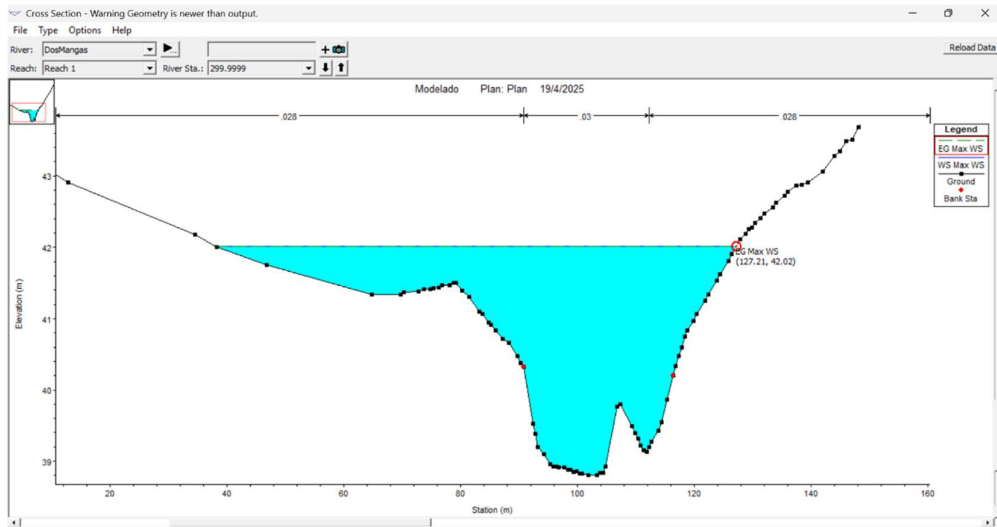
Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+338.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 123.

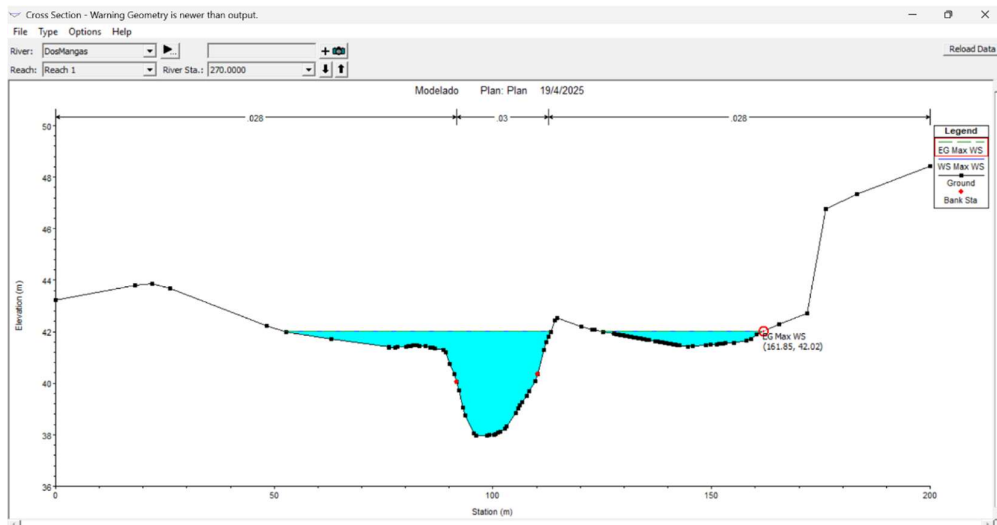
Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+300.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 124.

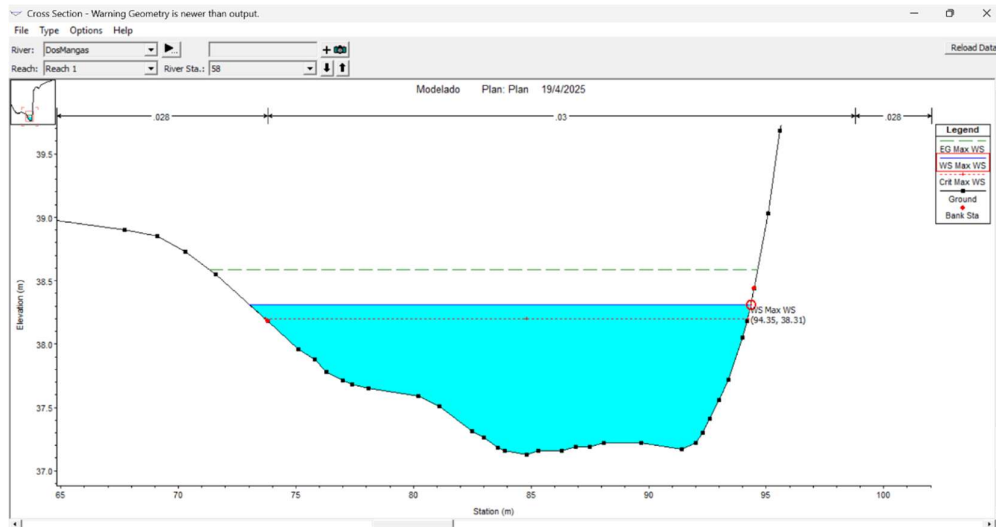
Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+270.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 125.

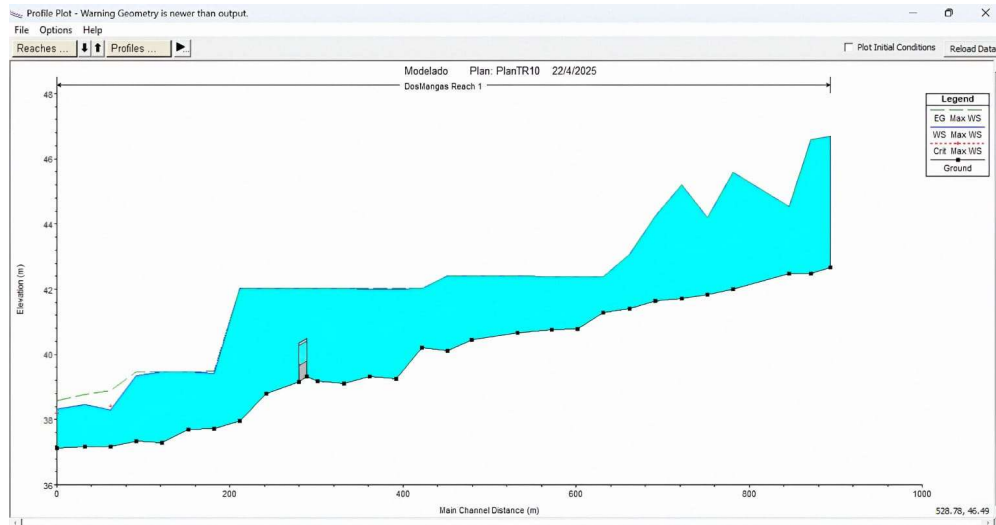
Inundación a los 10 años del río Dos Mangas en la sección 0+058.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 126.

Perfil Longitudinal a los 10 años del río - Dos Mangas.



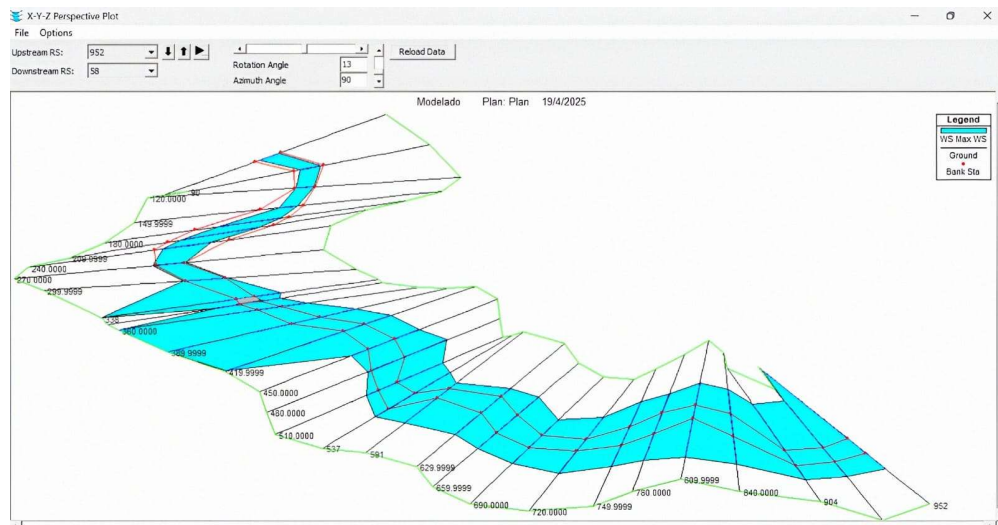
Nota. Generado por HEC-RAS.

4.4.1.3. Simulación del Escenario 3.

En el escenario 3 se analiza el riesgo de inundación para un periodo de retorno de 25 años. Las Figuras 127 y 128 muestran el comportamiento del río y el mapa de inundación.

Figura 127.

Plano de inundación TR = 25 años.



Nota. Elaborado en HEC-RAS.

Figura 128.

Mapa de inundación Dos Mangas TR = 25 años.

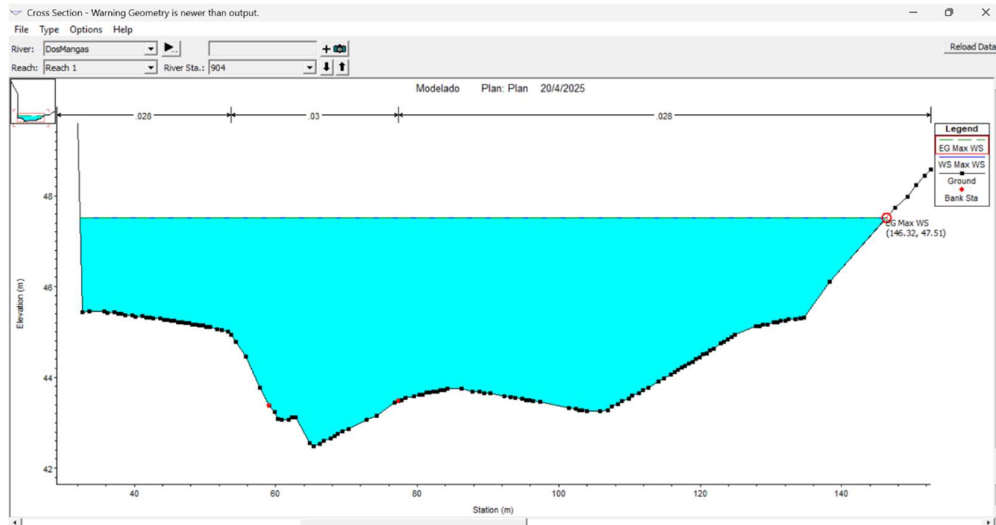


Nota. Generado por RAS Mapper – HEC-RAS.

Los resultados de la simulación del escenario tres muestran que el nivel del agua supera los márgenes del cauce, lo que provoca un desbordamiento hacia las zonas boscosas, áreas agrícolas y viviendas cercanas al río, incluido la vía y el badén que da acceso a la comuna.

Figura 129.

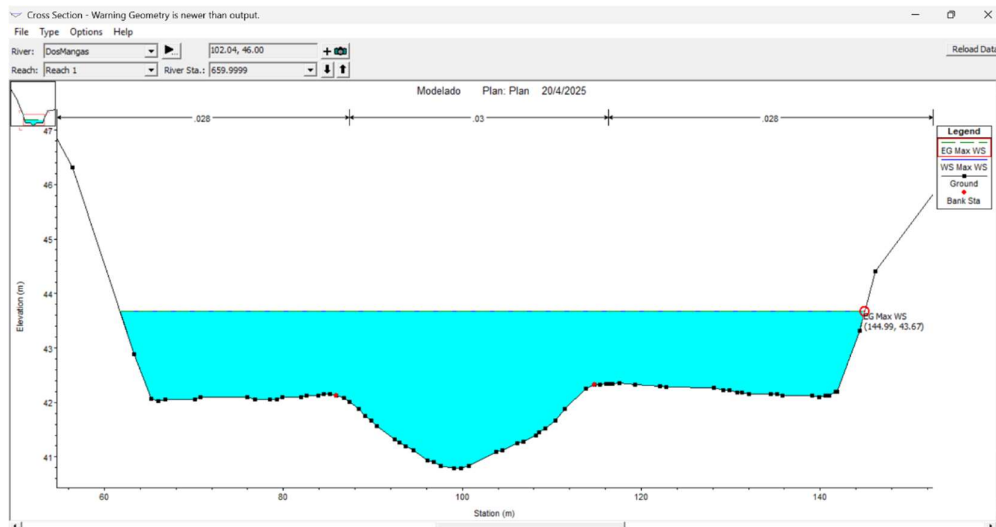
Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+904.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 130.

Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+660.

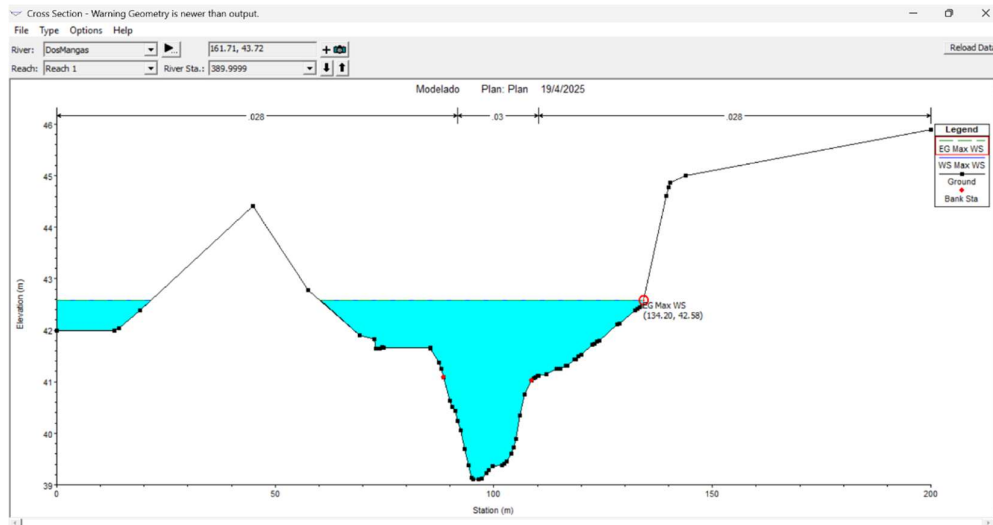


Nota. Generado por HEC-RAS.

Para el periodo de retorno de 25 años, en la sección transversal 0+390 (Figura 131), la lámina de inundación en el margen derecho cubre casi en su totalidad una vivienda y alcanza una profundidad aproximada de 0.92 m sobre los cultivos en el margen izquierdo.

Figura 131.

Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+390.

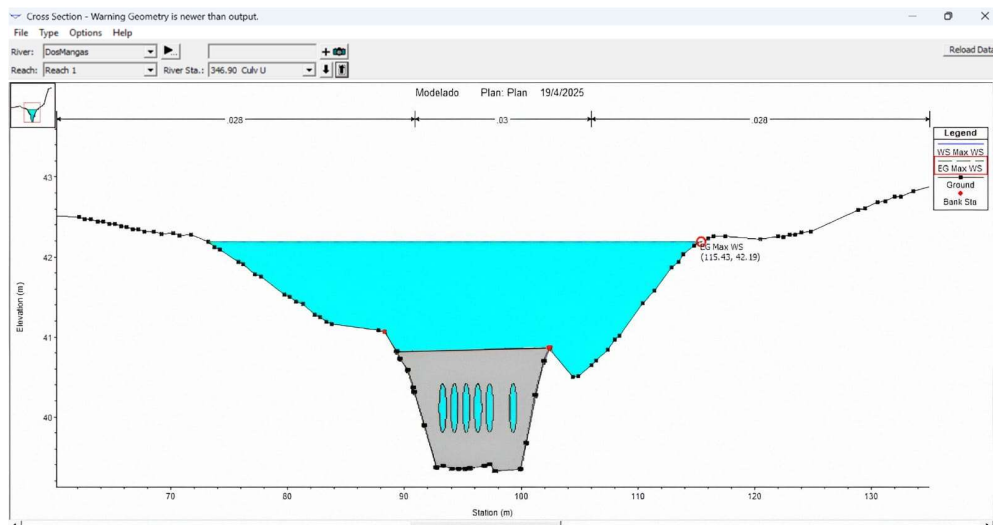


Nota. Generado por HEC-RAS.

El badén se localiza entre las secciones transversales 0+338 y 0+347 (Figura 132 y 133), donde, según los resultados de la simulación se presenta un desbordamiento que genera una lámina de agua de 1.34 metros. Esta inundación afecta aproximadamente 42 metros de vía, incluyendo el badén.

Figura 132.

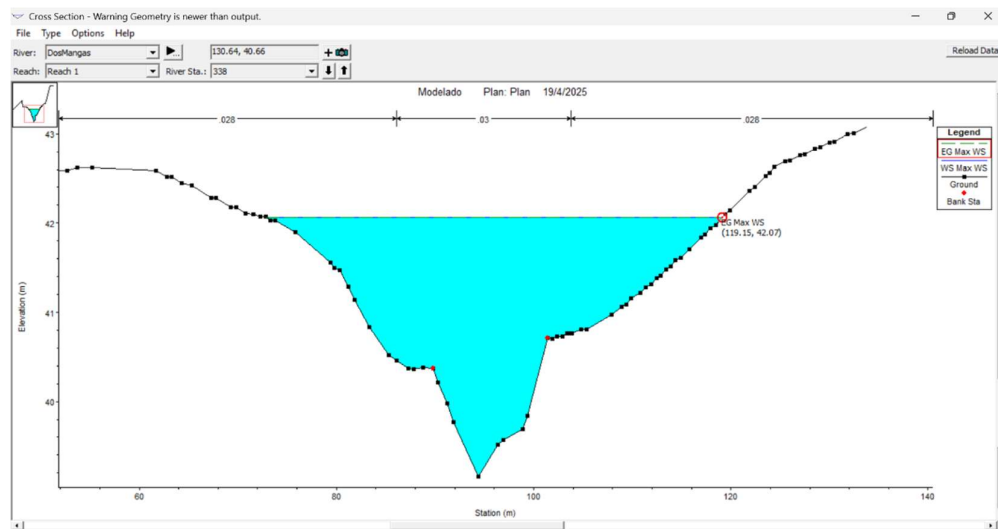
Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+346.90 Culv U.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 133.

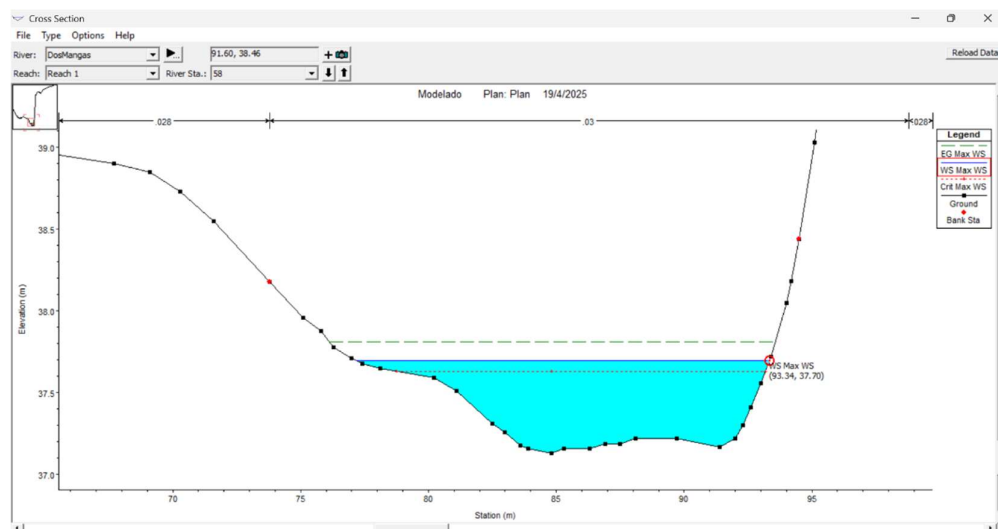
Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+338.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 134.

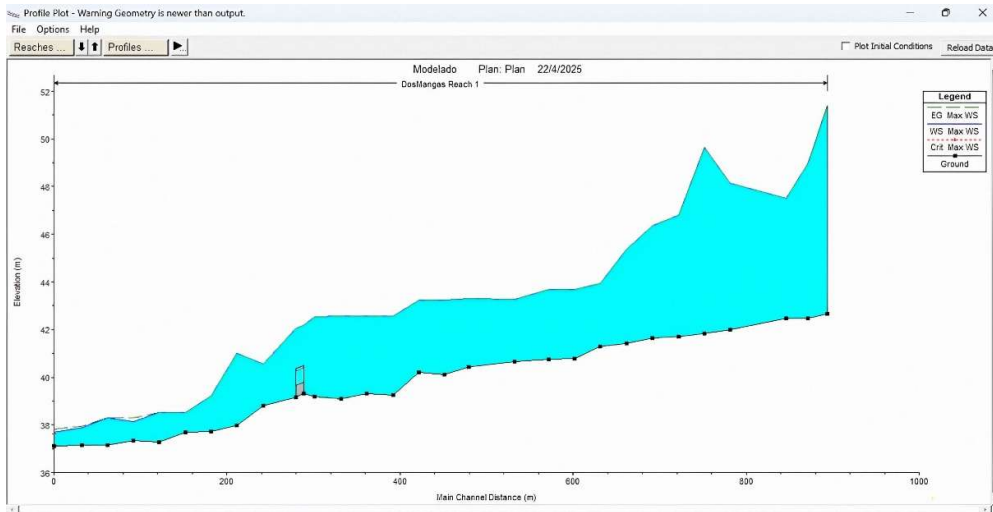
Inundación a los 25 años del río Dos Mangas en la sección 0+058.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 135.

Perfil Longitudinal a los 25 años del río - Dos Mangas.



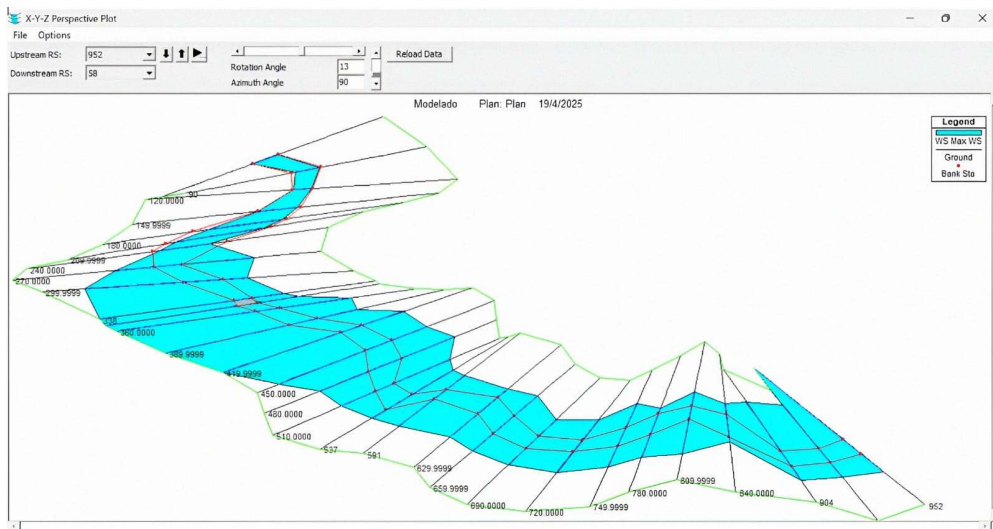
Nota. Generado por *HEC-RAS*.

4.4.1.4. Simulación del Escenario 4.

En el escenario 4 se analiza el riesgo de inundación para un periodo de retorno de 50 años. Las Figuras 136 y 137 muestran el comportamiento del río y el mapa de inundación.

Figura 136.

Plano de inundación TR = 50 años.



Nota. Generado por *HEC-RAS*.

Figura 137.

Mapa de inundación Dos Mangas TR = 50 años.

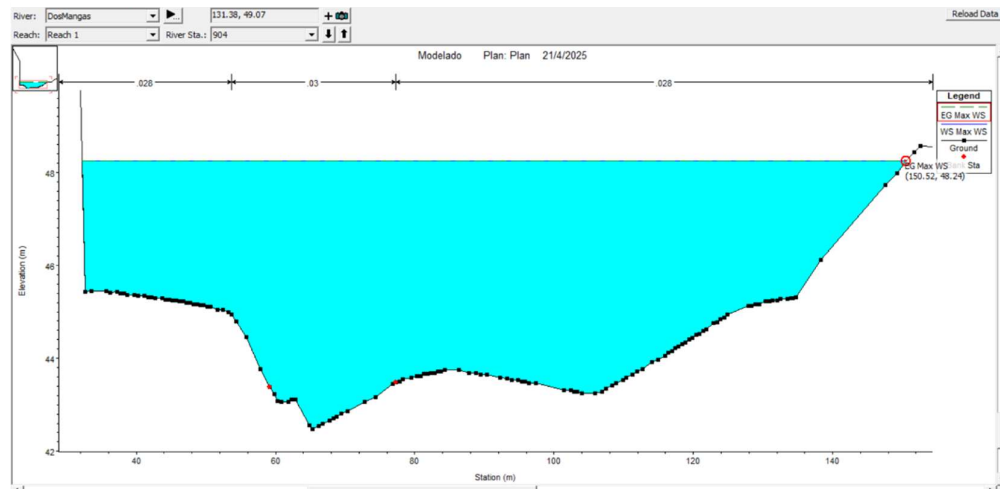


Nota. Generado por *HEC-RAS*.

Los resultados de la simulación evidencian un evento crítico de inundación. La lámina de agua alcanza los 2.00 metros de profundidad, extendiéndose hacia las viviendas, zonas agrícolas, áreas boscosas y cubriendo gran parte de la vía principal.

Figura 138.

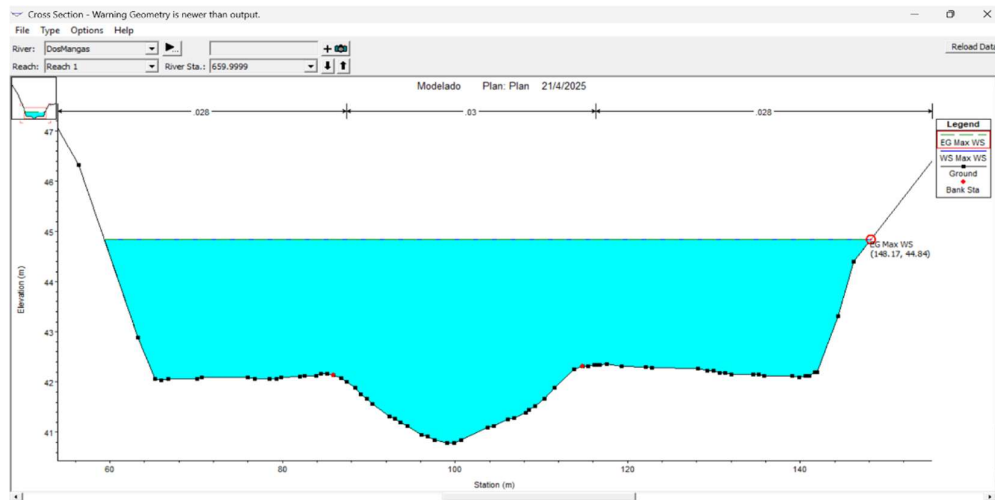
Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+904.



Nota. Generado por *HEC-RAS*.

Figura 139.

Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+660.

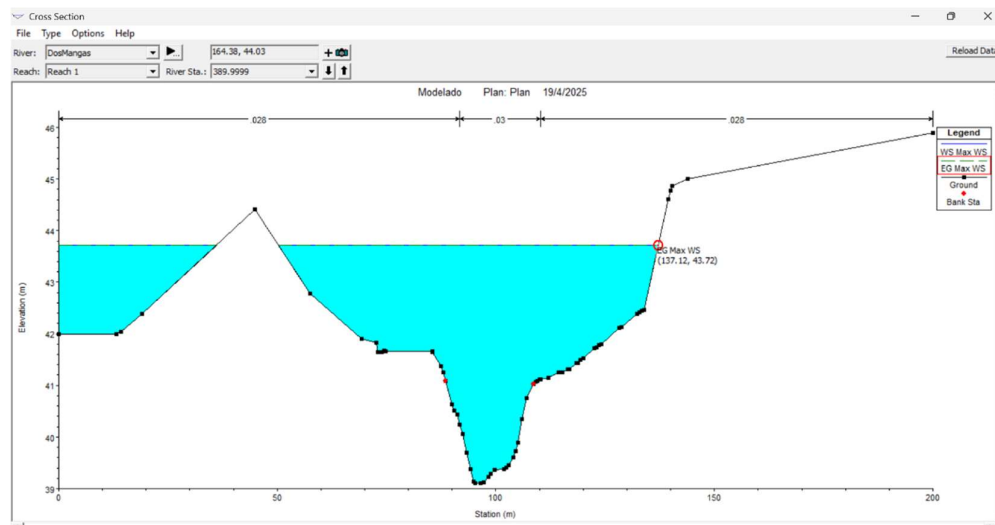


Nota. Generado por HEC-RAS.

En la sección transversal 0+390 (Figura 140), la lámina de inundación cubre completamente una vivienda y alcanza otras estructuras cercanas, evidenciando un impacto directo sobre el área habitada. En el margen izquierdo, el flujo supera los cultivos con una profundidad aproximada de 2.00 metros.

Figura 140.

Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+390.

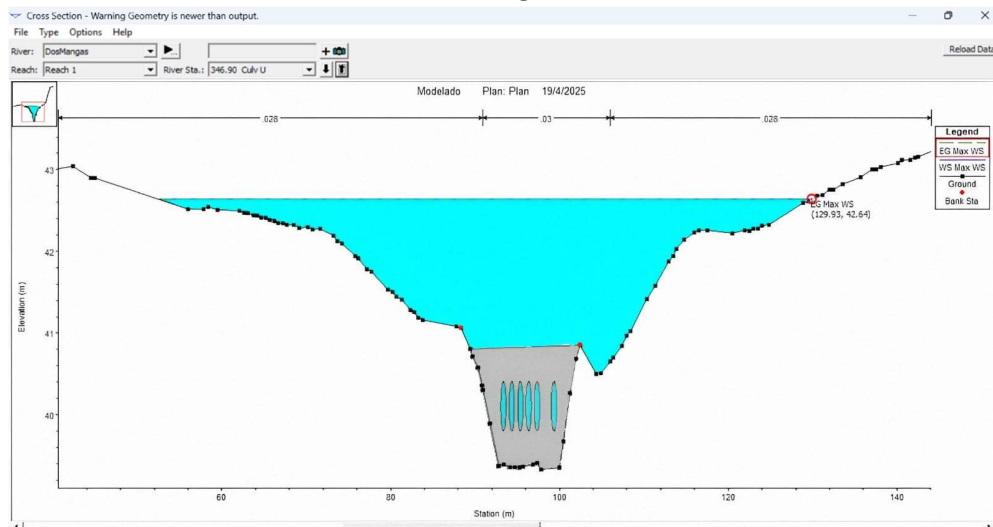


Nota. Generado por HEC-RAS.

El badén se localiza entre las secciones transversales 0+338 y 0+347 (Figura 141 y 142), donde, según los resultados de la simulación se presenta un desbordamiento que genera una lámina de agua de 1.79 metros sobre el nivel del cauce normal. Esta inundación afecta aproximadamente 77 metros de vía, incluyendo el badén.

Figura 141.

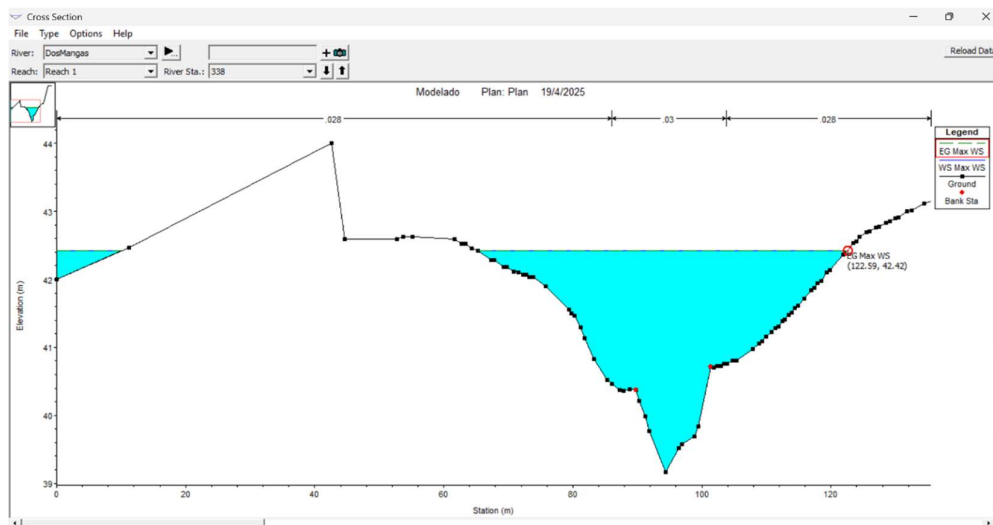
Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+346.90 Culv U.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 142.

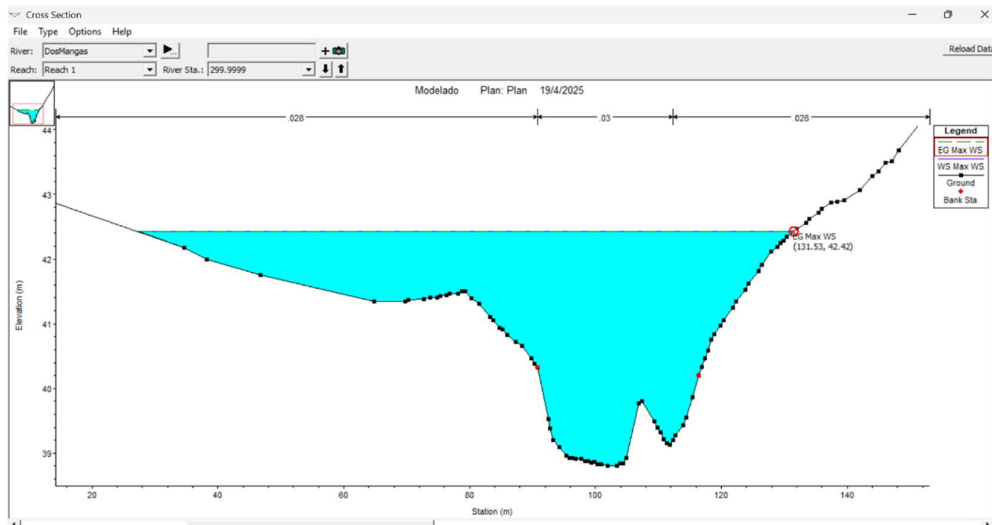
Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+338.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 143.

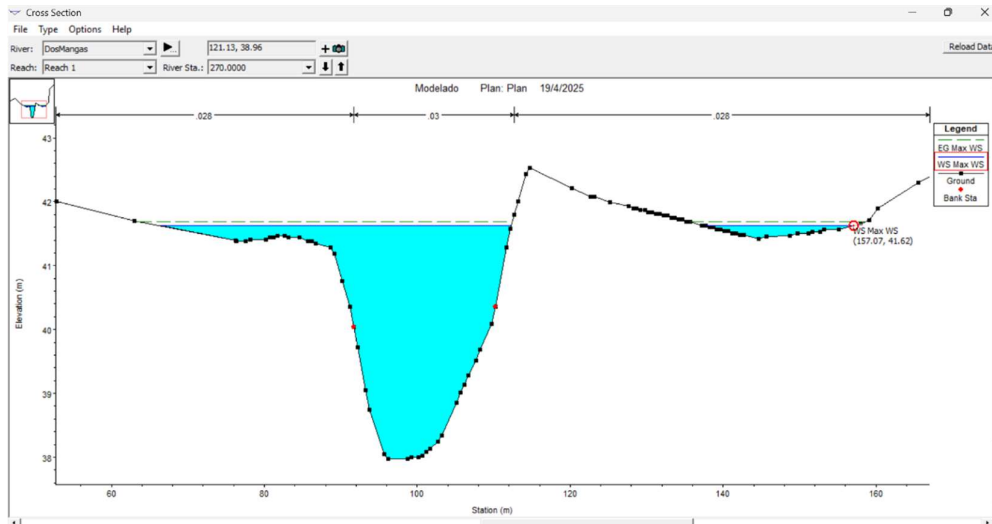
Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+300.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 144.

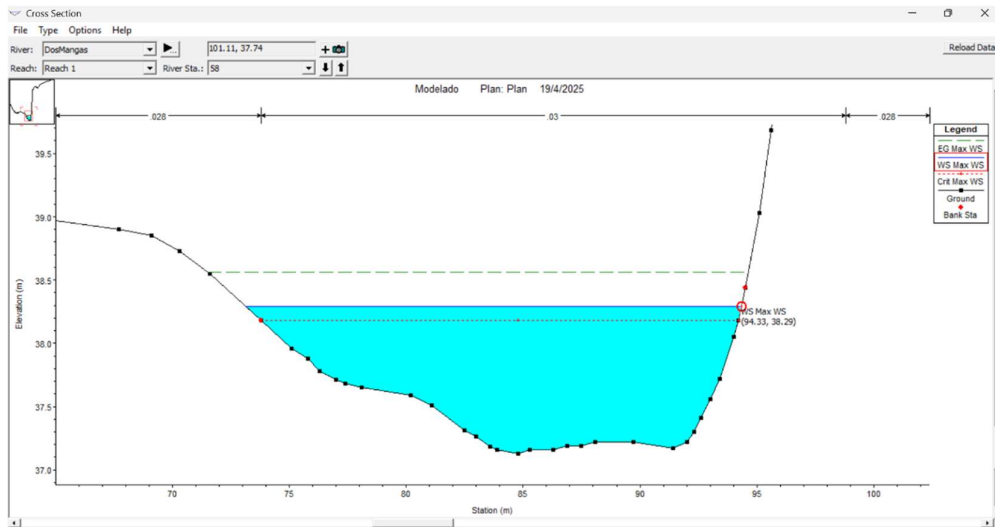
Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+270.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 145.

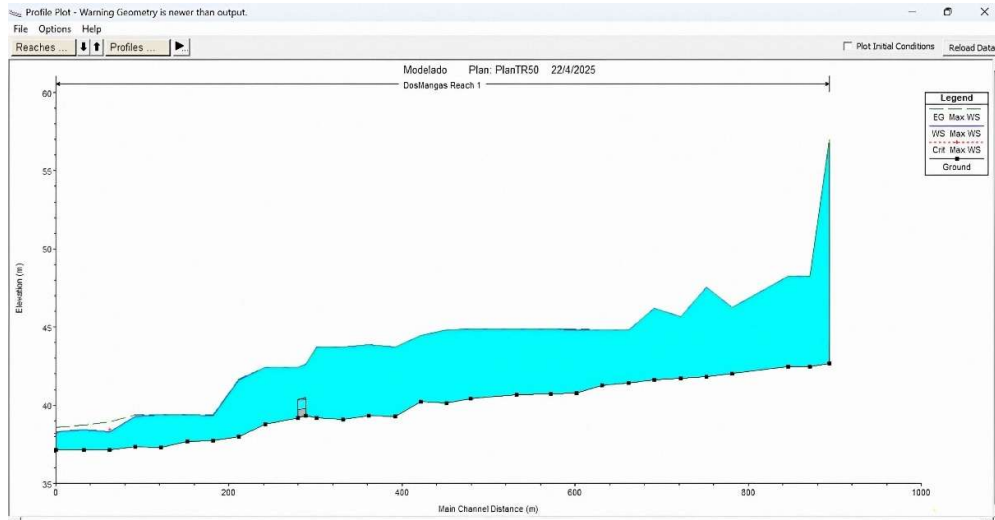
Inundación a los 50 años del río Dos Mangas en la sección 0+058.



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 146.

Perfil Longitudinal a los 50 años del río - Dos Mangas.



Nota. Generado por HEC-RAS.

4.4.2. Estrategias de restauración fluvial.

4.4.2.1. Diseño de defensas ribereñas – Diques laterales enrocados.

Dentro de la herramienta River se dispone de dos tipos de diseño de obras: espigones y defensas laterales. Para este trabajo de investigación se utiliza el tipo de defensa enrocada lateral.

En la Figura 147 se muestra el ingreso de los datos necesarios para iniciar el cálculo del dimensionamiento de la defensa ribereña, considerando un periodo de retorno de 50 años, un caudal máximo de 59.8 m³/s y una pendiente del río del 0.60%. Para el cálculo del ancho estable del cauce (B), la herramienta River considera cinco métodos: Recomendación práctica, Método de Petits, Método de Simons y Henderson, Método de Blench y Altunin y el Método de Manning y Strickler. La Figura 147 muestra los resultados obtenidos por el método de recomendación práctica.

Figura 147.

Cálculo del ancho estable del cauce (B) por el Método Recomendación Práctica.



Nota. Obtenido de la herramienta *River*.

La Figura 148 muestra los resultados obtenidos por el método de Petits.

Figura 148.

Cálculo del ancho estable del cauce (B) por el Método de Petits.



Nota. Obtenido de la herramienta River.

La Figura 149 muestra los resultados obtenidos por el método de Simons y Henderson.

Figura 149.

Cálculo del ancho estable del cauce (B) por el Método de Simons y Henderson.



Nota. Obtenido de la herramienta River.

La Figura 150 muestra los resultados obtenidos por el método de Blench y Altunin.

Figura 150.

Cálculo del ancho estable del cauce (B) por el Método de Blench y Altunin.



Nota. Obtenido de la herramienta *River*.

La Figura 151 muestra los resultados obtenidos por el método de Manning y Strickler.

Figura 151.

Cálculo del ancho estable del cauce (B) por el Método de Manning y Strickler.



Nota. Obtenido de la herramienta *River*.

En la Tabla 68 se evidencia el resumen de los cinco métodos.

Tabla 68.

Tabla resumen de ancho entable para un periodo de retorno de 50 años.

Método	Ancho B (m) (Q = 59.8 m ³ /s) para un periodo de retorno de 50 años
Recomendación práctica	18.30
Método de Pettits	34.33
Método Simins y Henderson	32.48
Método de Blench y Altunin	22.86
Método Manning y Strickler	30.42

Nota. Elaborado por el autor.

Mediante el uso del método de Manning, se calcula los elementos hidráulicos necesarios para el diseño del dique (Sección Teórica del Cauce). En la Figura 152, se muestra las dimensiones y el diseño preliminar sugerido con su ancho de corona, altura del dique, altura de enrocado, altura y ancho de la uña, para ambos diques en tramo recto y curvo.

Figura 152.

Dimensiones y Diseño preliminar Sugerido del dique recto y curvo.



Nota. Obtenido de la herramienta River.

Tabla 69.

Dimensionamiento de las defensas ribereñas.

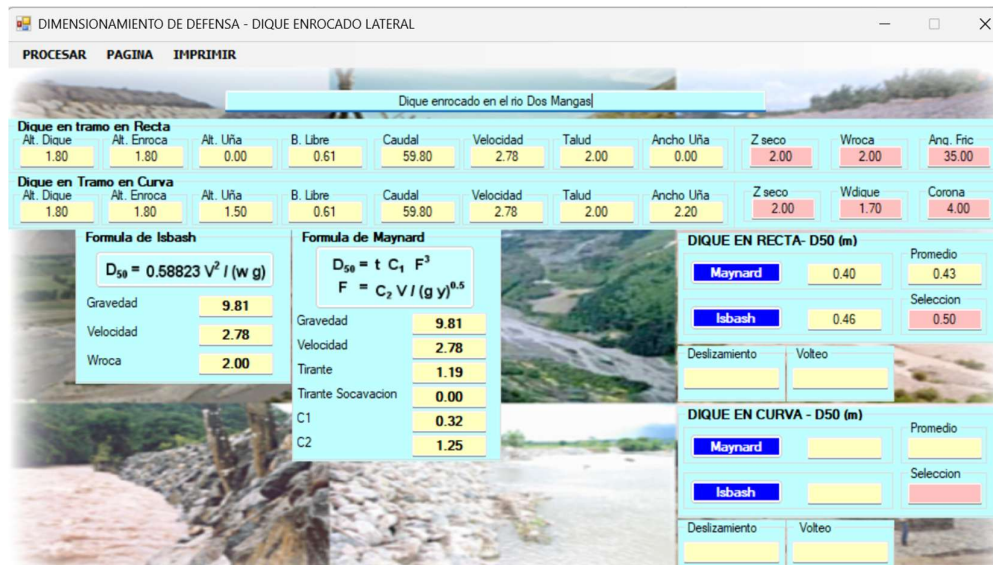
Según River	Dique en tramo recto	Dique en tramo curvo
Tirante de socavación (m)	0	2.59
Profundidad de socavación (m)	0	1.40
Altura de Uña (m)	0	1.50
Altura de Dique (m)	1.80	1.80
Altura Total (m)	1.80	3.30

Nota. Elaborado por el autor.

Para el cálculo del dimensionamiento del enrocado, River utiliza dos fórmulas, Isbash y Maynard. Por efectos de cálculo de software, considera que el diámetro de la roca es el promedio de los datos del programa. Las Figuras 153 y 154 muestra el diseño final del dimensionamiento del dique enrocado en recta.

Figura 153.

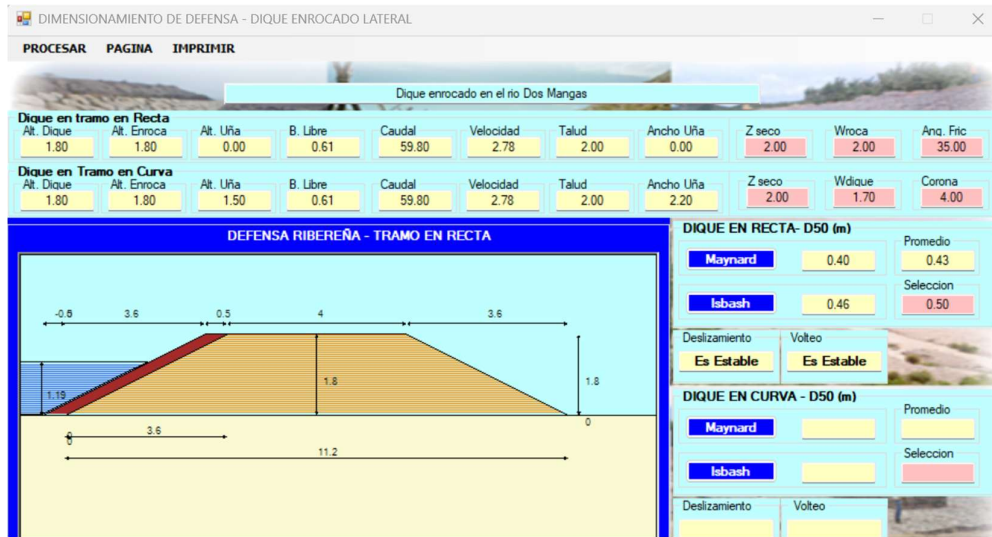
Dimensionamiento del enrocado en recta.



Nota. Obtenido de la herramienta River.

Figura 154.

Diseño final del enrocado en recta.

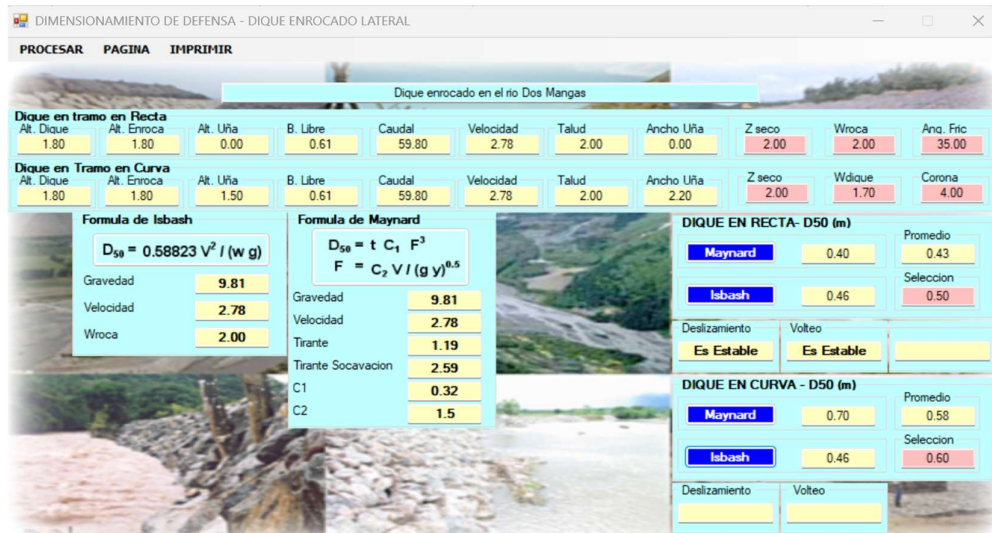


Nota. Obtenido de la herramienta *River*.

Las Figuras 155 y 156 muestra el diseño final del dimensionamiento del dique enrocado en curva.

Figura 155.

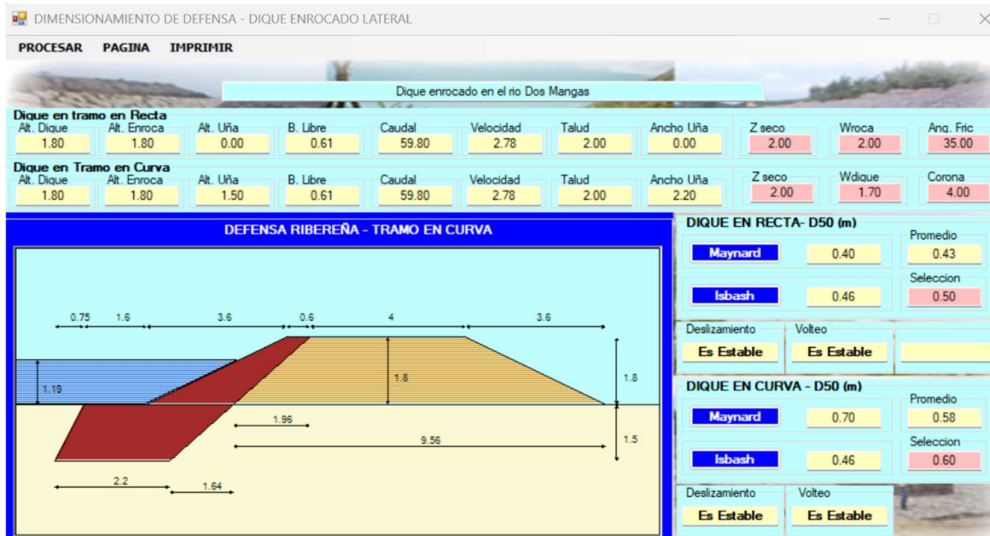
Dimensionamiento del enrocado en curva.



Nota. Obtenido de la herramienta *River*.

Figura 156.

Diseño final del enrocado en curva.

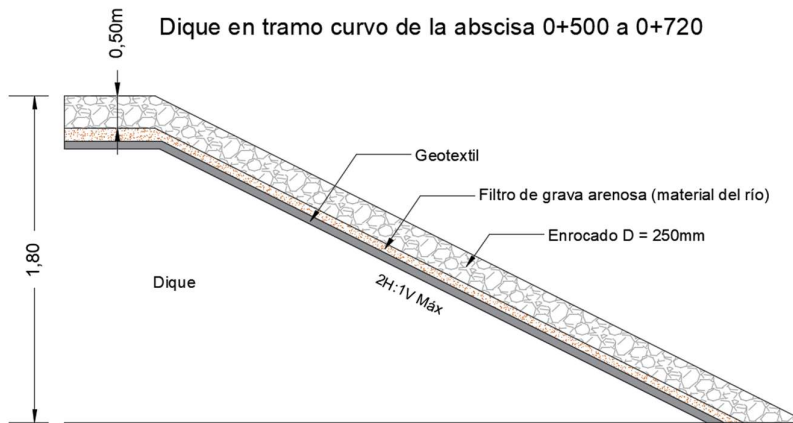


Nota. Obtenido de la herramienta *River*.

En las Figuras 157 y 158 se presentan las secciones típicas de las defensas ribereñas.

Figura 157.

Sección típica de la defensa ribereña - Dique Enrocado en recta (0+500 a 0+720).

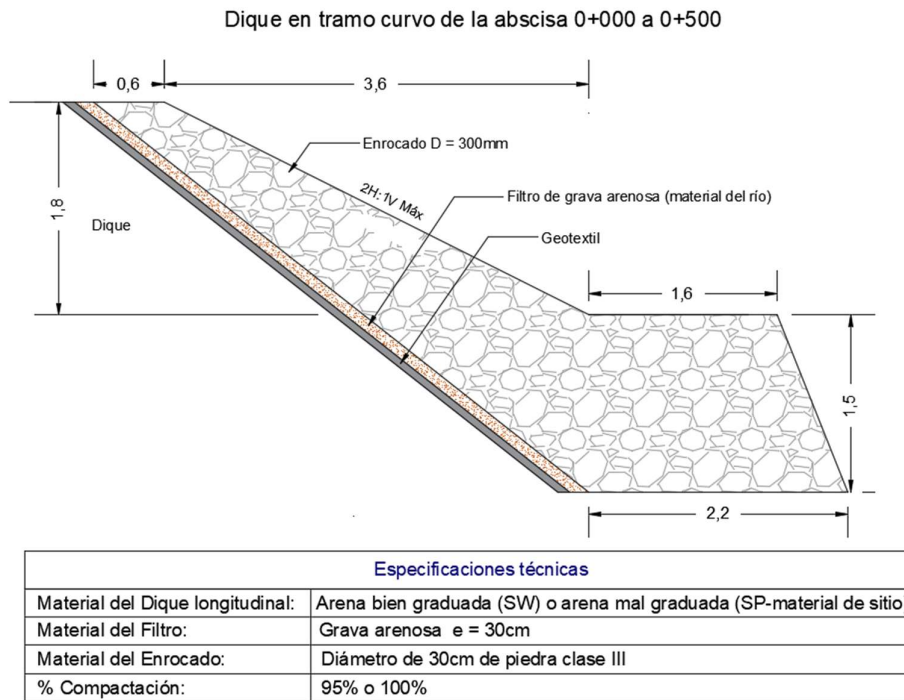


Especificaciones técnicas	
Material del Dique longitudinal:	Arena bien graduada (SW) o arena mal graduada (SP-material de sitio)
Material del Filtro:	Grava arenosa e=30cm
Material del Enrocado:	Diámetro de 25cm de piedra clase II
% Compactación:	95% o 100%

Nota. Realizado en *Civil3D*.

Figura 158.

Sección típica de la defensa ribereña - Dique Enrocado en curva (0+000 a 0+500).



Nota. Realizado en *Civil3D*.

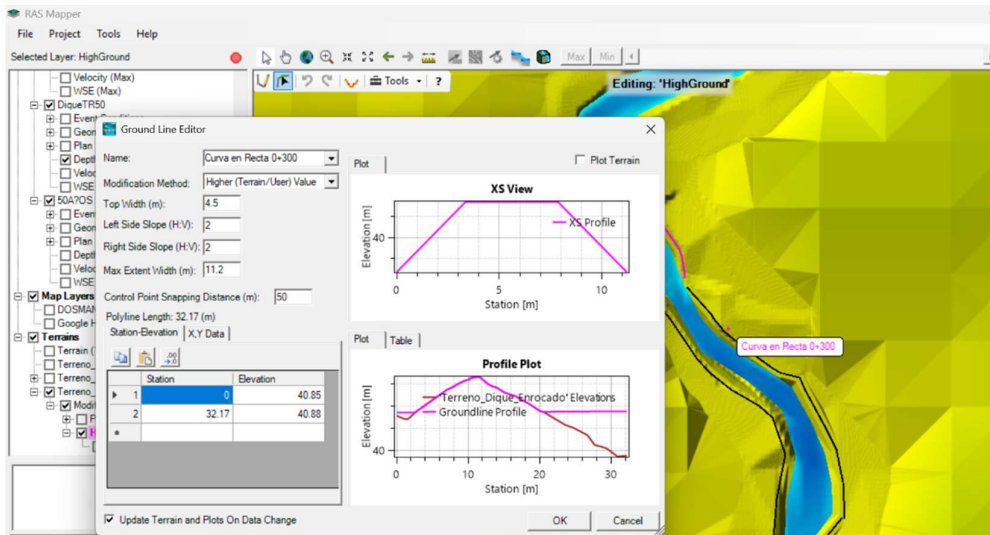
La implementación de las defensas ribereñas consiste en la colocación de diques enrocados a lo largo de las márgenes del cauce, utilizando herramientas de modificación de terreno en RAS Mapper. Estas estructuras se diseñan como medidas de restauración fluvial, con el objetivo de proteger las orillas contra procesos erosivos sin alterar la dinámica del cauce natural. De esta manera, se refuerza la estabilidad de las riberas respetando la morfología existente. Para facilitar la instalación del enrocado, se recomienda emplear un agregado grueso con tamaño nominal de 10 pulgadas (25 cm) en los diques en recta y 12 pulgadas (30cm) para los diques en curva, respetando una pendiente máxima en las orillas de 1V:2H.

El material para la estabilización del dique corresponde a un material permeable conformado por gravas y arenas. El material debe ser una arena bien graduada (SW) o arena mal graduada, arenas gravosas con poco o ningún fino (SP), material de sitio, según el sistema SUCS (Sistema

Unificado de Clasificación de Suelo). El material debe colocarse cerca de la humedad óptima sobre capas de 20 cm y debe ser compactado entre un 95% y 100% con ayuda de un rodillo de compactación o compactadora manual. En caso de utilizar el material de sitio, se debe ensayar en laboratorio y ser comparado con las características de una arena mal graduada (SP).

Figura 159.

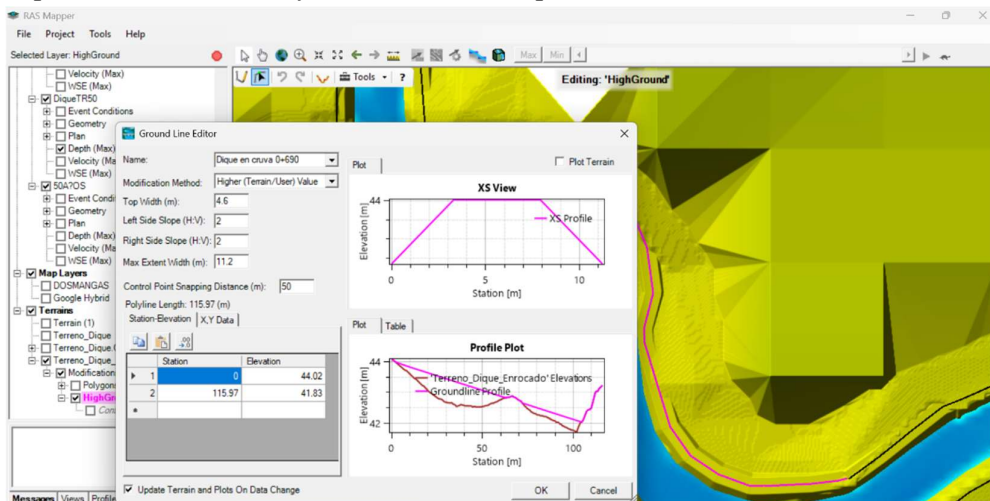
Implementación de la defensa ribereña - Dique enrocado en recta.



Nota. Realizado en RAS Mapper – HEC-RAS.

Figura 160.

Implementación de la defensa ribereña - Dique enrocado en curva.

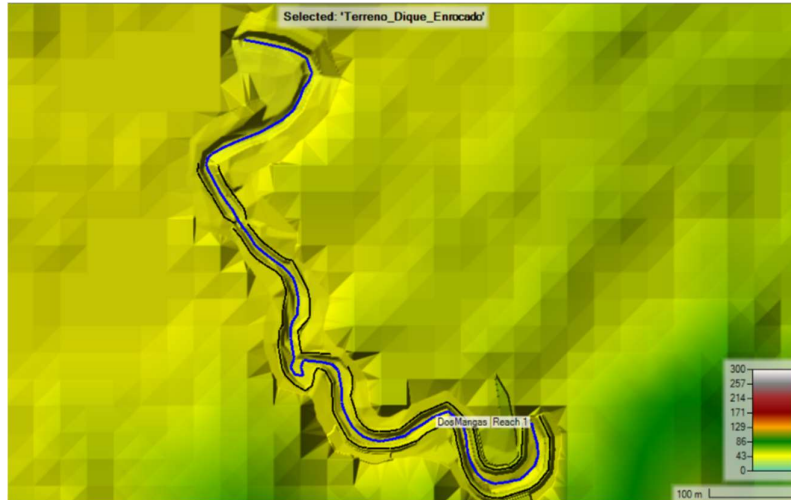


Nota. Realizado en RAS Mapper – HEC-RAS.

En la Figura 161 se presenta la defensa ribereña mediante un diseño de enrocado en las zonas donde el río se desborda. La sección típica del enrocado considera una altura de 1.80 metros.

Figura 161.

Terreno con dique implementado.

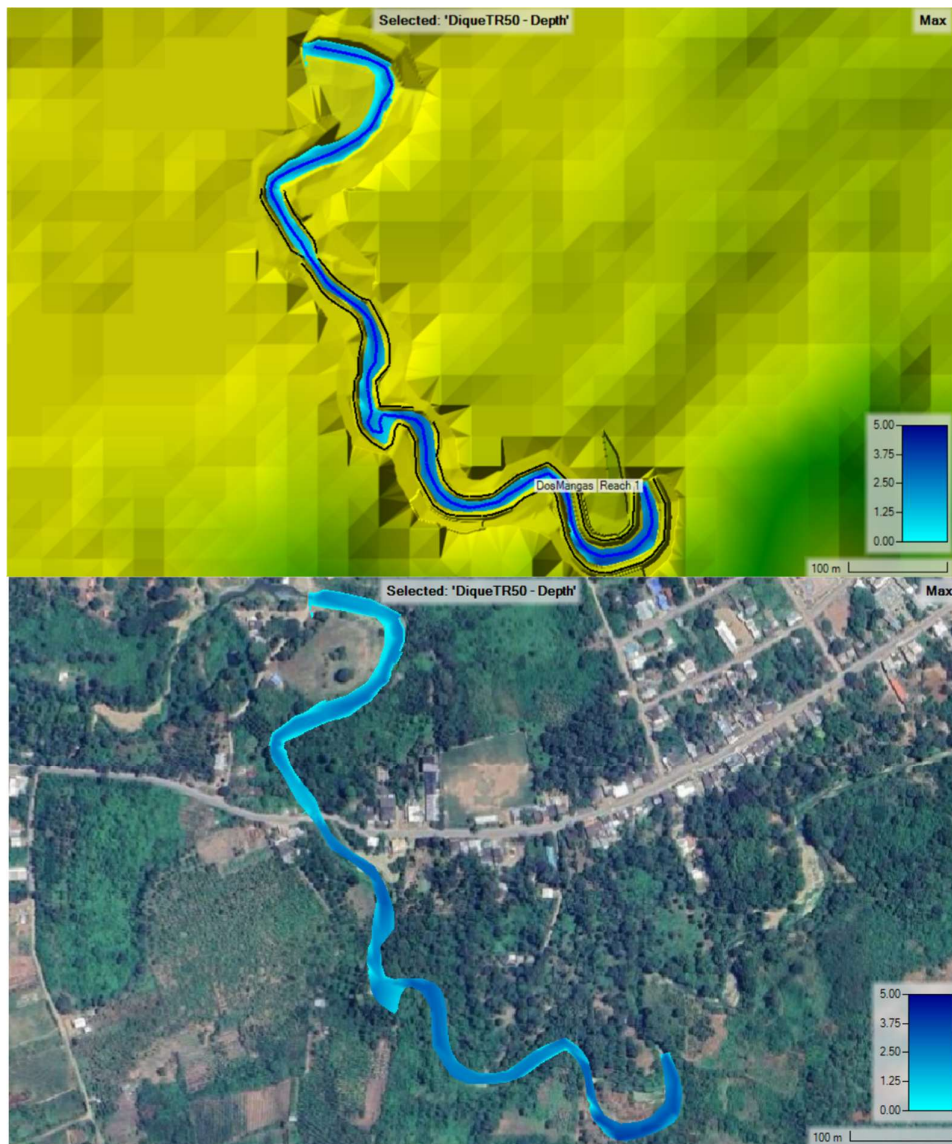


Nota. Realizado en RAS Mapper – HEC-RAS.

En el cuarto escenario (TR = 50 años) se reevalúa el comportamiento del caudal del río considerando la implementación de los diques de protección, con el objetivo de evaluar el potencial de inundación bajo las nuevas condiciones del cauce. La Figura 162 presenta el comportamiento hidráulico del río.

Figura 162.

Comportamiento hidráulico con diques implementados TR = 50 años.

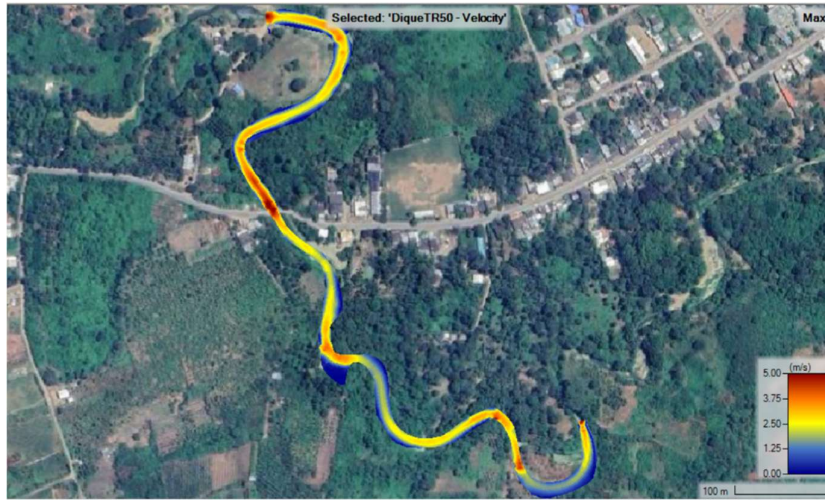


Nota. Generado en RAS Mapper – HEC-RAS.

La Figura 163 muestra la velocidad del flujo, alcanzando una velocidad máxima de 5.0 m/s y una velocidad promedio de 2.70 m/s.

Figura 163.

Velocidad del flujo.

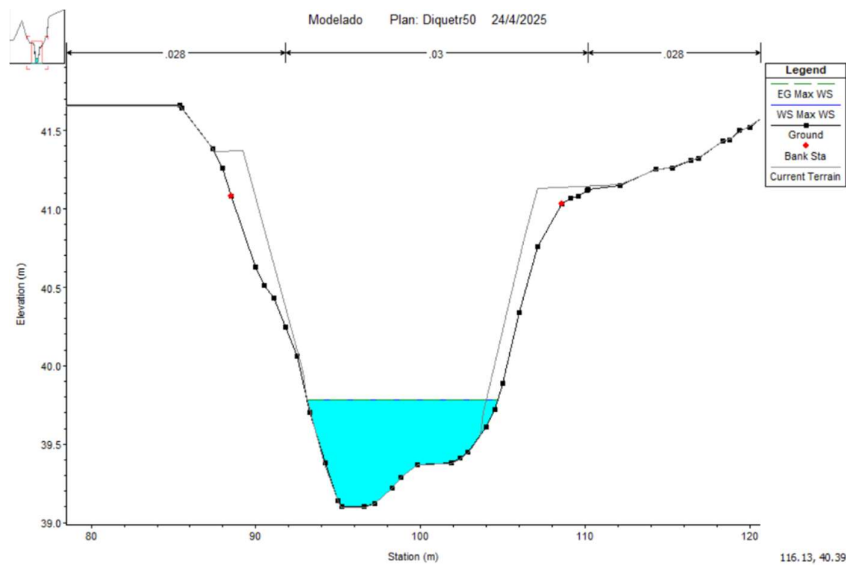


Nota. Generado en *RAS Mapper – HEC-RAS.*

A continuación, se analizan las secciones transversales que presentan mayor compromiso con las zonas urbanas, vías y áreas de cultivo, con el objetivo de evaluar su comportamiento hidráulico con la implementación de las defensas ribereñas (diques enrocados) y los niveles de agua alcanzados durante la simulación.

Figura .

Nivel de flujo en la sección 0+390 con la simulación de diques enrocados (50 años).

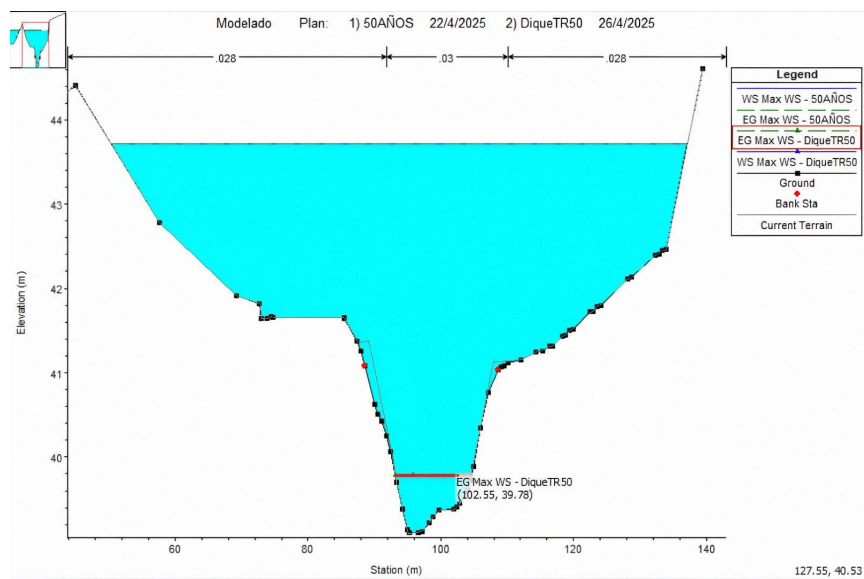


Nota. Generado por *HEC-RAS.*

El flujo de agua se mantiene dentro de los márgenes del cauce, no afecta viviendas, ni cultivos cercanos, lo que evidencia una disminución significativa del riesgo de desbordamiento del río Dos Mangas en zonas vulnerables.

Figura 165.

Comparación del nivel de flujo con y sin la implementación de diques enrocados en la sección (0+390).

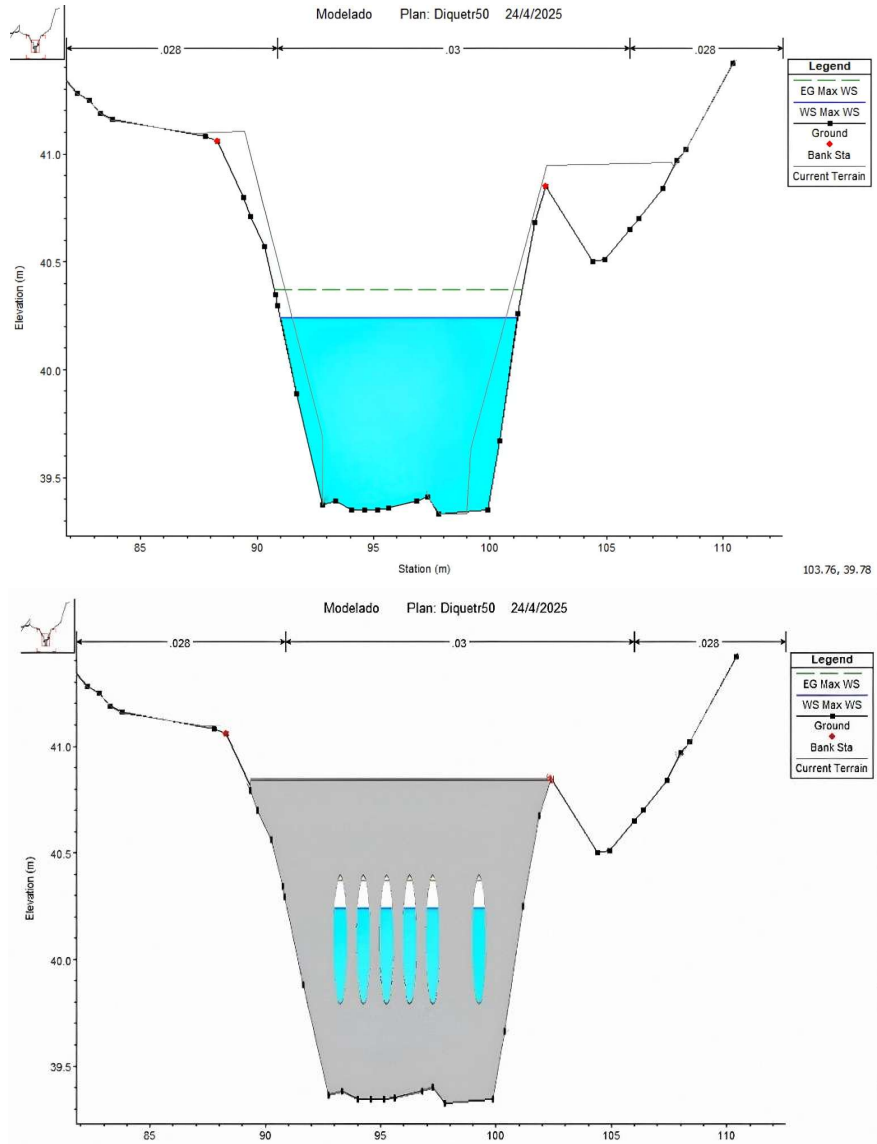


Nota. Generado por *HEC-RAS*.

En las secciones transversales 0+338 y 0+347, en base a los resultados de la simulación, el flujo se mantiene dentro de los límites del cauce, por lo que no hay un desbordamiento en la vía de acceso a la comuna.

Figura 166.

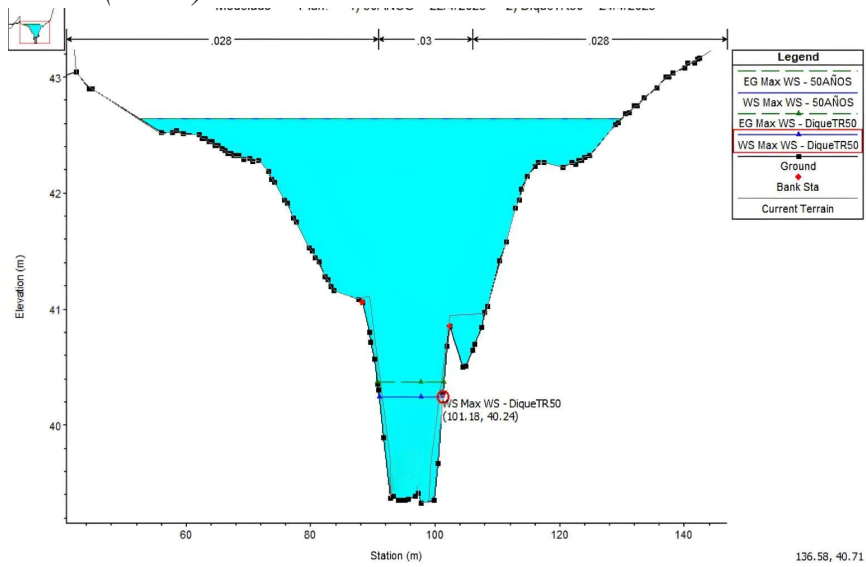
Nivel de flujo en la sección 0+347 y 0+346.90 Culv U con la simulación de diques enrocados (50años).



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 167.

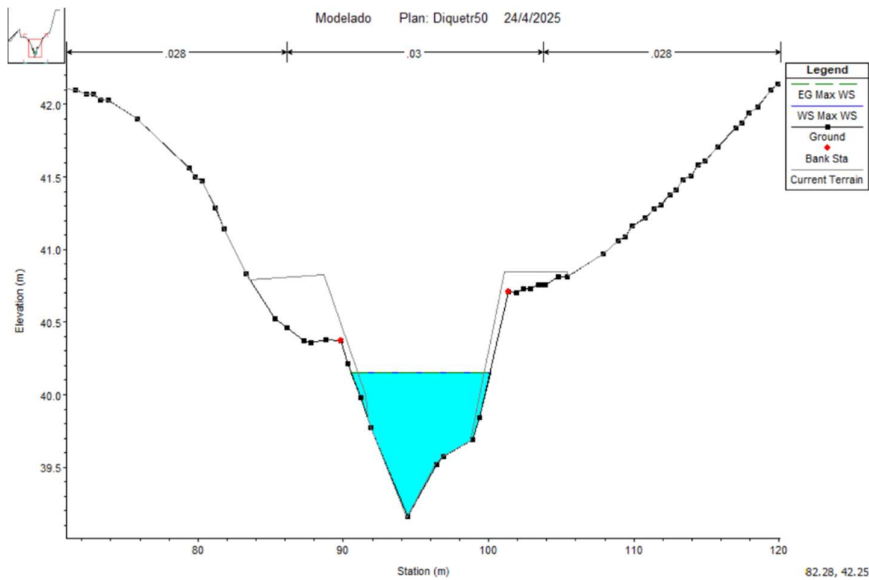
Comparación del nivel de flujo con y sin la implementación de diques enrocados en la sección (0+347).



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 168.

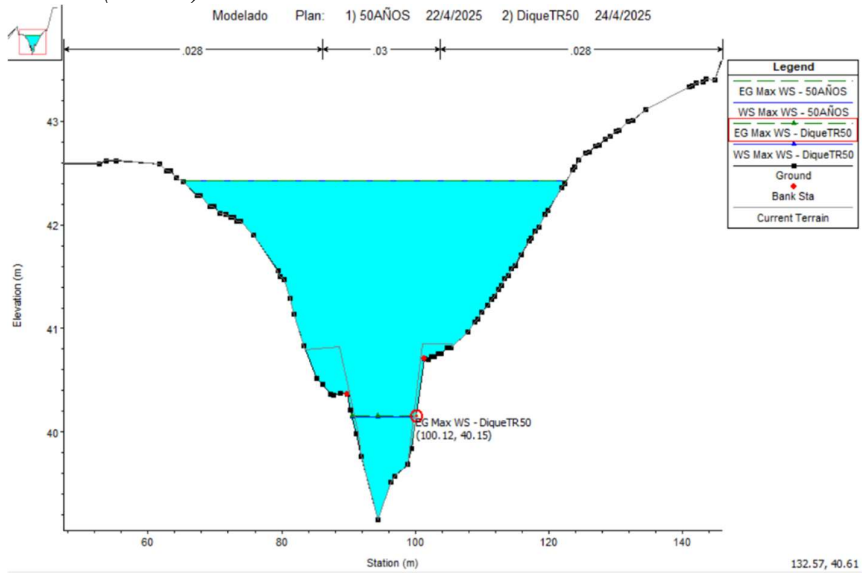
Nivel de flujo en la sección 0+338 con la simulación de diques enrocados (50años).



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 169.

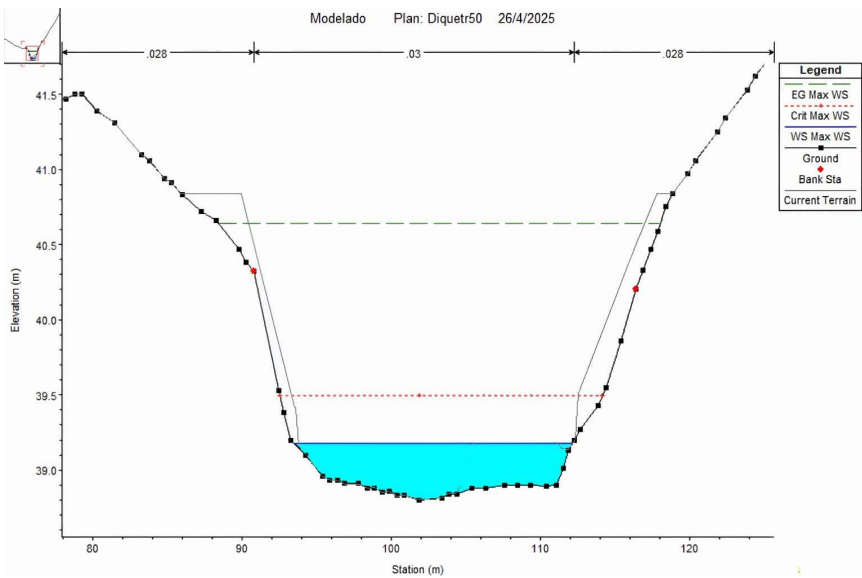
Comparación del nivel de flujo con y sin la implementación de diques enrocados en la sección (0+338).



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 170.

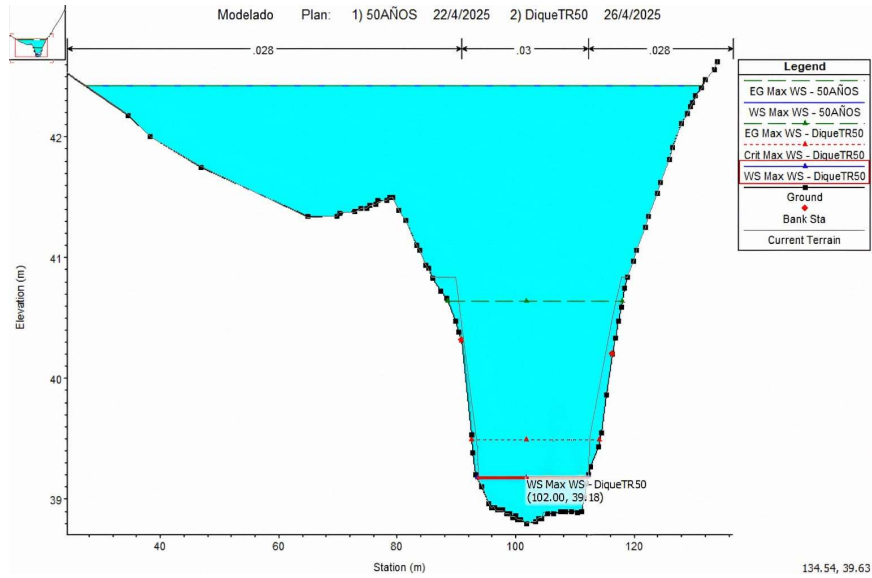
Nivel de flujo en la sección 0+300 con la simulación de diques enrocados (50años).



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 171.

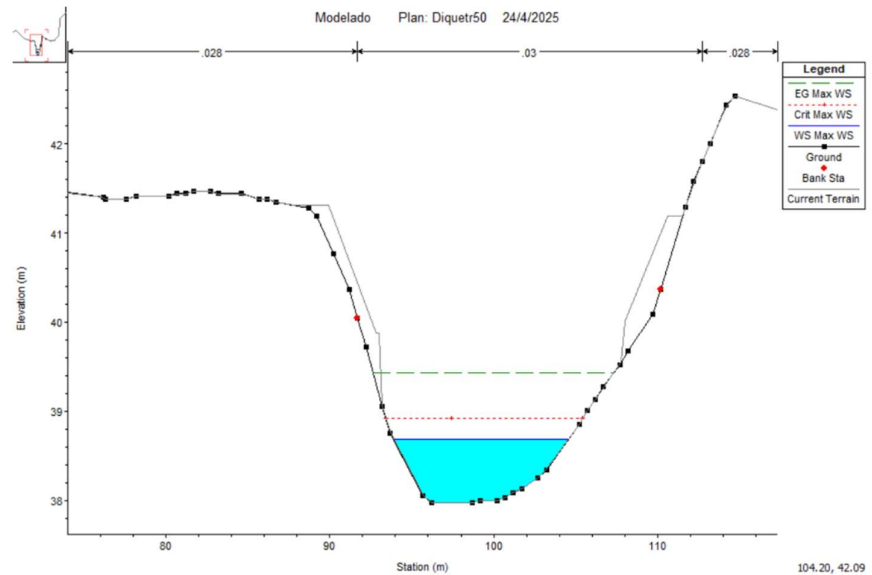
Comparación del nivel de flujo con y sin la implementación de diques enrocados en la sección (0+300).



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 172.

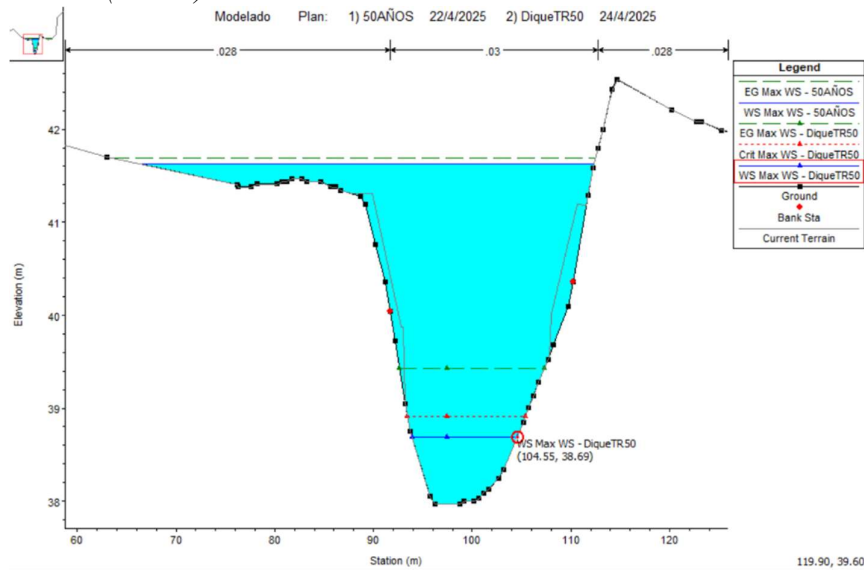
Nivel de flujo en la sección 0+270 con la simulación de diques enrocados (50años).



Nota. Generado por HEC-RAS.

Figura 173.

Comparación del nivel de flujo con y sin la implementación de diques enrocados en la sección (0+270).



Nota. Generado por HEC-RAS.

4.4.2.2. Estrategias de parches como unidades para la continuidad del flujo.

Esta estrategia multifuncional fortalece el sistema fluvial y promueve una integración armónica entre el entorno natural y las actividades humanas. Cada parche es una unidad híbrida en sí misma que en este caso actúan en conjunto. Los tres parches utilizados son:

1) Revegetación de riberas degradadas (Vegetación Riparia); en las riberas del río Dos Mangas se extrae principalmente canto rodado y arena dulce, lo que favorece la erosión y debilita el cauce, por lo que la vegetación riparia, conformada por una franja de Vetiver ubicada a lo largo de los márgenes del cauce, cumplen un rol fundamental en la estabilización de taludes, la reducción de la erosión de las riberas, mejora en el control de la escorrentía superficial y reducción de los picos de caudal durante eventos de lluvias intensas, mitigando así los efectos de las inundaciones. La planta del Vetiver se siembra en forma lineal a razón de diez plantículas por metro,

para así en su estado adulto (un año), formar un macizo de 50 centímetros de diámetro por 3 metros de profundidad.

2) Vegetación nativa, se recomienda utilizar vegetación adaptadas a la flora local de la comuna Dos Mangas, como gramíneas que ayudarán a la estabilización de las riberas y a la protección contra la erosión.

3) Parches de absorción de agua en momentos de flujos estacionales mayores. Estos parches consisten en módulos de infiltración distribuidos a lo largo de los márgenes del río, conformado por pozos excavados y rellenos con grava (ripio) o fragmentos de bloques u hormigón reciclado, que actúan como depósitos temporales para retener e infiltrar el exceso de escorrentía superficial.

Figura 174.

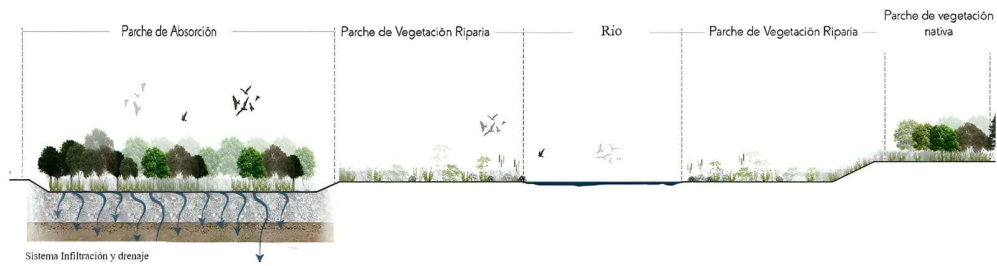
Mapa en planta de parches como unidades para la continuidad del flujo.



Nota. Elaborado por el autor.

Figura 175.

Mapa en sección de parches como unidades para la continuidad del flujo.



Nota. Adaptado de “Restauración fluvial como Estrategia de diseño urbano. Un diálogo entre investigación y diseño. Concurso río Andalién, Concepción, Chile” (Espinosa et al., 2019).

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

Del objetivo general planteado, se concluye la implementación de dos estrategias de restauración fluvial: 1) Diques enrocados y 2) Parches de vegetación como unidades para la continuidad del flujo del sistema fluvial, a partir del análisis de la escorrentía superficial de la cuenca alta y media del río Manglaralto y el modelamiento hidráulico del río Dos Mangas. El estudio demostró que la implementación de diques enrocados permitió reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la dinámica del cauce dentro de la comuna.

Del primer objetivo específico, los sistemas de información geográfica llevaron a cabo la delimitación de la cuenca y las subcuencas presentes. La cuenca del río Manglaralto posee un área de 51.33 km², clasificada como una cuenca pequeña. Su morfología es alargada, evidenciada por un coeficiente de forma de 0.10 y un coeficiente de compacidad de 1.79, lo que indica baja susceptibilidad de avenidas. La cuenca presenta una pendiente media del terreno del 5.44%, lo que corresponde a una topografía suave, según al análisis de la curva hipsométrica, se clasifica como una cuenca tipo C, en fase de vejez, con una elevación media de 207.02 m s.n.m. Su red de drenaje presenta un orden de corriente de nivel 4 y una densidad de drenaje bajo de 1.33 km/km², lo que deduce un drenaje pobre y una respuesta hidrológica lenta, siendo este último uno de los principales aspectos que afectan directamente la funcionalidad del sistema fluvial en la comuna Dos Mangas, ya que una respuesta lenta de infiltración genera una mayor concentración de escorrentía superficial.

Del segundo objetivo específico, correspondiente al análisis hidrológico, se concluye que la estimación de los parámetros “k” y “m” para la construcción de las

curvas IDF en las estaciones de Manglaralto y Barcelona, presentan una buena precisión, con errores menores al 8%. No obstante, esta incertidumbre puede generar una variación de hasta $\pm 13\%$ en la estimación de los caudales. Se estima la cantidad de escorrentía superficial de la cuenca alta y media del río Manglaralto, obteniendo los siguientes resultados: E1=477.68mm (5años), E2=646.41mm (10 años), E3=1044.69mm (25 años) y E4=1413.71mm (50 años); en el tramo de la abscisa 0+000 a 1+000 del río Dos Mangas ubicado entre las subcuencas 8 y 16, presentan los valores de escorrentía superficial más altos, donde en presencia de eventos de lluvias intensas se ha evidenciado el desbordamiento del río. Para la estimación de caudales de la cuenca del río Manglaralto, se concluye que el método más adecuado para el caso de estudio es el método del hidrograma unitario adimensional SCS, debido a su flexibilidad y efectividad en cuencas pequeñas, obteniendo los siguientes caudales de diseño: Q1=52.50m³/s (5años), Q2=72.90m³/s (10años), Q3=109.40m³/s (25años) y Q4=145.80m³/s (50años).

Del tercer objetivo específico, se concluye dos estrategias de restauración fluvial, 1) la implementación de defensas ribereñas de diques enrocados laterales donde se presencia el riesgo de inundaciones, para la cual se propone un enrocado de 1.80 m de altura: en los tramos rectos (0+500 a 0+720) se emplea piedra de clase II (D=25cm) con un espesor de 50cm; en los tramos curvos (0+000 a 0+500) se emplea piedra de clase III (D=30cm) con un espesor de 60cm, respetando una pendiente máxima en las orillas de 1V:2H, el material del dique es arena bien graduada (SW) o arena mal graduada proveniente del cauce (SP); 2) la implementación de parches como unidades para la continuidad del flujo del sistema fluvial, cada parche es una unidad híbrida en sí misma que actúan en conjunto y son, a) vegetación riparia, b) vegetación nativa y c) parches de absorción, ubicadas en zonas estratégicas.

Ambas estrategias de restauración fluvial cuentan con antecedentes en estudios similares aplicadas en otras cuencas hidrográficas, estas se pueden implementar de manera independiente adaptándose a las condiciones del terreno, sin embargo, también es posible y recomendable aplicar las estrategias de manera conjunta, para optimizar el control de erosión, estabilizar los márgenes, mejorar la dinámica del cauce frente a eventos extremos y prevenir el riesgo de inundaciones.

5.2. RECOMENDACIONES.

Del objetivo general, se recomienda de manera conjunta ambas estrategias de restauración fluvial, diques enrocados y parches de vegetación, para no solo reducir el riesgo de inundaciones mediante defensas ribereñas, sino también mejorar la continuidad y la dinámica del cauce a través de soluciones basadas en la naturaleza. Asimismo, se recomienda replicar este enfoque en otras zonas de la cuenca con características similares.

Del primer objetivo específico, se recomienda usar un modelo de elevación digital (DEM) actualizado con mayor resolución, con el fin de obtener una representación más precisa de la topografía de la cuenca.

Del segundo objetivo específico, se recomienda la implementación de una estación hidrometeorológica en la parroquia Manglaralto, para obtener datos exactos de caudales medios diarios de la cuenca y alcanzar resultados con mayor precisión para la prevención de inundaciones. También se sugiere calcular el error relativo de los parámetros regionalizados “k” y “m” para la construcción de las curvas IDF de cada estación meteorológica utilizada, con el fin de evaluar si la variación en los caudales es significativa y determinar su aplicabilidad en el análisis hidrológico.

Del objetivo específico 3, se sugiere realizar un levantamiento topográfico que abarque una mayor extensión del río Dos Mangas, para obtener una mejor representación de las condiciones del terreno. Se recomienda realizar ensayos de resistencia del suelo tanto en las orillas como en el lecho del río en época seca, a fin de obtener parámetros geotécnicos representativos en condiciones estables. Dado su bajo costo y facilidad de ejecución, se sugiere utilizar el ensayo SPT. También se recomienda concientizar a los pobladores de la comuna Dos Mangas sobre los riesgos que implican el invadir zonas cercanas a los ríos, debido a la alta vulnerabilidad de inundaciones frente a eventos de precipitación y realizar un mantenimiento periódico a las tuberías del badén a fin de evitar la obstrucción por sedimentos, residuos vegetales y desechos sólidos, los cuales disminuyen su capacidad de conducción, de la misma manera se propone la instalación de rejillas para minimizar el ingreso de estos materiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, G., Aignerren, M., & Ruiz, J. (2008). DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL Y NO-EXPERIMENTAL. *Centro de Estudios de Opinion*, 1–46. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38180478/disenos-cuasiexperimentales-pag23-libre.pdf?1436838973=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDISENOS_DE_INVESTIGACION_EXPERIMENTAL_Y.pdf&Expires=1736525961&Signature=QcCCK1t8nyIh5i2Mx-6jNMFlywNc9
- Amado, J. C. (1990). *Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Baja Del Rio Manglaralto, Provincia del Guayas*.
- AQUAE FUNDACION. (2022). *La escorrentía: un proceso clave en el ciclo del agua*. AQUAE FUNDACION. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/escorrentia/>
- Arias Gómez, J., Villasís Keever, M. Á., & Miranda Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia Mexico*, 63(2), 201–206. <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>
- Avellaneda, A., & Montalvo, K. (2019). *Análisis comparativo de los métodos Racional modificado Témez, Hidrogramas unitarios SCS, Clark y Snyder en la obtención de caudales máximos para las subcuencas Cañad y Alto Chancay Lambayeque – Cuenca Chancay Lambayeque*. UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO.
- Bateman, A. (2007). *Hidrologia Basica Y Aplicada*. <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Cabrera Rosales, L., & Figueroa Chancay, J. (2022). ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO OLÓN. In *Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Caicedo Toro, M. D., Cabrera Estupiñán, E., Zambrano Navarrete, X. A., Rodríguez Bravo, M. E., & Intriago Zambrano, P. E. (2021). Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 22, 18. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2605>
- Carreras Flores, L. (2013). *Metodología para la modelación distribuida con el software HEC-HMS* [Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría]. <https://www.researchgate.net/publication/325996164>
- Catuto, M. (2020). Modelación hidrológica del Río Manglaralto para la generación de mapas de inundación de la parroquia Manglaralto provincia de Santa Elena. In *Repositorio DSPACE*. <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/2100>
- Chow, V. te. (1994). *Hidraulica de canales abiertos* (M. E. Suárez (ed.)). McGRAW-HILL.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. McGRAW-HILL.
- Corapi, P., & Nuñez Neira, N. (2022). Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 44–68. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.974>
- Córdova Mendoza, P., Barrios Mendoza, T. O., Zuzunaga Morales, R., Córdova Barrios, I. C., Pardo Moran, E. E., & Zuzunaga Concha, E. (2022). Análisis hidráulico del flujo de cuencas naturales y canales artificiales mediante el

- programa HEC-RAS. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1). Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Cronshey, R. (1986). *Urban hydrology for small watersheds (TR-55)* (2nd ed.). US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Urban+Hydrology+for+Small+watersheds#1>
- De La Cruz Vega, S. A., Garrido Oyola, J. A., Ascoy Flores, K. A., & Gonzales Moncada, T. M. (2022). Protección ribereña mediante gaviones en la selva peruana. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 26(116), 54–62. <https://doi.org/10.47460/uct.v26i116.643>
- De Villarán San Juan, R. (2010). *Mejora de los parámetros de cálculo del modelo del número de curva y su validación mediante un modelo hidrológico distribuido* [Universidad de Huelva. Escuela Politécnica Superior]. <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/2723>
- Departamento de Ingeniería Hidráulica-Marítima y Ambiental. (2011). *Manual de utilización del programa HEC-HMS*. https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250336/2012/40_ManualHMS.pdf
- Elizondo, G. (2018). *AJUSTE DEL NÚMERO DE CURVA MEDIANTE OPTIMIZACIÓN EN HEC-HMS EN LA MICROCUENCA LA VEGA, EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Engineers, U. A. C. of. (2000). Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. In *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*.
- Enriquez, M. P., & Enriquez, M. L. (2011). *Aplicación Del Método De Muskingum (Modelo Hidrológico) En El Pronóstico De Crecientes E Inundaciones En La Zona Quevedo – Mocache* [UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2089/1/T-UTEQ-0040.pdf>
- Erasun, V., Sapriza, G., Failache, N., Gamazo, P., Arcelus, A., & Nardin, A. (2019). Modelación hidrológica para la gestión del riesgo de inundaciones en subcuencas tributarias al río Uruguay. *Aqua-LAC*, 11(1), 17–33. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2019-v11-1-02>
- Espinosa, P., De Meulder, B., & Ollero, A. (2019). Restauración fluvial como Estrategia de diseño urbano. Un diálogo entre investigación y diseño. Concurso río Andalién, Concepción, Chile. *AREA-Agenda de Reflexión En Arquitectura, Diseño y Urbanismo*, 26(1), 1–25.
- Falchini, L. (2020). *Método de la Curva Número O Método del Servicio de Conservacion DE Suelos de los EE UU*.
- FAO. (2006). Evapotranspiracion del cultivo: Guías para la determinacion de los requerimientos de agua de los cultivos. In Food and Agriculture Organization of the United Nations (Ed.), *Serie Didactica, Facultad de Agronomia y Zootecnica, Universidad Nacional de Tucuman*. https://www.google.com.ec/books/edition/Evapotranspiracion_Del_Cultivo/YJgytETfEnAC?hl=es-419&gbpv=0
- Frey, O., Huggel, C., & Steinemann, M. (2016). El fenómeno de El Niño y sus impactos asociados. In *COSADE* (Issue 2). <https://zoinet.org/wp->

- content/uploads/2018/02/Nexus.brief-elnino-sp-7dec2017-1.pdf
- Gómez Morales, W. (2009). *Conceptos hidrologicos*.
<http://estudiantesingcivil.blogspot.mx/>
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodríguez, A., & Besteiro, S. (2010). *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas* (Primera Ed).
[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2215896/Manual de manejo integral del bambucillo.pdf.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2215896/Manual%20de%20manejo%20integral%20del%20bambucillo.pdf.pdf)
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Manglaralto. (2023). *ACTUALIZACION DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDANIMIENTO TERRITORIAL 2019-2023*. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Manglaralto. <https://gadmanglaralto.gob.ec/pdot/2/>
- Guachamín, W., Cadena, J., Carvajal, J., & García, F. (2015). *Cuenca Rio Mira. Mapa de escurrimiento*.
[http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDI O_DEL_MIRA.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDI%20O%20DEL%20MIRA.pdf)
- Huarancay Sotacuro, J. (2024). *Determinación del nivel de riesgo de inundación por eventos extremos de precipitación en la comunidad de Acopalca del distrito de Huancayo, 2021* [Universidad Continental].
[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15740/1/IV_FI N_107_TE_Huarancay_Sotacuro_2024.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15740/1/IV_FI%20N%20107_TE_Huarancay_Sotacuro_2024.pdf)
- Hurtado De Barrera, J. (2024). Investigación proyectiva: más allá de la investigación tecnológica. *Impacto Científico*, 19(1), 13–26.
[https://produccioncientificaluz.org/index.php/impacto/article/view/42213/49 011](https://produccioncientificaluz.org/index.php/impacto/article/view/42213/49011)
- INEGI. (2010). *Red hidrográfica escala 1:50000 Edición 2.0*.
- Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y Coordinación General del Sistema de Información Nacional (MAGAP). (2012). Generación De Geoinformación Para La Gestión Del Territorio a Nivel Nacional, Escala 1: 25 000: Clima e Hidrogeología. In *Geoportal Instituto Geográfico Militar (IGM)*.
[https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/santa_elena/mt_santa_elena_ clima_e_hidrologia.pdf](https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/santa_elena/mt_santa_elena_clima_e_hidrologia.pdf)
- ISRIC - World Soil Information. (n.d.). *SoilGrids — global gridded soil information*. ISRIC - World Soil Information. Retrieved March 12, 2025, from <https://www.isric.org/explore/soilgrids>
- Lemus, M., & Navarro, G. (2003). Manual para el desarrollo de Obras de conservación de Suelo. In *CORPORACION NACIONAL FORESTAL*.
[http://www.oasification.com/archivos/Manual de Mauco.pdf](http://www.oasification.com/archivos/Manual%20de%20Mauco.pdf)
- Loor, S. (2017). Estudio del balance hídrico superficial de las cuencas hidrográficas, sector San Juan y San Bartolomé en el área de interceptación con el bosque y vegetación protector Aguarongo [UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA]. In *Ingeniería ambiental*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14459/1/UPS-CT007122.pdf>
- López, P. L. (2004). Población, Muestra y Muestreo. *Punto Cero*, 9(8), 69–74.
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815- 02762004000100012](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012)
- Lux Cardona, B. (2016). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. *CORE*.
- Macronorte.pe. (2024). *Culminan construcción de dique más largo del Perú en quebradas San Idelfonso y San Carlos*. Macronorte.Pe.
- Magdaleno, F., Díez, J. R., González, G., Capel, F. M., & García, E. (2018). El diseño de la restauración fluvial: Criterios y alternativas. *Retos y Experiencias*

- de Restauración Fluvial En El Ámbito de La Red Natura 2000, September, 46–87.*
- Maza, J. (2024a). *Análisis de máximas crecidas, para diferentes periodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja).* [Universidad Nacional de Loja]. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/31114/1/JhulianadelRocio_Maza_Medina.pdf
- Maza, J. (2024b). *Análisis de máximas crecidas, para diferentes periodos de retorno, a través de métodos empíricos en la Cuenca superior del río Zamora (hoya de Loja).* Universidad Nacional de Loja.
- Ministerio de Salud Pública. (2016). El Fenómeno El Niño en Ecuador. In *Organización Panamericana de la Salud*. <https://www.eird.org/estrategias/pdf/spa/doc12863/doc12863-10.pdf>
- Nicomodes Teodoro, E. N. (2018). Tipos de investigación. *CORE*, 4. <https://doi.org/10.29057/ixtlahuaco.v6i11.11980>
- Ordóñez, J. (2011a). ¿Qué Es Cuenca Hidrológica? In *Sociedad Geológica de Lima* (Vol. 1). http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf
- Ordóñez, J. (2011b). ¿Qué Es Cuenca Hidrológica? In *Sociedad Geológica de Lima* (Vol. 1).
- Pascual Aguilar, J. A., & Díaz Martín, M. (2016). Guía Práctica sobre la modelización hidrológica y el Modelo HEC-HMS. In *Información tecnológica* (Vol. 29, Issue 4). Centro para el Conocimiento del Paisaje, Instituto IMDEA agua. https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/news/20161215/Cuadernos de Geomática 4_b.pdf
- Pérez, M. (2006). *Estabilización y prevención de la erosión mediante la siembra de la planta Vetiver en las Riberas del río los Amarillos.* Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Perez, S. (2018). Aplicación del software river para el diseño de defensas ribereñas desde el Km 40+800 al 44+100, río Reque. In *Universidad César Vallejo*. Universidad César Vallejo.
- Ponce, T., & Veneros, L. (2011). *APLICACION DE TRES MODELOS PRECIPITACIONESCORRENTIA PARA ESTIMAR EL CAUDAL MAXIMO DE DISEÑO EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA CARRIZAL. DISTRITO LLAMA - PROVINCIA DE CHOTA - DEPARTAMENTO CAJA MARCA* [Universidad Nacional de Trujillo]. https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10082/Arística_Luna_Fabiola_Yamali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Prieto Villarroya, J., Farias, H. D., & Amarilla, M. E. (2013). Estimación del parámetro hidrológico del Número de Curva NC: Automatización del cálculo mediante S.I.G. y nuevas fuentes de información cartográfica. Caso del área urbana de Pozo Hondo. *IX Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería Del NOA*, 3(1).
- Rivas Carlin, H. M. (2023). Comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos con fines de instalación de sistema de alerta temprana, Áncash 2022. [Universidad Continental]. In *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13843>
- Rocha, A. (1998). Introducción a la Hidráulica Fluvial. In *British Journal of Cancer* (1st ed.). Universidad Nacional de Ingeniería.

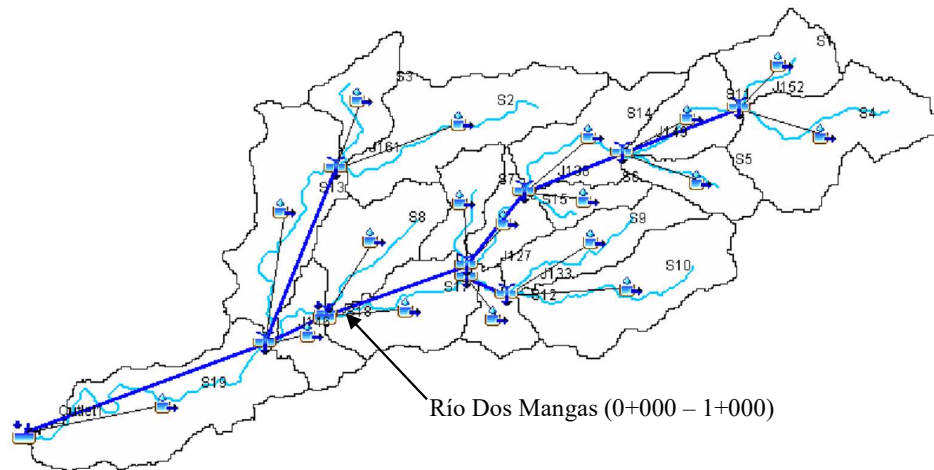
- Rodriguez Bejarano, C. A. (2023). *DISEÑO DE DIQUES ENROCADOS PARA MEJORAR LA DEFENSA RIBEREÑA DEL RÍO JEQUETEPEQUE, SECTOR ISLA DE FACLO, DISTRITO DE GUADALUPE, PROVINCIA DEL PACASMAYO, REGIÓN DE LA LIBERTAD – 2023*. UNIVERSIDAD CATÓLICA LOS ÁNGELES DE CHIMBOTE.
- Ruiz, E., & Martínez, M. (2021a). *Hidrología Aplicada: Escorrentía*. <https://es.scribd.com/document/480974953/Hidrologia-Aplicada>
- Ruiz, E., & Martínez, M. (2021b). *Hidrología Aplicada: Escorrentía*.
- Saavedra, C. (2015). *Valoración de efectos e impactos de intervenciones de gestión, manejo y protección de áreas de recarga hídrica y de fuentes de agua en microcuencas: Experiencia de mancomunidades de municipios*. https://www.researchgate.net/publication/284172994_Valoracion_de_efectos_e_impactos_de_intervenciones_de_gestion_manejo_y_proteccion_de_areas_de_recarga_hidrica_y_de_fuentes_de_agua_en_microcuencas_Experiencia_de_mancomunidades_de_municipios
- Salguero Pérez, C. C. S. (2021). *Caracterización del comportamiento hidráulico del río Ambato en el tramo comprendido entre el sector Tilulún y el sector Las Viñas desde el km 8+00 al km 12+00 mediante un modelo matemático* [Universidad Técnica Ambato]. [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32026/1/Tesis I. C. 1433 - Salguero Pérez Clara Cecilia.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32026/1/Tesis%20I.%20C.%201433-Salguero%20Pérez%20Clara%20Cecilia.pdf)
- San Román Sanchez, J. (2017). Precipitaciones. In J. San Román Sanchez (Ed.), *Hidrología Superficial Y subterránea* (p. 414). <http://hidrologia.usal.es.xn--pg-mia.1>
- Sanchez, J. (2015). Evapotranspiración. In *Universidad de Salamanca*. <https://hidrologia.usal.es/temas/Evapotransp.pdf>
- Sanchez J. (2022a). Hidrología Superficial Y subterránea. In 2ª ed. *Kindle Direct Publishing* (p. 440). <http://hidrologia.usal.es.xn--pg-mia.1>
- Sanchez J. (2022b). Hidrología Superficial Y subterránea. In 2ª ed. *Kindle Direct Publishing* (p. 440).
- Sánchez Luna, T., Hermenejildo De La, S. A., Guzhñay Zurita, J., & Proaño Cadena, G. (2011). CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS DEL RÍO DOS MANGAS Y CANTERA DEL CERRO EL TABLAZO DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA UTILIZARLO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. *ESPOL*, 1. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14868>
- Sandoval Erazo, W. R., & Aguilera Ortiz, E. P. (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poco información Hidrológica. *Ciencia Unemi*, 7(2), 100–110. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol7iss12.2014pp100-110p>
- Sangüesa, C., Pizarro, R., Ingram, B., Ibáñez, A., Rivera, D., García-Chevesich, P., Pino, J., Pérez, F., Balocchi, F., & Peña, F. (2023). Comparing Methods for the Regionalization of Intensity–Duration–Frequency (IDF) Curve Parameters in Sparsely-Gauged and Ungauged Areas of Central Chile. *Hydrology*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/hydrology10090179>
- Sara, I., Héctor, M., & Gisbert, J. (2011). *Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c)*. Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c)
- Secretaría de Gestión de Riesgo. (2024). *SitRep No. 05 – Lluvias 2024* (Issue 05). <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2024/02/SITREP-Nro-05-Lluvias-Santa-Elena-23022024-1.pdf>
- Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of

- Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94.
- Tingo Maria. (2011). *ARCGIS*.
- US Army Corps of Engineers. (2015). HEC-HMS Hydrologic Modeling System. *User's Manual - Version 4.1 - CPD-74A*, (July), 1–600.
- Valdivielso, A. (2024). *Cuenca hidrográfica de un río*. Iagua. <https://www.iagua.es/respuestas/cuenca-hidrografica-rio>
- Valdivieso Toledo, A. F., & Vélez Villacis, O. S. (2023). *Diseño de un dique en el río Manglaralto, cerca del sector “La Esperanza”, para aprovechamiento hídrico de la parroquia*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Valencia, J. (2017). *Análisis hidrogeológico de la cuenca del río Manglaralto para la caracterización de sus sistemas acuíferos*.
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *CUENCAS HIDROGRÁFICAS* (1st ed.). Abya-Yala.
- Vega Malagón, G., Ávila Morales, J., Vega Malagón, A. J., Camacho Calderón, N., Becerril Santos, A., & Leo Amador, G. E. (2014). Paradigmas En La Investigación. Enfoque Cuantitativo Y Cualitativo. *European Scientific Journal*, 10(15), 523–528.
- Vega, X. (2020). Diferentes soluciones para la delimitación y codificación de cuencas superficiales cubanas. In *Ingeniería Hidráulica y Ambiental: Vol. XLI* (Issue 2).
- Viessman, W., & Lewis, G. (2011). *Introduction to Hydrology* (5th ed.). Education Pearson.
- Villón Béjar, M. (2014). *Hec-Ras Ejemplos* (1st ed., p. 752). Tecnológico Costa Rica. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciu_rbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Vincenti Serrano, S., Reisancho Puetate, A., Lizano Acevedo, R., Borbor Córdova, M. J., & Stewart-Ibarra, A. M. (2016). ANÁLISIS DE INUNDACIONES COSTERAS POR PRECIPITACIONES INTENSAS, CAMBIO CLIMÁTICO Y FENÓMENO DE EL NIÑO. CASO DE ESTUDIO: MACHALA. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 24(2), 53–68. <https://doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.05>
- WMO. (2011). *Manual on Flood Forecasting and Warning* (Issue 1072). WMO 1072.
- Zambrano, Y., & Tábara, G. (2024). *Diseño de un dique en el río Valdivia - California para el aprovechamiento hídrico de la comuna en el sector Loma Alta , Santa Elena*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

ANEXOS

Anexo 1.

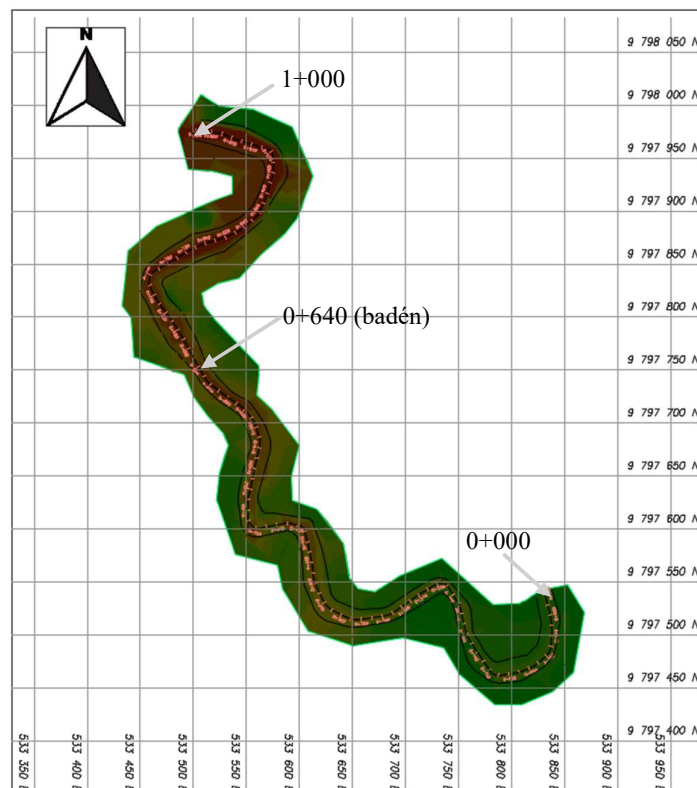
Modelado hidrológico de la cuenca del río Manglaralto.



Nota. Realizado en HEC-HMS.

Anexo 2.

Tramo modelado del río Dos Mangas, comprendido entre las abscisas 0+000 y 1+000.



Nota. En la abscisa 0+640 se encuentra ubicado el badén. Realizado en Civil 3D.

Anexo 3.

Visita del área de estudio con el docente tutor.



Nota. Inspección realizada en la abscisa 0+650.

Anexo 4.

Viviendas aledañas al río Dos Mangas.



Nota. Vivienda aledaña ubicado en la abscisa 0+640 cerca del margen del río Dos Mangas. Se observa un proceso avanzado de erosión lateral que ha reducido la estabilidad del talud, exponiendo a la infraestructura a posibles colapsos ante eventos de lluvia.

Anexo 5.

Levantamiento con drone.



Anexo 6.

Levantamiento con equipo GNSS.



Anexo 7.

Estado actual del badén.



Nota. Badén ubicado en la entrada de la Comuna Dos Mangas en la abscisa 0+640, se encuentra obstruido por sedimentos y residuos.

Anexo 8.

Visualización espacial de la zona de estudio.



Anexo 9.

Desbordamiento del río Dos Mangas en el año 2024.



Nota. El 21 de febrero del 2024 se reportó un desbordamiento del río Dos Mangas en la entrada a la comuna. La imagen muestra el desbordamiento aguas abajo del río ubicado en la abscisa 0+640.

Anexo 10.

Desbordamiento del río Dos Mangas en el año 2025.



Nota. El 5 de marzo del 2025 se reportó un desbordamiento del río Dos Mangas en la entrada de la comuna. La imagen muestra el desbordamiento aguas abajo del río ubicado en la abscisa 0+640.

Anexo 11.

Daños en infraestructuras de vivienda causados por el desbordamiento del río.



Nota. Daños en la infraestructura de una vivienda ubicada en la abscisa 0+640. Se observa la sección expuesta del muro de cimentación, erosionada por la acción del río durante el desbordamiento del 5 de marzo del 2025.

