



# EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN APROXIMACIONES METODOLÓGICAS A ESCALA LOCAL

*La ciencia que previene el desastre.*

José Paucar Camacho  
María Vallejo Ilijama  
Numa Gaibor Velasco  
Luis Villacis Taco

ISBN: 978-9907-0-0496-0

2025



# **EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN APROXIMACIONES METODOLÓGICAS A ESCALA LOCAL**

---

**AUTORES:**

**JOSÉ ABELARDO PAUCAR CAMACHO**

**MARÍA TRÁNSITO VALLEJO ILIJAMA**

**NUMA INAIN GAIBOR VELASCO**

**LUIS HERNÁN VILLACIS TACO**



Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica.

©Grupo Editorial BLR  
Universidad Estatal de Bolívar  
Riobamba – Ecuador  
Correo: publicaciones@grupobl.com  
<https://grupobl.com/libros-investig>  
REPOSITORIO



Paucar, J., Vallejo, M., Gaibor, N., Villacis, L. (2025) Evaluación de la amenaza de inundación aproximaciones metodológicas a escala local. Grupo Editorial BLR.

© José Abelardo Paucar Camacho  
María Tránsito Vallejo Ilijama  
Numa Inain Gaibor Velasco  
Luis Hernán Villacis Taco

**ISBN: 978-9907-0-0496-0**

El copyright promueve la libertad de expresión, protege la diversidad de ideas y conocimiento, además apoya la libre expresión. Se prohíbe de manera rigurosa la producción o el almacenamiento de esta publicación, ya sea en su totalidad o en parte, está estrictamente prohibido por ley, incluyendo el diseño de la portada, así como su difusión a través de cualquiera de sus medios, ya sean electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o incluso de fotocopia, sin permiso de los propietarios de los derechos de autor.

## FILIACIONES DE LOS AUTORES

José Abelardo Paucar Camacho

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: [apaucar@ueb.edu.ec](mailto:apaucar@ueb.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2722-1850>

María Tránsito Vallejo Ilijama

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: [mvallejo@ueb.edu.ec](mailto:mvallejo@ueb.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8757-2452>

Numa Inain Gaibor Velasco

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: [numa.gaibor@ueb.edu.ec](mailto:numa.gaibor@ueb.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4295-1969>

Luis Hernán Villacis Taco

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: [lhvillacis@ueb.edu.ec](mailto:lhvillacis@ueb.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7062-4471>



## **PRÓLOGO**

En un mundo donde los fenómenos naturales se intensifican y la vulnerabilidad de las poblaciones incrementan, la evaluación precisa y oportuna de la amenaza de inundación es una herramienta imprescindible para la reducción de riesgos de desastres y la gestión sostenible del territorio. Este libro aborda una problemática de gran importancia para países como Ecuador, donde la diversidad climática y geográfica influyen en la ocurrencia y el impacto de eventos hidrometeorológicos extremos. Desde un enfoque teórico, técnico y aplicado, los autores guían a través de metodologías innovadoras y comprobadas para la evaluación de la amenaza de inundación a escala local, se integra fundamentos conceptuales, los análisis morfométricos de cuencas hidrográficas, modelación hidrológica e hidráulica, la zonificación, la evaluación de vulnerabilidad y exposición ante la amenaza de inundación.

De igual forma, la obra es un compendio actualizado para los profesionales de la hidrología y la gestión de riesgos de desastres, se distingue por su enfoque multidisciplinario y contextualizado, que identifica la complejidad de las interacciones naturales y humanas que se relacionan en la generación de la amenaza de inundaciones en los territorios. La articulación de métodos técnicos con herramientas de sistemas de información geográfica y el uso de software para la modelación y zonificación son esenciales para evaluar la amenaza de inundación, diseñar medidas de prevención, mitigación y respuesta. De esta forma, el libro se convierte en un aporte significativo para la

academia, gestores públicos, tomadores de decisiones y comunidades, para trabajar en la evaluación y reducción de riesgos de inundaciones en la escala local.

## ÍNDICE

<b>PRÓLOGO.....</b>	<b>i</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>18</b>
<b>1 FUNDAMENTOS CONCEPTUALES DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN .....</b>	<b>18</b>
1.1 Definición de amenaza de inundación.....	18
1.2 Factores que influyen en las inundaciones .....	20
1.3 Clasificación o tipo de inundaciones.....	27
1.4 Medidas de reducción ante inundaciones .....	28
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>32</b>
<b>2 IMPACTOS DE LAS INUNDACIONES EN EL TERRITORIO.....</b>	<b>32</b>
2.1 Impactos de las inundaciones en el contexto mundial .....	33
2.1.1 Impactos directos .....	37

2.1.2	Impactos indirectos o pérdidas agregadas .....	41
2.1.3	Impactos sistémicos e interdependencia.....	44
2.2	Impacto de las inundaciones en el contexto de Ecuador .....	52
2.2.1	Impactos directos (efectos físicos e inmediatos).....	56
2.2.2	Impactos indirectos (efectos secundarios y a mediano/largo plazo) .....	58
2.2.3	Casos de estudio a nivel nacional.....	61
2.3	Impacto de las inundaciones en el contexto de la provincia Bolívar .....	67
2.3.1	Impactos directos .....	69
2.3.2	Impactos indirectos .....	70
2.3.3	Registro de afectaciones histórico en la provincia Bolívar ...	71
2.3.4	Caso de estudio a nivel local.....	74
2.4	Consideraciones finales de los impactos de las inundaciones en los territorios .....	75
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>78</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN .....</b>	<b>78</b>
3.1	Importancia de la evaluación de la amenaza de inundación ..	78

3.2	Métodos para la evaluación de la amenaza de inundación ....	82
3.2.1	Métodos generales para la evaluación de la amenaza de inundación.....	82
3.2.2	Métodos para la evaluación de factores de riesgo de inundación .....	86
3.3	Metodología para la evaluación de la amenaza y riesgos de inundación a escala local .....	93
3.3.1	Fase 1: Análisis y modelamiento hidrológico.....	94
3.3.2	Fase 2: Modelamiento hidráulico .....	96
3.3.3	Fase 3: Zonificación y niveles de amenaza de inundación....	97
3.3.4	Fase 4: Análisis de vulnerabilidad y exposición a las inundaciones .....	99
3.3.5	Fase 5: Diseño de medidas de reducción de riesgo de inundación.....	102
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>103</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDIO DE CASO: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN EN EL RECINTO SAN JOSÉ DE CAMARÓN, CANTÓN ECHEANDÍA .....</b>	<b>103</b>
4.1	Proceso metodológico para la evaluación de la amenaza de inundación y estrategias de reducción.....	103

4.2	Caracterización del territorio y antecedentes históricos de inundaciones .....	108
4.2.1	Caracterización del territorio de intervención.....	108
4.2.2	Antecedentes históricos de inundaciones .....	110
4.3	Caracterización de la microcuenca del río Camarón.....	113
4.4	Modelación Hidrológica .....	123
4.4.1	Cálculo de caudales máximos por el método Racional .....	123
4.4.2	Cálculo de caudales máximos por el método HEC - HMS .	133
4.4.3	Resumen del cálculo de caudales máximos para la microcuenca río Camarón .....	178
4.5	Modelación Hidráulica .....	179
4.6	Zonificación de la amenaza de inundación.....	184
4.6.1	Escenario de amenaza de inundación para tiempo de retorno de 50 años.....	185
4.6.2	Escenario de amenaza de inundación para tiempo de retorno de 100 años.....	186
4.7	Elementos expuestos a las zonas de la amenaza de inundación.....	188

4.7.1	Elementos expuestos a escenario de amenaza de inundación de TR 50 años.....	188
4.7.2	Elementos expuestos a escenario de amenaza de inundación de 100 años.....	190
4.8	Medidas de reducción ante la amenaza de inundación.....	192
4.9	Discusión de resultados .....	195
4.10	Conclusiones .....	196
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>cxcix</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Exposición global y tendencias de inundaciones. ....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 2. Exposición poblacional global y desplazamiento por inundaciones. ....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 3. Daño, pérdida y necesidades post-desastre - Pakistán 2022 (sectores sociales). ....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 4. Recurrencia de eventos adversos hidrometeorológicos en Ecuador (enero-julio 2025). ....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 5. Impacto acumulado por eventos adversos en la provincia de Bolívar (enero – abril 2024). ....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 6. Impacto social de lluvias e inundaciones en la provincia Bolívar, período 1970 a 2023. ....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 7. Impacto en viviendas por lluvias e inundaciones en la provincia Bolívar, período 1970 a 2023. ....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 8. Impacto en infraestructuras esenciales por lluvias e inundaciones en la provincia Bolívar, período 1970 a 2023. ....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 9. Impacto en el área agropecuaria por lluvias e inundaciones en la provincia Bolívar, período 1970 a 2023. ....</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 10. Fases y metodologías para el modelamiento de la amenaza de inundación. ....</b>	<b>85</b>

<b>Tabla 11.</b> Métodos y herramientas para evaluar el riesgo de inundación. .....	87
<b>Tabla 12.</b> Métodos para estimar daños ante la amenaza de inundación. .....	89
<b>Tabla 13.</b> Componente para el modelamiento hidrológico para determinación de caudales máximos. ....	95
<b>Tabla 14.</b> Componente para el modelamiento hidráulico para simulación de la inundación. ....	96
<b>Tabla 15.</b> Componente para el modelamiento hidráulico para simulación de la inundación. ....	98
<b>Tabla 16.</b> Criterios para zonas y niveles de amenaza de inundación con TR 50, 100 y 500 años en el río Guaranda. ....	99
<b>Tabla 17.</b> Propuesta metodológica para la elaboración de cartografía de amenaza y de riesgo de inundación. ....	100
<b>Tabla 18.</b> Criterios para niveles de amenaza de inundación para TR 50 y 100 años. ....	105
<b>Tabla 19.</b> Eventos históricos de inundaciones en el cantón Echeandia. .....	110
<b>Tabla 20.</b> Parámetros morfométricas microcuenca río Camarón. ....	113
<b>Tabla 21.</b> Valores aproximados del factor de forma. ....	120

<b>Tabla 22.</b> Valores de la densidad de drenaje de la microcuenca río Camarón. ....	122
<b>Tabla 23.</b> Datos generales de la microcuenca río Camarón. ....	126
<b>Tabla 24.</b> Cálculo de la Intensidad para tiempo de retorno ( $I_{TR}$ ) de la microcuenca río Camarón. ....	126
<b>Tabla 25.</b> Condiciones de humedad del suelo. ....	127
<b>Tabla 26.</b> Usos de suelo de la microcuenca del río Camarón. ....	127
<b>Tabla 27.</b> Criterios para ponderación y cálculo de Número de Curva (CN II). ....	128
<b>Tabla 28.</b> Cálculo de valor de Número de Curva (CN II) de la microcuenca río Camarón. ....	129
<b>Tabla 29.</b> Valores de la precipitación total (P) de la microcuenca río Camarón. ....	131
<b>Tabla 30.</b> Resumen de valores calculados para determinar el coeficiente de escorrentía (C) de la microcuenca río Camarón. ....	132
<b>Tabla 31.</b> Cálculo del caudal máximo por el método Racional de la microcuenca río Camarón. ....	133
<b>Tabla 32.</b> Tabla de datos de precipitación máxima de 24 horas mm (paso 1). ....	136
<b>Tabla 33.</b> Tabla de la prueba Outlier y el valor de Kn utilizado (paso 2). ....	139

<b>Tabla 34.</b> Criterios para cálculo del coeficiente $K_n$ .....	140
<b>Tabla 35.</b> Valores $K_n$ para la prueba de datos dudosos.....	140
<b>Tabla 36.</b> Valores de precipitación anuales correspondientes a los 42 años de registro (paso 3).....	144
<b>Tabla 37.</b> Determinación de parámetros básicos. ....	147
<b>Tabla 38.</b> Proceso de cálculo de los intervalos de clase.....	147
<b>Tabla 39.</b> Cálculo de parámetros estadísticos a partir de la distribución de frecuencias. ....	148
<b>Tabla 40.</b> Parámetros estadísticos descriptivos de la variable P24hr. ....	148
<b>Tabla 41.</b> Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno para una distribución.....	151
<b>Tabla 42.</b> Resultados de precipitación en 24 horas (mm) para la microcuenca río Camarón. ....	152
<b>Tabla 43.</b> Resultados de intensidades por período de retorno para la microcuenca río Camarón. ....	155
<b>Tabla 44.</b> Estadísticas de la regresión. ....	158
<b>Tabla 45.</b> Valores para la varianza.....	159
<b>Tabla 46.</b> Coeficientes de la regresión múltiple. ....	159

<b>Tabla 47.</b> Resultados de análisis de regresión múltiple para diferentes períodos de retorno. ....	160
<b>Tabla 48.</b> Valores para Hietograma de precipitación de diseño para el periodo de retorno de 50 años.....	164
<b>Tabla 49.</b> Valores para Hietograma de precipitación de diseño para el periodo de retorno de 50 años.....	167
<b>Tabla 50.</b> Parámetros hidráulicos para los caudales de Q50 y Q100. ....	182
<b>Tabla 51.</b> Niveles de amenazas de inundación para TR 50 años en el río Camarón y su influencia en el centro poblado de San José de Camarón. ....	185
<b>Tabla 52.</b> Niveles de amenazas de inundación para TR 100 años en el río Camarón y su influencia en el centro poblado de San José de Camarón. ....	187
<b>Tabla 53.</b> Resultados de exposición de población y edificaciones a escenario de inundación de TR 50 años en el recinto San José de Camarón. ....	189
<b>Tabla 54.</b> Resultados de exposición de infraestructura esencial a escenario de inundación de TR 50 años en el recinto San José de Camarón. ....	190

**Tabla 55.** Resultados de exposición de población y edificaciones a escenario de inundación de TR 100 años en el recinto San José de Camarón. .... 191

**Tabla 56.** Resultados de exposición de infraestructura esencial a escenario de inundación de TR 100 años en el recinto San José de Camarón. .... 192

**Tabla 57.** Estrategias y medidas de reducción para la sostenibilidad y resiliencia ante inundaciones para el recinto San José de Camarón. . 193

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Susceptibilidad a inundaciones y eventos de inundación 2013-2018 Fuente: SNGRE.....	55
<b>Figura 2.</b> Susceptibilidad a inundaciones y eventos de inundación 2013-2018 a nivel provincial. Fuente: SNGRE.....	68
<b>Figura 3.</b> Proceso metodológico para la evaluación de la amenaza de inundación y estrategias de reducción para el recinto San José de Camarón. ....	107
<b>Figura 4.</b> Localización del recinto Camarón, cantón Echeandia. ....	109
<b>Figura 5.</b> Localización de la micrucuenca del río Camarón, provincia Bolívar.....	110
<b>Figura 6.</b> Parámetros físicos de la microcuenca calculados mediante Sistema de Información Geográfica (Arcgis 10.8). ....	116
<b>Figura 7.</b> Pendiente promedio de la cuenca río Camarón. ....	117
<b>Figura 8.</b> Orden de la red hídrica de la microcuenca Camarón. ....	119
<b>Figura 9.</b> Forma de la microcuenca del río Camarón.....	120
<b>Figura 10.</b> Densidad de drenaje de la microcuenca del río Camarón. ....	121
<b>Figura 11.</b> Representación gráfica de la prueba de datos dudosos OUTLIER.....	142

<b>Figura 12.</b> Cálculo de precipitaciones máximas para diferentes períodos de retornos mediante Hydrognomon 4. ....	150
<b>Figura 13.</b> Curvas IDF. ....	157
<b>Figura 14.</b> Hietograma de precipitación de diseño para TR 50 años. ....	167
<b>Figura 15.</b> Hietograma de precipitación de diseño para TR 100 años. ....	170
<b>Figura 16.</b> Interfaz de HEC-HMS en la microcuenca río Camarón. ....	171
<b>Figura 17.</b> Valores de ingreso para HEC-HMS en la microcuenca río Camarón. ....	172
<b>Figura 18.</b> Hidrograma resultante para el período de retorno de 50 años. ....	173
<b>Figura 19.</b> Punto de aforo para TR 50 años.....	175
<b>Figura 20.</b> Hidrograma resultante para el período de retorno de 100 años. ....	176
<b>Figura 21.</b> Punto de aforo para TR 100 años.....	177
<b>Figura 22.</b> Resumen de cálculo de caudales por Método Racional y HEC-HMS en la microcuenca río Camarón. ....	179
<b>Figura 23.</b> Generación de la geometría del área de estudio (recinto San José de Camarón).....	180

<b>Figura 24.</b> Creación del mallado del área de estudio (recinto San José de Camarón). .....	181
<b>Figura 25.</b> Creación del MDE del área de estudio (recinto San José de Camarón). .....	181
<b>Figura 26.</b> Calado TR 50 años, modelamiento con IBER. ....	182
<b>Figura 27.</b> Velocidad TR 50 años, modelamiento con IBER. ....	183
<b>Figura 28.</b> Calado TR 100 años, modelamiento con IBER. ....	183
<b>Figura 29.</b> Velocidad TR 100 años, modelamiento con IBER. ....	184
<b>Figura 30.</b> Mapa de amenaza de inundación para TR 50 años y elementos expuestos del recinto San José de Camarón. ....	186
<b>Figura 31.</b> Mapa de amenaza de inundación para TR 100 años y elementos expuestos del recinto San José de Camarón. ....	188

## **INTRODUCCIÓN**

Las inundaciones son uno de los desastres naturales más frecuentes y destructivos del mundo, afectando tanto a comunidades rurales como urbanas. No solo ponen en peligro vidas humanas, sino también infraestructuras esenciales y ecosistemas frágiles. En países como Ecuador, este problema es aún más crítico debido a su diversidad climática. Las regiones de la Sierra, la Amazonía y la Costa experimentan condiciones meteorológicas únicas, lo que genera inundaciones con características distintas en cada zona. Por ellos es importante evaluar los riesgos y desarrollar políticas de gestión adaptadas a cada territorio.

El libro analiza la microcuenca del río Camarón, situada en el cantón Echeandía provincia de Bolívar, destacando cómo el uso exhaustivo de herramientas hidrológicas y geoespaciales facilita la evaluación local del riesgo de inundaciones. Este enfoque busca optimizar la gestión territorial y promover la adaptación de las comunidades ante eventos extremos. La obra aborda conceptos clave mediante un estudio integral que examina características morfométricas, como el tamaño de la cuenca, la inclinación del terreno, la extensión de los ríos y la densidad de la red hídrica. Estos indicadores son fundamentales para comprender el comportamiento y la acumulación del agua en la zona.

Entre las herramientas principales utilizadas destacan la modelación hidrológica mediante métodos racionales y software HEC-HMS, junto con la modelación hidráulica mediante plataformas como ArcGIS y el software libre IBER, que permiten simular eventos para periodos de

retorno de 50 y 100 años. Estos análisis generan mapas de amenaza y niveles de exposición a inundaciones que, combinados con un diagnóstico detallado de infraestructuras y población, constituyen la base para la formulación de estrategias de reducción de riesgos, tales como la restauración de humedales, reforestación, manejo sostenible de cuencas y planes de alerta temprana.

Este enfoque metodológico resulta fundamental en contextos como el de San José de Camarón, donde recientes eventos históricos de inundación, aunque no letales, han ocasionado daños materiales y desplazamientos temporales. La identificación precisa de zonas de mayor amenaza y elementos expuestos permite priorizar intervenciones y optimizar recursos en la gestión pública y comunitaria, promoviendo una cultura de prevención y acción integrada.

Asimismo, la obra reconoce la importancia de incorporar el cambio climático como factor amplificador de la amenaza, dado que el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos extremos hace necesario replantear políticas y prácticas para la adaptación. Este libro, por tanto, no solo ofrece una guía técnica para evaluar inundaciones, sino que también motiva a adoptar una mirada amplia, que integra ciencia, tecnología, gobernanza y participación social para asegurar un desarrollo sostenible y seguro.

## **CAPÍTULO I**

### **1 FUNDAMENTOS CONCEPTUALES DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN**

En este capítulo se desarrolla las bases conceptuales de la amenaza de inundación, que incluye la definición, clasificación, factores causales y las medidas de reducción de riesgos para los territorios.

#### **1.1 Definición de amenaza de inundación**

De acuerdo con el glosario internacional de hidrología (OMM/UNESCO, 1974), la definición oficial de inundaciones: “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”. En este caso, “nivel normal” se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas. (OMM, 2012).

La inundación se entiende como el proceso y resultado de cubrir terrenos, e incluso áreas pobladas con agua.

Según la directriz básica de planificación de protección civil frente al riesgo de inundaciones define la inundación como la sumersión temporal de áreas que normalmente se encuentran secas, debido a la llegada inusual y relativamente rápida de una cantidad de agua mayor a la habitual en una región específica. La Agencia Federal de Gestión de Emergencias de Estados Unidos (FEMA) establece un umbral para considerar una inundación como la inundación temporal completa o

parcial de al menos dos acres de terreno seco o de dos o más propiedades, es decir, un exceso de agua o barro sobre áreas que usualmente están secas. Finalmente, la más reciente directiva europea para la gestión del riesgo de inundaciones la conceptualiza como el “anegamiento temporal de terrenos que habitualmente no están cubiertos por agua” (Díez, Llorente, Ballesteros, & Ruiz, 2009).

Según CA Doswel (2003), menciona que la inundación es uno de los peligros meteorológicos más extensos en todo el mundo, capaz de ocurrir en cualquier lugar. Se define como el desbordamiento de agua sobre terrenos que habitualmente están secos. Aunque comúnmente se asocian a las lluvias intensas, las inundaciones pueden originarse por diversos procesos que no están directamente relacionados con eventos meteorológicos. Sin embargo, en última instancia, el agua que causa las inundaciones proviene de la precipitación atmosférica, ya sea reciente o pasada (C A Doswell, 2003).

La inundación es un proceso hidrometeorológico multifactorial que implica la cubierta temporal de agua en zonas terrestres normalmente secas. Este evento se produce cuando el volumen de agua, principalmente derivado de precipitaciones (ya sean lluvias intensas o acumulaciones prolongadas), excede la capacidad de absorción y conducción del sistema hidrográfico, ya sea natural o modificado por el ser humano (C A Doswell, 2003).

Aunque comúnmente las inundaciones se asocian con precipitaciones extremas, también pueden generarse por procesos secundarios no relacionados directamente con eventos meteorológicos inmediatos, tales

como deshielos rápidos, rupturas estructurales de presas o liberación de embalses, las inundaciones representan uno de los riesgos naturales más frecuentes y geográficamente extendidos, con capacidad de afectar zonas tanto rurales como urbanas en prácticamente cualquier región del planeta. La magnitud y duración del evento están condicionadas por factores como la topografía, características de la cuenca del suelo y capacidad del sistema de drenaje. Su análisis es esencial para la gestión del riesgo hídrico, la planificación territorial y la mitigación de desastres asociados (autores.2025).

## **1.2 Factores que influyen en las inundaciones**

Las inundaciones constituyen uno de los desastres naturales más dañinos a nivel global afectados por múltiples factores tanto naturales como antrópicos. Entre las causas naturales se destacan las lluvias fuertes, tormentas tropicales, el deshielo acelerado, las mareas de tormenta y fenómenos como los tsunamis. Por otra parte, las actividades humanas como la deforestación, la impermeabilización del suelo, la construcción en zonas inundables y la falla en infraestructuras hidráulicas amplifican la gravedad de estos eventos. El cambio climático intensifica estas causas, aumentando la frecuencia e intensidad de las inundaciones.

### **Factores naturales. Características climáticas.**

**Lluvias intensas.** Constituyen una de las principales causas de inundaciones a nivel global. Estos eventos se caracterizan por la caída de grandes volúmenes de precipitación en cortos periodos, lo que puede provocar que ríos, lagos y embalses superen su capacidad, generando desbordamientos. Además, cuando la lluvia supera la capacidad de

infiltración del suelo, se produce escorrentía superficial que inunda áreas circundantes. La saturación del suelo por precipitaciones prolongadas incrementa aún más la vulnerabilidad al anegamiento. La comprensión de estos procesos es fundamental para anticipar y mitigar el impacto de las inundaciones en las comunidades (ecoflow, 2025).

## **Tipos de precipitación**

Los principales tipos de precipitación se describen a continuación:

**Llovizna:** es una precipitación líquida constituida por pequeñas gotas de agua de diámetro menor a 0.5 mm, que parecen flotar en el aire y siguen su movimiento sin salpicar al caer (Sciortino, 2019).

**Lluvia:** una precipitación líquida con gotas mayores que las de la llovizna, que al caer generan salpicaduras y ondas en superficies. Su trayectoria puede inclinarse bajo influencia del viento (Sciortino, 2019).

**Nieve:** es la precipitación sólida formada por cristales prismáticos de hielo que se agrupan en copos con aire intermedio, son transportados fácilmente por el viento y se acumulan sin mojar (Sciortino, 2019).

**Nieve granulada:** es una precipitación sólida compuesta por pequeños gránulos opacos de hielo (2-5 mm), formados por agregación de agua líquida sobre cristales, que se rompen al tocar el suelo.

**Lluvia helada:** son gotas que se congelan al atravesar una capa fría del aire, formando una capa exterior sólida y un interior líquido, que se rompen al impactar el suelo (Sciortino, 2019).

**Aguanieve:** es una mezcla de nieve y lluvia que cae simultáneamente.

**Granizo:** es la precipitación sólida de granos semitransparentes formados en nubes cumulonimbus por congelación repetida y sucesiva de gotas, llegando a diámetros entre 5 y 50 mm, que caen con dureza y tamaño variable (Sciortino, 2019).

Las lluvias intensas, al concentrar un gran volumen de agua en un corto de tiempo, saturan rápidamente el suelo y aumenta de forma abrupta el caudal de los cuerpos de agua, lo que desencadena en inundaciones (Sciortino, 2019). En contraste, la llovizna y la lluvia ligera tienen un impacto marginal en el riesgo de inundación; sin embargo, las lluvias fuertes generan una considerable escorrentía superficial, superando la capacidad de absorción del terreno (Sciortino, 2019). Por otro lado, la nieve y la nieve granulada, al descongelarse, aportan un volumen hídrico adicional al escurrimiento fluvial, lo que puede causar el desborde de ríos. La lluvia helada es problemática porque forma una capa superficial de hielo que reduce la permeabilidad del suelo, lo cual disminuye la infiltración e incrementa la escorrentía (Sciortino, 2019) El aguanieve suma tanto volumen líquido como sólido, elevando el riesgo de anegamientos al sobrecargar el sistema hídrico, el granizo obstruye los sistemas de drenaje e incrementan la velocidad de la escorrentía, contribuyendo a la ocurrencia de inundaciones repentinas. Todos estos fenómenos meteorológicos son factores clave que afectan la vulnerabilidad hídrica de una zona y, por ende, son cruciales para el manejo del riesgo hidrometeorológico como las inundaciones.

### **Características geomorfológicas:**

Son las características propias de las cuencas hidrográficas en valores numéricos, los cuales permiten comparar en forma exacta una parte de la superficie terrestre con otra. Estos parámetros están relacionados con el régimen hidrológico de una cuenca o microcuenca, ya que es una función compleja de numerosos factores, entre los que predomina el clima y la forma del terreno en el cual se desarrolla el fenómeno. Los parámetros morfométricos de una cuenca influyen directamente en la amenaza de inundación son:

Área de la cuenca: Cuencas hidrográficas con más extensión incrementan el volumen de escorrentía y los caudales máximos, por lo que existe mayor probabilidad y magnitud de inundaciones.

Perímetro: Cuando es perímetro es irregular indica un drenaje más pronunciado, y acelera la concentración de caudales.

Longitud del cauce principal concentra el agua de escorrentía y provoca un incremento en la velocidad de los caudales

Ancho promedio: El ancho medio de la cuenca indica la concentración tiempo del flujo del agua durante la escorrentía. Por lo que las crecidas incrementan (Kirpich, 1940).

Pendiente. La pendiente alta incrementa la velocidad y la energía del flujo de agua en un cauce, lo que genera inundaciones.

Índice de compacidad Índice de compacidad o índice de Gravelius. Es un parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el

perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico (Hortón, 1945).

Factor de forma: mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas o lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños (Hortón, 1945).

Densidad de drenaje: Alta densidad implica mayor red de cauces para colectar y conducir agua, aumentando la velocidad y volumen de escorrentía (Masana García, M. Málaga Gonzalez, L. Campos Cruzado, R y otros. , 2014).

Red de drenaje: La jerarquía y orden de la red definen cómo se canaliza el flujo, afectando el tiempo de concentración y riesgo de inundación.

### **Factores antrópicos – actividades humanas**

Entre los factores antrópicos que contribuyen de manera significativa la probabilidad de que un evento natural se convierta en una amenaza y vulnerabilidad del territorio se menciona: (BID, 2016)

**Cambio de Uso de Suelo y Urbanización.** La construcción de ciudades, carreteras y otras infraestructuras reemplaza la vegetación y el suelo permeable por superficies impermeables (concreto, asfalto). Esto impide la infiltración del agua de lluvia, aumentando drásticamente la escorrentía superficial y su velocidad, lo que sobrecarga los sistemas de drenaje y los cauces de los ríos, provocando desbordamientos (BID, 2016).

**Asentamientos en zonas de riesgo:** la ocupación, invasión y construcción de viviendas o infraestructuras en llanuras de inundación (áreas naturales de desborde de los ríos), en humedales o en zonas costeras bajas. Esto no solo expone a más personas y bienes al peligro, sino que interfiere con el flujo natural del agua (BID, 2016).

**Deforestación y manejo inadecuado de cuencas:** La Pérdida de la capacidad de retención, la tala de bosques, especialmente en las zonas altas de las cuencas, elimina la vegetación que actúa como una esponja natural, absorbiendo y ralentizando el flujo del agua de lluvia. La deforestación acelera la escorrentía superficial y aumenta la cantidad de agua que llega rápidamente a los ríos, incrementando los caudales pico (BID, 2016).

**Erosión y Sedimentación:** La falta de cubierta vegetal expone el suelo a la erosión lo que provoca que los sedimentos son arrastrados a los ríos, reduciendo la capacidad del cauce (azolve) y de las infraestructuras hidráulicas (embalses, canales), facilitando el desbordamiento (BID, 2016).

**Modificaciones Fluviales e Infraestructura:** La construcción de diques y canales si bien buscan proteger ciertas áreas, a menudo desplazan el problema a zonas río abajo o no protegidas, una falla en la infraestructura hidráulica (como la rotura de un dique o presa) puede ocasionar inundaciones mucho más desastrosas (BID, 2016).

**Invasión y canalización de ríos:** La reducción de la sección natural del río (estrechamiento), el relleno de meandros o la construcción cerca del

cauce limitan el espacio del río para manejar grandes caudales, lo que aumenta la altura del agua y la probabilidad de desborde (BID, 2016).

**Residuos Sólidos y Drenaje:** la Obstrucción de sistemas de drenaje por la disposición inadecuada de basuras y otros residuos sólidos en las ciudades y cuencas, así como su arrastre por la lluvia, tapan alcantarillas, sumideros y canales de drenaje. Esto provoca un rápido encharcamiento e inundaciones urbanas (o pluviales) (BID, 2016).

**Cambio Climático de Origen Antrópico:** el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero por actividades humanas (industria, transporte, etc.) intensifica las variaciones del cambio climático y como consecuencia inmediata un incremento en la frecuencia e intensidad de las lluvias extremas y los fenómenos hidrometeorológicos (huracanes, tormentas), que son la causa primaria de las inundaciones (BID, 2016).

**Elevación del nivel del mar:** el calentamiento global provoca el derretimiento de los hielos y la expansión térmica del agua, elevando el nivel medio del mar, lo que intensifica las inundaciones costeras y la penetración de mareas de tormenta (BID, 2016).

Las acciones antrópicas incrementan la amenaza de inundaciones al alterar el ciclo hidrológico. La urbanización e impermeabilización del suelo aumentan la escorrentía rápida. La deforestación reduce la capacidad de absorción de la cuenca. La ocupación de llanuras aluviales y la obstrucción de drenajes con basura limitan el espacio para el agua. Además, el cambio climático antrópico intensifica las lluvias extremas, haciendo que los eventos sean más frecuentes y severos.

### 1.3 Clasificación o tipo de inundaciones

Las inundaciones se clasifican según su origen, el impacto, la duración e intensidad.

#### **Inundaciones según su origen**

De acuerdo a su origen se encuentran:

**Inundaciones pluviales.** Causada por las precipitaciones y generalmente se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de la lluvia comienza a acumularse. La característica principal es que esta agua acumulada resulta del agua precipitada en dicha zona y no la que viene de otra parte.

**Inundaciones Fluviales.** Resulta cuando el agua que se desborda de los ríos se queda sobre la superficie terrestre cercano a ellos. A diferencia de las inundaciones pluviales, este tipo de inundaciones el agua que se desborda sobre terrenos adyacente es producto de las precipitaciones que se produjeron en la cualquier parte de cuencas tributarias y no necesariamente de las lluvias ocurridas en el área afectada.

**Inundaciones costeras.** Se define como el ascenso del nivel medio del mar, generado principalmente por la acción combinada del viento y la baja presión atmosférica que acompaña a los ciclones tropicales. El incremento en el nivel del mar favorece la entrada de agua salada hacia el interior en regiones costeras, inundando amplias extensiones de terreno. Además, el movimiento de las olas, producido principalmente por el viento, intensifica los impactos de la marejada ciclónica,

incrementando la energía del agua en la costa. La combinación de estos fenómenos puede ocasionar daños considerables en las áreas afectadas.

### **Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica**

La insuficiencia en la capacidad de las infraestructuras diseñadas para la protección contra inundaciones representa una de las causas más severas de eventos inundatorios. En casos donde estas obras hidráulicas, tales como presas, diques o bordos, no funcionan adecuadamente ya sea por deficiencias en su diseño, falta de mantenimiento, operación inadecuada o desgaste por envejecimiento, la falla estructural desencadena inundaciones de mayor magnitud y suele ser más grave debido a la rápida liberación no controlada de grandes volúmenes de agua, incrementando así los daños potenciales en zonas habitadas y áreas vulnerables (Salas, M. Jimenez, M, 2007).

#### **1.4 Medidas de reducción ante inundaciones**

El manejo de los riesgos por inundaciones en Ecuador representa un desafío complejo que requiere enfoques técnicos y estratégicos ajustados a las particularidades regionales del país (BID, 2017). En este sentido, es crucial adoptar un enfoque integrado que incluya evaluaciones detalladas de vulnerabilidad junto con políticas vinculantes de uso del suelo, ya que solo así es posible disminuir el riesgo total de inundaciones (BID, 2017). La gestión debe ser flexible e inclusiva, incorporando activamente a las comunidades y mejorando la coordinación entre instituciones, con el fin de asegurar una respuesta eficiente y sostenible (BID, 2017). La combinación de expertise técnico, normativas obligatorias y la participación ciudadana es clave para

mitigar de manera más efectiva y duradera el riesgo de inundaciones en un entorno tan diverso y complejo como el ecuatoriano adaptativa y participativa, involucrando a las comunidades y fortaleciendo la coordinación institucional para una respuesta efectiva y continua (BID, 2017). Esta integración entre conocimientos técnicos, regulaciones vinculantes y participación social garantiza una reducción más eficaz y sostenible del riesgo por inundaciones en un contexto tan heterogéneo y complejo como el de Ecuador.

Entre las medidas se indican:

### **Medidas de protección contra inundaciones basadas en la naturaleza.**

Históricamente, la mayoría de los planes de gestión del riesgo de inundaciones han dependido de medidas convencionales de ingeniería, denominadas comúnmente como ingeniería “dura” o infraestructura “gris” (BID, 2017). Estas incluyen la construcción de terraplenes, presas, diques y canales que buscan controlar el flujo de agua y minimizar el impacto de las inundaciones. Sin embargo, actualmente, ha surgido un enfoque complementario y alternativo basado en el concepto de “soluciones basadas en la naturaleza” o “infraestructura verde” (BID, 2017). Estas soluciones aprovechan los procesos naturales y los servicios eco sistémicos para cumplir funciones como la reducción de riesgos por inundación y la mejora de la calidad del agua. Las intervenciones adoptan formas completamente naturales, utilizando únicamente elementos del ecosistema, o ser híbridas, combinando estructuras naturales con técnicas de ingeniería dura. Este enfoque

representa una manera más sostenible y adaptativa de gestionar los riesgos hidrológicos, favoreciendo la resiliencia ambiental y social frente a eventos extremos. (BID, 2017). Entre las “soluciones basadas en la naturaleza” o “infraestructura verde” se menciona:

**Restauración de humedales:** los humedales son verdaderas esponjas naturales que absorben y almacenan el exceso de agua de lluvia, a la vez ayudan a reducir los picos de inundación; por ello es fundamental considerar la restauración de los humedales degradados para mejorar la adaptación a la variabilidad climática y la resiliencia a las inundaciones ya que constituyen una barrera viva contra los fenómenos hidrometeorológicos extremos. Entre las actividades que se implementan son: la participación activa de las comunidades, habitantes e instituciones locales durante los procesos de planificación, toma de decisiones, desarrollo de políticas, implementación de prácticas y monitoreo, para que esto sea viable es necesario impartir a los involucrados una educación ambiental y una adecuada comunicación durante todos los procesos, que permita conocer, identificarse y empoderarse de las problemáticas y soluciones planteadas.

“Conocimiento y divulgación de estrategias para la protección y aprovechamiento sostenible de los humedales, como el Convenio de Ramsar. Este acuerdo global fomenta la preservación y el manejo responsable de estos ecosistemas, destacando su papel fundamental en el mantenimiento de la biodiversidad.” (BID, 2017), el abastecimiento de agua y la mitigación de riesgos naturales. En la región andina, todos los países son signatarios de esta convención, la cual enfatiza la participación coordinada de distintos actores: gobiernos nacionales y

locales, comunidades locales, sector productivo, organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas y la cooperación internacional. Este enfoque multisectorial es fundamental para garantizar una gestión sostenible de los humedales.

La convención impulsa la planificación y ejecución de prácticas de conservación y restauración que consideran los servicios ecosistémicos que los humedales proporcionan, tales como regulación hídrica, control de inundaciones, y mantenimiento de la biodiversidad. Los humedales desempeñan un papel crucial al amortiguar eventos hidrológicos extremos, regulando caudales y reduciendo la vulnerabilidad ante inundaciones (Ochoa, A. Suárez, E. Boris, F. Ochoa, T. et.al, 2021).

**Reforestación para el control de inundaciones:** Los bosques actúan como reguladores naturales del ciclo hidrológico, controlando la amenaza de inundaciones a través de múltiples mecanismos. Su densa cubierta vegetal intercepta la precipitación, reduciendo la velocidad de escorrentía superficial y permitiendo una mayor infiltración en el suelo, lo que disminuye el volumen y la intensidad de las crecidas en ríos y arroyos. Además, las raíces estabilizan el suelo evitando erosión y deslizamientos que pueden agravar las inundaciones. La capacidad de los bosques para retener agua durante eventos lluviosos y liberarla gradualmente contribuye a la regulación del caudal y a la reducción del riesgo de esta amenaza (worldwildlife.org, 2025).

## CAPÍTULO II

### 2 IMPACTOS DE LAS INUNDACIONES EN EL TERRITORIO

El análisis de los desastres hidrológicos en el siglo XXI requiere un marco conceptual que reconozca la creciente incertidumbre climática. Las inundaciones, entendidas como fenómenos extremos exacerbados por el cambio en los patrones de precipitación, no solo causan daños directos, sino que generan una compleja red de costos indirectos que afectan el desarrollo socioeconómico a largo plazo.

La clasificación académica recogida en varios estudios como por ejemplo (Khalid & Ali, 2020) diferencia entre los daños directos, que son el impacto físico inmediato en bienes, infraestructura crítica (carreteras, puentes, sistemas de agua potable y residual, escuelas, hospitales), zonas agrícolas, industriales y la pérdida de vidas humanas; y los costos indirectos, que surgen de la interrupción de actividades económicas, la pérdida de empleo, y el desabastecimiento de bienes y servicios esenciales. Esta distinción es crucial, ya que la valoración puramente monetaria de los daños directos, a menudo capturada en las primeras etapas de respuesta, tiende a subestimar el impacto real y duradero de un evento sobre una región (González & London, 2021).

Es de esa manera que este capítulo abordará los impactos de las inundaciones, partiendo de una escala global, pasando por la nacional hasta llegar a la provincia Bolívar pero abordando también estas afectaciones desde los distintos puntos de vista mencionados en el párrafo anterior, incluyendo cifras y algunos casos emblemáticos que

permitan ejemplificar de una manera más clara las consecuencias que pueden llegar a traer este fenómeno no solo de manera inmediata sino aquellos efectos derivados del impacto inicial.

## **2.1 Impactos de las inundaciones en el contexto mundial**

Los datos globales confirman la tendencia creciente y el carácter predominantemente urbano de la amenaza por inundaciones. El CRED(*Centro de Investigación Sobre La Epidemiología de Los Desastres (CRED) | PreventionWeb*, n.d.), a través de su base de datos EM-DAT, define un desastre como un evento que supera la capacidad local y requiere asistencia externa(*EM-DAT - The International Disaster Database*, n.d.). Al monitorear los peligros y desastres a nivel mundial desde 1988, los datos históricos del (*Dartmouth Flood Observatory*, n.d.)revelaron que, de los 3713 casos de inundaciones registrados en el planeta entre 1985 y 2010, la mayor parte ocurrió en zonas urbanas.

Esta concentración de eventos en áreas urbanizadas sugiere que el factor principal de las pérdidas catastróficas por inundaciones es la alta exposición y la vulnerabilidad inducida por la ocupación territorial, más que la simple intensidad de la precipitación. La urbanización y el aumento de la población en llanuras de inundación actúan como factores que amplifican el nivel de riesgo (Arreguín-Cortés, 2016), mucho más si se tienen en cuenta que históricamente el ser humano ha tendido a asentarse cerca de cuerpos hídricos y gran parte del crecimiento urbano y metropolitano se ha dado en torno a zonas de influencia hídrica donde la escala de la exposición humana es masiva. Según la recopilación de cifras recogida por (Salhab & Rentschler, 2020), y descritas en la tabla

1; el Banco Mundial estima que casi 1500 millones de personas en todo el mundo enfrentan al menos un riesgo moderado de inundación. Este nivel de exposición global impulsa la necesidad de integrar la gestión de riesgos por inundaciones y fenómenos hidrometeorológicos en la planificación del desarrollo, adoptando un enfoque estratégico que involucre a todos los actores interesados, especialmente en las ciudades de rápida expansión.

*Tabla 1. Exposición global y tendencias de inundaciones.*

<b>Métrica de Impacto</b>	<b>Período</b>	<b>Valor Cuantitativo</b>	<b>Implicación Analítica</b>
Inundaciones Reportadas en Áreas Urbanas	1985-2010	Mayoría de 3713 casos	La urbanización no planificada es el principal motor de riesgo.
Población Expuesta a Riesgo de Inundación	Actual	1470 millones de personas	Subraya la necesidad de políticas globales de reubicación y mitigación urbana.

*Fuente:* (Arreguín-Cortés, 2016), (Salhab & Rentschler, 2020).

A continuación, se mostrarán algunas estadísticas actualizadas y distintos tipos de impactos a través de casos recientes y emblemáticos de afectaciones por inundaciones, en vista de que se han consolidado como el fenómeno natural de mayor recurrencia a nivel mundial, constituyendo una amenaza crónica que socava el desarrollo sostenible

y la estabilidad social. Los datos de la Base de Datos Internacional de Desastres (*EM-DAT - The International Disaster Database*, n.d.) indican que aproximadamente dos tercios (2/3) de todos los desastres registrados están relacionados con peligros naturales. Dentro de esta categoría, los eventos hidrometeorológicos, y específicamente las inundaciones, dominan las estadísticas de frecuencia (Delforge et al., 2025).

La dominancia de las inundaciones en las estadísticas de frecuencia (a menudo denominadas "fichas" en los sistemas de registro de desastres) garantiza una acumulación masiva y constante de pérdidas económicas y sociales a lo largo del tiempo. Mientras que eventos catastróficos singulares, como terremotos o grandes tormentas, pueden concentrar un mayor número de fatalidades o pérdidas monetarias ajustadas en un año específico, la persistencia de las inundaciones diezma de manera incremental los presupuestos nacionales y los recursos de respuesta, agotando la capacidad de las comunidades para recuperarse entre eventos (Ivan et al., 2016). Esta frecuencia crónica representa un desafío de gestión del riesgo de origen hidrometeorológico, el cual debe abordarse desde la planificación territorial de manera integral.

Diversos expertos señalan que, si bien la cantidad de desastres naturales registrados cada año muestra un incremento, dicho aumento no necesariamente refleja una mayor frecuencia de eventos naturales extremos, sino que puede deberse a mejoras en los sistemas de monitoreo, reporte y una mayor cobertura mediática a nivel global. Significativamente entre 1970 y 2024, esta tendencia refleja no solo un posible incremento real en la frecuencia e intensidad de los eventos, sino también una mejora sustancial en las capacidades de monitoreo, reporte

y documentación de desastres por parte de agencias como EM-DAT, la cual compila información de múltiples fuentes, incluyendo agencias de la ONU, ONG y compañías de seguros.

La escala del riesgo de inundación es amplia y afecta desproporcionadamente a las regiones más vulnerables del planeta. Se estima que alrededor de 1470 millones de personas en todo el mundo enfrentan al menos un riesgo moderado de inundación. Esta cifra alarmante representa casi una quinta parte de la población global, subrayando que la gestión del riesgo de inundaciones es fundamentalmente un desafío de planificación urbana y protección social a escala planetaria, pero con mayor énfasis para las áreas en desarrollo.

Un elemento crítico del riesgo global es que si se analiza la superposición de las áreas de alta exposición a inundaciones con los focos de pobreza extrema, se pueden encontrar los mayores impactos históricos, así como las zonas con mayor vulnerabilidad a verse afectadas. El Banco Mundial ha destacado que esta coincidencia geográfica establece a la inundación no solo como un evento físico, sino como un poderoso multiplicador de la desigualdad y un obstáculo directo para la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Las poblaciones que ya carecen de infraestructura resiliente, acceso a seguros o reservas de capital son las que sufren el impacto más prolongado y devastador, siendo incapaces de absorber la pérdida de patrimonio y quedando atrapadas en un ciclo de dependencia post-desastre (Banco et al., 2024).

### **2.1.1 Impactos directos**

Como se mencionó al inicio del capítulo, los daños directos, están relacionados con el impacto físico inmediato en bienes, infraestructura crítica (carreteras, puentes, sistemas de agua potable y residual, escuelas, hospitales), zonas agrícolas, industriales y la pérdida de vidas humanas en los primeros instantes de la materialización de la inundación. A continuación, se citan algunos ejemplos en escenarios internacionales.

#### **Mortalidad global y tendencias (cuantificación de pérdidas de vida)**

Si bien las estadísticas de fatalidades varían anualmente dependiendo de la ocurrencia de sismos o mega tormentas, las inundaciones contribuyen de forma constante y significativa a la mortalidad global por desastres. Las muertes asociadas a inundaciones suelen estar ligadas a fenómenos agudos como las inundaciones relámpago, el colapso de infraestructuras de protección (diques o represas) o los deslizamientos de tierra inducidos por la saturación del suelo.

La vulnerabilidad estructural y la densidad poblacional en zonas de riesgo son factores clave que magnifican las pérdidas humanas, especialmente en el Sur y Sudeste Asiático, y en las costas bajas de África y América Latina (López Trashorras, 2025).

#### **Desplazamientos forzados**

El desplazamiento masivo de personas es una de las consecuencias humanitarias más graves y persistentes de las inundaciones. Los fenómenos de inundación y sequía combinados provocaron 8 millones

de desplazamientos solo el año pasado en los diez países más afectados, una cifra que duplica la registrada en la década anterior. Este aumento exponencial en el desplazamiento subraya la creciente inestabilidad climática y la inadecuada planificación territorial (Renner, 2013).

El desplazamiento no debe considerarse un efecto secundario menor, sino una crisis de movilidad y desarraigo que supera rápidamente la capacidad de respuesta de los gobiernos nacionales, particularmente en países con bajos y medianos ingresos. La urgencia de la financiación para pérdidas y daños es fundamental, ya que organizaciones humanitarias como Oxfam enfatizan que el desplazamiento y el consecuente aumento del hambre representan una obligación moral y práctica para los países desarrollados que son históricamente los mayores emisores de gases de efecto invernadero.

La pérdida del hogar y los desplazamientos prolongados conllevan severos efectos psicosociales que persisten mucho después de que las aguas se han retirado. A nivel territorial, el desplazamiento masivo puede generar una diáspora climática, alterando permanentemente la demografía y la estructura social de regiones enteras. El Huracán Katrina en Estados Unidos en 2005 es un ejemplo paradigmático, donde la migración forzada de los habitantes de Nueva Orleans y las zonas costeras de Misisipi modificó permanentemente el tejido social y económico local. La pérdida de infraestructura crítica, como viviendas y servicios, compromete el normal desarrollo a largo plazo de las comunidades afectadas, forzando la migración permanente y generando un desequilibrio territorial (Dolfman et al., 2007).

## **Estudios de caso: Pakistán 2022: Un desastre de vulnerabilidad climática**

Las inundaciones monzónicas que asolaron Pakistán en 2022 ejemplifican la desproporcionalidad del impacto climático. A pesar de que Pakistán contribuye con menos del uno por ciento de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, su vulnerabilidad al cambio climático es extremadamente alta. Las inundaciones causaron inicialmente más de 700 muertes solo en los primeros meses del evento, aunque las cifras finales de la temporada superaron significativamente este recuento(Naveed, 2023). El impacto humanitario fue particularmente severo debido a que el fenómeno golpeó de manera desproporcionada a los hogares más pobres en las áreas menos desarrolladas del país.

## **Europa 2021: El riesgo en países desarrollados**

Las inundaciones de julio de 2021 en Europa Central demostraron que ninguna región está exenta del riesgo hidrometeorológico extremo. Estas inundaciones, concentradas en Bélgica y Alemania, dejaron al menos 230 personas muertas. Este evento fue una llamada de atención sobre la idea de la resiliencia en economías avanzadas, mostrando que incluso con sistemas de protección de alta ingeniería, la intensidad de eventos agravados por el cambio climático puede superarlos(ONU, 2021). Investigaciones subsecuentes han señalado que, si bien los países en desarrollo históricamente han soportado la mayor presión en términos de pérdidas de vidas y medios de subsistencia, cuando los investigadores recalcularon los riesgos en el tiempo, se determinó que las áreas

desarrolladas (como los deltas) enfrentan los mayores incrementos en vulnerabilidad debido a los crecientes costes de reemplazo y reconstrucción de la infraestructura de alto valor (López Armero et al., 2021).

### **Asia Meridional y Oriental 2023: Deslizamientos y lluvias monzónicas**

En Asia Meridional sufre inundaciones y deslizamientos de tierra de forma habitual durante la temporada monzónica (junio a septiembre), pero los eventos recientes han mostrado una intensidad agravada. En el estado de Punjab, India, las inundaciones de 2025 causaron al menos 29 muertes (Grupo REFORMA, 2025). En otras regiones de la India, intensas lluvias monzónicas provocaron deslizamientos de tierra que causaron la muerte de al menos una treintena de personas en la provincia de Yamu, obligando a miles a evacuar sus hogares (AP, 2025).

El patrón se repitió en Asia Oriental, donde las inundaciones en los suburbios de Pekín, China, dejaron un saldo de al menos 30 muertos y 9 desaparecidos, forzando la evacuación de más de 82000 personas por precaución. Los expertos coinciden en que estos desastres son el resultado de la intensificación del cambio climático combinado con un desarrollo y una planificación territorial deficientes que se reflejan en una urbanización desordenada que aumenta la frecuencia y gravedad de los impactos (RTVE, 2025).

La siguiente tabla 2; resume la exposición global y las pérdidas humanas directas en casos de estudio seleccionados.

*Tabla 2. Exposición poblacional global y desplazamiento por inundaciones.*

<b>Indicador humanitario</b>	<b>Cifra cuantificada</b>	<b>Fuente/contexto</b>
Población mundial expuesta a riesgo moderado/alto de inundación	1470 millones de personas	Banco Mundial
Desplazamientos internos anuales (países más afectados, inducidos por inundaciones/sequías)	8 millones (cifra duplicada respecto a la década anterior)	Oxfam
Fatalidades en Europa por inundaciones (Alemania y Bélgica, 2021)	230 personas	La Razón
Fatalidades iniciales por inundaciones monzónicas (Pakistán, 2022)	>\$700 personas	Noticias ONU

### **2.1.2 Impactos indirectos o pérdidas agregadas**

Tienen que ver con los costos indirectos, que surgen de la interrupción de actividades económicas, la pérdida de empleo, y el desabastecimiento de bienes y servicios esenciales, entre otros.

#### **Daño, pérdida y necesidad**

Para evaluar el impacto económico de las inundaciones, es fundamental utilizar la terminología estandarizada de las evaluaciones post-desastre (PDNA). El Daño se refiere a la destrucción física inmediata del capital (estructuras, maquinaria). La Pérdida cuantifica los flujos económicos interrumpidos post-evento (pérdida de ingresos, producción detenida). Finalmente, las Necesidades de recuperación y reconstrucción a menudo

superan la suma de Daño y Pérdida, ya que incluyen mejoras de resiliencia y costos operativos futuros. Las inundaciones generan pérdidas que se miden en miles de millones de dólares, independientemente del nivel de desarrollo del país afectado.

### **Estudios de Caso: El costo sistémico y la falla de protección (Huracán Katrina, EE. UU., 2005)**

El Huracán Katrina, a pesar de ser un evento de tormenta, causó la mayor parte de su destrucción debido a las inundaciones masivas en el área metropolitana de Nueva Orleans, provocadas por la falla de los sistemas de diques. El desastre resultó en 1833 fatalidades.

El impacto sobre la infraestructura residencial y comercial fue catastrófico: más de 200.000 hogares y negocios fueron destruidos. A nivel financiero, Katrina es un referente: generó pérdidas aseguradas por más de 41.1 mil millones de USD, con el 63% de estas pérdidas concentradas solo en el estado de Louisiana. Es importante señalar que el valor de los reclamos pagados por la industria privada de seguros fue más del doble de los desembolsos realizados por el programa gubernamental de seguro contra inundaciones, lo que demuestra la inmensa magnitud de los daños (Dolfman et al., 2007).

La tragedia de Katrina es un ejemplo claro de cómo las inundaciones masivas exponen fallas en la gobernanza y los sistemas de protección. La magnitud del impacto fue magnificada por el sistema de diques incompletos y la falta de preparación para un evento de esa escala. El impacto masivo fue, en gran medida, un desastre de origen antrópico (inducido por fallas de ingeniería y políticas públicas) más que

simplemente un riesgo natural. La diáspora forzada que siguió alteró permanentemente la demografía de la región, un efecto social y político que perdura hasta el día de hoy (Labib, 2014).

### **Vivienda y servicios sociales (Caso Pakistán 2022)**

Según (World Bank Group, 2022), la evaluación de necesidades post-desastre (PDNA) realizada por el Banco Mundial y socios tras las inundaciones de Pakistán en 2022 ofrece una cuantificación detallada de los impactos en los sectores sociales. Estos datos desagregados son cruciales para entender el alcance real de la destrucción desde el punto de vista humano y social.

El sector de la Vivienda fue el más afectado en términos de daño físico, cuantificándose en 1,200 mil millones de rupias pakistaníes (PKR), equivalente a aproximadamente \$5586 millones de USD. Las necesidades de reconstrucción se estimaron en \$2757 millones de USD.

El daño en el sector Educación alcanzó los 120 mil millones de PKR (cerca de \$559 millones de USD), reflejando la destrucción de miles de escuelas. Las pérdidas en el sector Salud fueron de 23 mil millones de PKR (\$109 millones de USD).

El impacto en estos sectores sociales representa un estancamiento o la reversión del desarrollo humano. La afectación en infraestructura de salud y educación no es solo un costo de reemplazo (Daño); la pérdida de capital humano por cierres escolares prolongados y la amenaza de brotes de enfermedades y escasez de alimentos tendrán un impacto económico duradero en los resultados de aprendizaje y la productividad

futura. Las necesidades de reconstrucción en el sector salud (\$188 millones de USD) y educación (\$918 millones de USD) superan las pérdidas inmediatas, reflejando la necesidad de reconstruir con mejores estándares de resiliencia.

**Tabla 3. Daño, pérdida y necesidades post-desastre - Pakistán 2022 (sectores sociales).**

<b>Sector Social</b>	<b>Daño (Millones US\$)</b>	<b>Pérdida (Millones US\$)</b>	<b>Necesidades (Millones US\$)</b>
Vivienda	5586	636	2757
Salud	109	34	188
Educación	559	219	918
Cultura y Patrimonio	6	7	9
<b>Total Sectores Sociales</b>	<b>6261</b>	<b>896</b>	<b>3872</b>

*Fuente:* (World Bank Group, 2022).

### **2.1.3 Impactos sistémicos e interdependencia**

Son todas aquellas afectaciones que se derivan de un impacto inicial y a su vez pueden desencadenar otros impactos adicionales, los cuales generalmente mantienen una permanencia continua y duradera.

## **1. En la infraestructura**

A nivel de infraestructura, las inundaciones rara vez destruyen un solo tipo de infraestructura; en cambio, provocan fallas en cascada en sistemas interdependientes.

Transporte (Lifelines Físicas): El daño a carreteras y puentes es un factor que puede transformar una inundación localizada en un desastre sistémico. La interrupción del transporte terrestre dificulta el acceso de equipos de emergencia y la restauración de servicios esenciales. Un riesgo técnico clave es la vulnerabilidad de los puentes a la socavación provocada por los flujos hídricos extremos, lo que compromete la estabilidad estructural de las redes de comunicación a largo plazo. En muchos países, el sistema de carreteras es la única alternativa viable para el transporte, amplificando el impacto de su colapso.

Energía Eléctrica (Lifelines Operacionales): La inundación de subestaciones y equipos causa fallas masivas de energía, como se observó tras el Huracán Sandy. Sin embargo, el costo inmediato del apagón es solo la punta del iceberg. El análisis más profundo revela el costo oculto de la infraestructura dañada. La exposición al agua (especialmente agua salada o contaminada con sedimentos) introduce desperfectos ocultos en los equipos eléctricos. Si estos equipos son simplemente "reacondicionados" y puestos en servicio sin una evaluación rigurosa, su vida útil restante puede reducirse a la mitad de lo que habría sido antes del evento. Esta degradación invisible obliga a los operadores a acelerar significativamente sus estrategias de inversión y reemplazo de capital, incurriendo en costos posteriores muy elevados

que no son evidentes en la evaluación de daños inicial. La resiliencia de la infraestructura de un territorio, que incluye activos físicos, procesos, tecnologías y organizaciones, requiere un enfoque sistémico para garantizar servicios críticos ininterrumpidos.

## **2. En los medios de vida**

A nivel de los Medios de Vida, también los efectos en cascada son muy importantes y severos, uno de los principales tiene que ver con los efectos en la agricultura, lo que influye directamente sobre la seguridad alimentaria. El impacto de las inundaciones en la agricultura tiene ramificaciones directas sobre la seguridad alimentaria a nivel regional. Los cultivos, la ganadería y la acuicultura son particularmente susceptibles a la destrucción total. Los países de Asia, América Latina y el Caribe son las regiones más afectadas por las inundaciones en términos de daños a los cultivos.

Un ejemplo claro se vio en las inundaciones de Punjab, India, en 2023 y 2025, donde las intensas lluvias monzónicas anegaron más de 940 kilómetros cuadrados de tierra agrícola, una región considerada el "granero de India". Esto resultó en pérdidas devastadoras de cosechas y, potencialmente, una enorme pérdida de ganado, cuya magnitud total solo se determina tras el descenso de las aguas (PIA, 2025).

La destrucción agrícola desencadena un mecanismo que asegura una espiral de pobreza inducida por desastres. La pérdida de cosechas implica la pérdida del ingreso anual de los pequeños agricultores. Para hacer frente a la necesidad inmediata de supervivencia (alimentos o refugio temporal), estos hogares recurren a estrategias de supervivencia

negativas, como la venta de ganado o de bienes agrícolas esenciales. Al liquidar estos activos, están destruyendo su capital productivo. Esta acción erosiona irreversiblemente su capacidad para invertir en equipo, semillas o reparaciones en las próximas temporadas de siembra. Consecuentemente, el desastre asegura una dependencia prolongada de la asistencia alimentaria y humanitaria, revirtiendo años de desarrollo económico rural y consolidando la pobreza estructural.

### **3. En la infraestructura productiva y el comercio**

Las inundaciones tienen un impacto severo en la infraestructura que sostiene la actividad económica, en particular los puertos y las instalaciones de la industria pesada. El daño a centros logísticos clave, interrumpe cadenas de suministro críticas y afecta el comercio regional e internacional por períodos prolongados. Un ejemplo claro fueron los efectos colaterales en la economía tras Katrina con el impacto sobre el Puerto de Nueva Orleans.

A nivel local, el daño a las propiedades productivas se cuantifica directamente. En el contexto de Ecuador, por ejemplo, los registros muestran categorías específicas de afectación que incluyen "Daños cultivos Ha" y la pérdida de "Ganado". Las inundaciones en provincias como Bolívar en Ecuador han resultado en la destrucción de plantaciones y en la afectación de cientos de viviendas, lo que impacta directamente en la economía local y la seguridad de los medios de vida.

#### **4. En los aspectos sociales, sanitarios y psicológicos**

Las inundaciones generan una crisis de salud pública inmediata y posterior, debido a la interrupción de los servicios básicos y la exposición a contaminantes. El daño a la infraestructura de salud es cuantificable (por ejemplo, \$109 millones de USD en daños directos a la salud en Pakistán en 2022, pero el costo epidemiológico es mucho mayor (World Bank Group, 2022).

Las inundaciones están intrínsecamente asociadas con un incremento en el riesgo de infecciones de tejidos blandos, diarreas, infecciones respiratorias y, de manera crónica, enfermedades transmitidas por vectores (como mosquitos) y animales hospederos. La principal causa de este riesgo es la contaminación del agua potable, la cual ocurre cuando las crecidas desbordan y mezclan sistemas de saneamiento y fuentes de agua limpia. La interrupción de la energía eléctrica causada por la inundación también puede detener las plantas de tratamiento de agua y los sistemas de bombeo, magnificando el riesgo sanitario. La recuperación de este sector es prioritaria, como lo reflejan los \$188 millones de USD requeridos para la reconstrucción del sector salud en Pakistán.

Más allá de la destrucción física y la enfermedad, las inundaciones dejan un legado de trauma psicológico profundo. El Trastorno de Estrés Postraumático (TEPT) es el principal trastorno psiquiátrico secundario a un desastre, afectando hasta al 30-40% de las víctimas directas. La depresión es el segundo trastorno más frecuente reportado en

poblaciones afectadas, principalmente en grupos prioritarios como adultos mayores (Song et al., 2025).

Un análisis crucial en contextos de alta desigualdad, como en América Latina, revela que el impacto psicológico es amplificado por la precarización socioeconómica. Las investigaciones sobre la inundación de La Plata, Argentina, en 2013 (que causó más de 200 muertes) demostraron que las personas que sufrieron el mayor impacto material y que se encontraban en una situación de mayor vulnerabilidad económica y social experimentaron consistentemente mayores síntomas de estrés postraumático y un menor bienestar subjetivo (Azzolini & Simkin, 2023).

Esta relación indica que la pérdida material no es solo una tragedia económica; se convierte en un factor de estrés secundario que prolonga y agrava la reacción psicológica. La dificultad para acceder a las necesidades básicas y la inseguridad económica post-desastre evitan la recuperación a nivel mental. Por lo tanto, el manejo de la salud mental después de una inundación no puede aislarse de la provisión de apoyo económico, vivienda y protección social. Los efectos psicosociales, incluyendo la pérdida del sentido de pertenencia y de los espacios comunitarios, perduran en el tiempo y, si no se abordan adecuadamente, pueden complicar la reconstrucción y causar daños duraderos en la estructura comunitaria (Mason et al., 2010).

## **5. Impacto de la inundación como multiplicador de desigualdad y vulnerabilidad territorial**

Las inundaciones son un vector de la desigualdad social preexistente. Las poblaciones vulnerables suelen habitar zonas de alto riesgo (como llanuras aluviales o áreas urbanas marginales con drenaje inadecuado) debido a la falta de opciones de vivienda segura. Cuando ocurre un evento hidrometeorológico, el impacto es desproporcionado (Donoso S, 2020).

El mecanismo de la desigualdad se basa en la incapacidad de la población pobre para absorber pérdidas. Si un hogar de bajos ingresos pierde su vivienda y sus activos productivos (capital productivo, como se explicó en la sección IV), no posee el acceso a crédito, seguros o reservas de capital para reconstruir. Esta pérdida asegura que el hogar descienda aún más en la escala socioeconómica, profundizando el ciclo de pobreza y creando una dependencia sostenida de la ayuda.

## **6. A nivel de vulnerabilidad urbana y gestión del territorio**

La magnitud del impacto de una inundación en las áreas urbanas depende de múltiples factores, incluyendo el nivel de desarrollo, los recursos financieros, y, crucialmente, la capacidad y voluntad política para adaptar el ordenamiento territorial.

Aunque los países en vías de desarrollo enfrentan la carga más inmediata en términos de pérdidas de vidas y colapso de medios de vida, los análisis prospectivos sugieren que los países ricos también sentirán intensamente la presión de las inundaciones futuras. La vulnerabilidad

de estas áreas, especialmente en deltas y zonas costeras densamente pobladas y altamente valoradas, se incrementa exponencialmente con el tiempo. El creciente costo de reemplazar infraestructura de alto valor (como se observó en Katrina y Europa 2021) significa que, a largo plazo, estas áreas tendrán los mayores incrementos en vulnerabilidad, obligando a inversiones masivas enfocadas en revertir la degradación de los ecosistemas (como los deltas) y mejorar la protección estructural.

## **7. Síntesis de los impactos a nivel mundial**

La escala de la amenaza es innegable: 1470 millones de personas están expuestas a un riesgo significativo; la cifra de desplazados anualmente supera los 8 millones solo por eventos de inundación y sequía; y los daños económicos, incluso en un solo evento como Katrina, superan los 41,1 mil millones de USD solo en pérdidas aseguradas. Más allá de los números agregados, las evaluaciones desagregadas, como la de Pakistán 2022, revelan daños de miles de millones de dólares concentrados en vivienda, salud y educación, lo que demuestra la magnitud de la pérdida de capital social.

El análisis de la interdependencia de la infraestructura –donde el colapso de un puente o la falla de una subestación eléctrica paraliza la respuesta de emergencia y la restauración de agua– enfatiza la necesidad de una estrategia de resiliencia integral. La mitigación debe enfocarse en la prevención de efectos derivados y en la búsqueda de resiliencia efectiva. Esto significa que las inversiones de reconstrucción no solo deben reemplazar lo destruido, sino también mitigar los costos ocultos a largo

plazo, como la degradación acelerada de equipos esenciales que fuerza la reinversión prematura y por ende el desperdicio de recursos.

La exposición de las fallas de gobernanza (Katrina) y la amplificación del trauma psicológico en las poblaciones con mayor vulnerabilidad económica y social (La Plata) demuestran que la respuesta al riesgo de inundación es una cuestión de ingeniería, planificación urbana y, fundamentalmente, de justicia social. La pérdida de capital productivo que obliga a los agricultores a liquidar sus medios de subsistencia condena a las comunidades rurales a una dependencia prolongada. Abordar el impacto negativo de las inundaciones exige integrar la gestión del riesgo climático con políticas robustas de protección social y ordenamiento territorial.

## **2.2 Impacto de las inundaciones en el contexto de Ecuador**

En esta sección del capítulo se realizará una recopilación y análisis integral de las afectaciones causadas por las inundaciones en el Ecuador, intentando proporcionar los datos y estadísticas más recientes de fuentes oficiales, así como el mapeo de aquellas que posean información espacial.

Ecuador es altamente susceptible a los eventos hidrometeorológicos, debido a su compleja topografía (Cordillera de los Andes), la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), y una época lluviosa que históricamente se extiende de noviembre a junio.

Las inundaciones constituyen una de las amenazas naturales más recurrentes y devastadoras en el Ecuador, con una frecuencia e

intensidad que se ven incrementadas por la variabilidad climática y los fenómenos extremos como El Niño. Estos eventos no solo generan daños inmediatos y visibles, sino que también desencadenan una serie de impactos indirectos que prolongan y profundizan la crisis, afectando el desarrollo sostenible del país.

La vulnerabilidad del Ecuador ante las inundaciones está determinada por una conjunción de factores geográficos, socioeconómicos y climáticos. El país posee un sistema complejo de cuencas hidrográficas en la región Costa y Amazonía, donde los asentamientos humanos y las actividades productivas se han expandido hacia llanuras de inundación naturales. A esto se suma una alta densidad de población en zonas de riesgo, prácticas agrícolas no siempre sostenibles y una infraestructura vial y urbana en ocasiones deficiente (SNGRE & Riesgos, 2020). La ocurrencia de fenómenos como El Niño Costero eleva drásticamente los niveles de precipitación, saturando los suelos y desbordando los sistemas de drenaje, lo que configura un escenario de alto riesgo recurrente.

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) es la fuente oficial para la cuantificación y monitoreo de estas amenazas, a través de sus Informes de Situación (SitReps); su geoportal y se dispone también de otras bases de datos locales de algunos gobiernos autónomos descentralizados u otras como DESINVENTAR.

Un análisis de la recurrencia de eventos adversos durante el período de enero a julio de 2025, según los reportes de la (SNGRE, 2025), establece claramente el predominio del riesgo hidrometeorológico. De un total de

3845 eventos registrados a nivel nacional, las inundaciones constituyeron el 36,05%, siendo el segundo evento más frecuente. El primer lugar lo ocuparon los deslizamientos, con el 42,52% de los casos.

Esta sinergia o combinación de eventos peligrosos, donde deslizamientos e inundaciones suman cerca del 80% de todos los eventos, es una característica distintiva del entorno andino y subandino ecuatoriano. La precipitación intensa no solo desborda ríos (inundación), sino que satura los suelos en las laderas (deslizamiento y aluvión), creando un riesgo compuesto que afecta simultáneamente las cuencas bajas y la infraestructura vial en las zonas de montaña.

La concentración de estos impactos es heterogénea, afectando 24 provincias, 217 cantones y 914 parroquias en el mismo período de 2025. Las provincias con el mayor impacto poblacional incluyeron a Sucumbíos, Zamora Chinchipe, Tungurahua, Napo, Pastaza, Loja, Morona Santiago e Imbabura, además de la provincia de Bolívar.

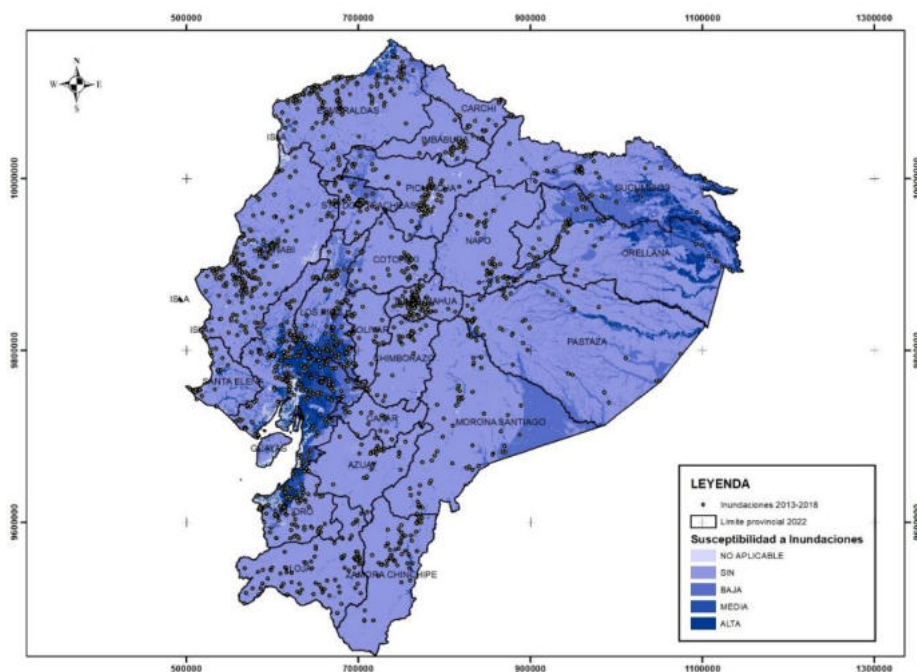
**Tabla 4. Recurrencia de eventos adversos hidrometeorológicos en Ecuador (enero-julio 2025).**

<b>Tipo de evento adverso</b>	<b>Recurrencia porcentual</b>	<b>Implicación para la gestión de riesgos</b>
Deslizamiento	42.52%	Urgencia en manejo de laderas y prevención de socavamientos.
Inundación	36.05%	Confirma la inundación como la segunda amenaza más frecuente.

Colapso Estructural	6.16%	Refleja la baja calidad constructiva o el efecto acumulado de socavamiento.
---------------------	-------	---

*Fuente: (SNGRE, 2025)*

En la Figura 1, se presenta la localización de los eventos de inundación en Ecuador durante período 2013 al 2018, se observa que, los eventos se concentran en los centros poblados urbanos, principalmente, de la región costera y en algunas ciudades de la sierra ecuatoriana.



**Figura 1. Susceptibilidad a inundaciones y eventos de inundación 2013-2018 Fuente: SNGRE.**

*Fuente: Información de (SNGRE, 2025).*

### ***2.2.1 Impactos directos (efectos físicos e inmediatos)***

Se describe los principales impactos indirectos en la población, viviendas, infraestructuras y sectores productivos causados por las inundaciones en el territorio de Ecuador, la información se basa en datos oficiales del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias – SNGRE y el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INEC.

#### **1. Población afectada (invierno crítico 2022-2023 - datos del SNGRE a abril de 2023)**

El evento de lluvias 2023-2024 evidenció el alto costo humano de las inundaciones. De acuerdo con los reportes de la (SNGRE, 2024a), las inundaciones y los deslizamientos de tierra asociados resultaron en la lamentable pérdida de vidas humanas, así como un número considerable de personas que sufrieron heridas de diversa consideración. La población afectada superó las cien mil personas, de las cuales muchas debieron ser acogidas en albergues temporales durante el pico de la emergencia, evidenciando el desplazamiento forzado que provocan estos eventos. A continuación, un resumen de estos datos:

- Personas fallecidas: 22 (cifra asociada directamente a las inundaciones y deslizamientos).
- Personas heridas: 60.
- Personas afectadas: Aproximadamente 120000.
- Personas en albergues: Más de 6000 en el pico de la emergencia.
- Hogares afectados: Se estimaron más de 30000 viviendas con daños de diversa consideración.

## **2. Viviendas e infraestructura (Análisis post-inundaciones INEC, 2023)**

El análisis post-evento del INEC (2023) reveló daños estructurales masivos. Se identificaron miles de viviendas, predominantemente de construcción informal en zonas rurales y periurbanas, que fueron destruidas por completo. Otras decenas de miles sufrieron daños reparables. Geográficamente, las provincias de la Costa como Guayas, Manabí, Los Ríos y El Oro concentraron más del 70% de los reportes de daños a viviendas.

La infraestructura pública no estuvo exenta; se registraron afectaciones en más de 300 km de carreteras, varios puentes colapsados, y más de 50 centros de salud y cientos de instituciones educativas dañadas, interrumpiendo servicios esenciales para la población (SNGRE, 2024).

- **Viviendas destruidas (inhabilitables):** Se identificaron miles de viviendas, principalmente de construcción informal (caña, madera) en zonas rurales y periurbanas, que quedaron totalmente destruidas.
- **Viviendas afectadas (daños reparables):** Decenas de miles, con daños en cimientos, muros y techos. El INEC reportó que las provincias costeras como Guayas, Manabí, Los Ríos y El Oro concentraron más del 70% de los reportes de daños a viviendas.
- **Infraestructura pública: Daños críticos en:**
  - **Vialidad:** Más de 300 km de carreteras afectadas y varios puentes colapsados o dañados, especialmente en la región Costa.

- Salud: Más de 50 centros de salud reportaron daños, interrumpiendo servicios esenciales.
- Educación: Cientos de escuelas y colegios resultaron afectados, retrasando el inicio del año lectivo 2023-2024 en varias zonas.

### **3. Sectores productivos**

El sector agrícola fue uno de los más golpeados de manera directa. Se estima que miles de hectáreas de cultivos fueron arrasadas por las aguas, con pérdidas particularmente críticas en arroz, maíz, banano, cacao y café (SNGRE, 2024a). Solo en la provincia de Los Ríos, se perdió más del 60% de la producción de arroz de ciclo corto. Adicionalmente, se reportó la muerte de miles de cabezas de ganado, afectando gravemente la seguridad alimentaria y los medios de vida de las comunidades rurales.

- Agricultura (Uno de los sectores más golpeados):
  - Hectáreas cultivadas perdidas: Se estimaron más de 50000 hectáreas de cultivos arrasados por las aguas.
  - Cultivos más afectados: Arroz, maíz, banano, cacao, café y palma africana. Solo en la provincia de Los Ríos, se reportó la pérdida de más del 60% de la producción de arroz de ciclo corto.
  - Pérdida de ganado: Miles de cabezas de ganado (bovino, porcino) y aves de corral perecieron.

#### ***2.2.2 Impactos indirectos (efectos secundarios y a mediano/largo plazo)***

Estos impactos son consecuencia de los directos y suelen ser más difíciles de cuantificar, pero son cruciales para entender la profundidad del problema.

## 1. Impactos económicos

Las pérdidas económicas totales del evento 2022-2023 fueron sustanciales. Si bien no existe una cifra oficial definitiva, estimaciones de analistas económicos y cámaras de producción las aproximadamente en el 1% del PIB nacional (Banco Central del Ecuador, 2023). Este impacto se manifestó en una desaceleración del crecimiento del PIB agrícola, interrupciones severas de las cadenas logísticas por el cierre de vías principales, y un incremento en los precios de alimentos básicos debido al desabastecimiento y la pérdida de cosechas.

- Pérdidas económicas totales: Si bien no hay una cifra oficial definitiva para el evento 2022-2023, estimaciones preliminares de la Cámara de Comercio de Guayaquil y analistas económicos situaron las pérdidas entre USD 1000 y 1500 millones, equivalentes a aproximadamente 1% del PIB nacional.
- Impacto en el PIB agrícola: La fuerte caída en la producción agrícola incidió directamente en el crecimiento del PIB del sector primario, que mostró una desaceleración significativa en el primer trimestre de 2023.
- Interrupción de cadenas productivas y comerciales: El cierre de vías terrestres (como la vía Guayaquil-Salinas o la vía a la costa) generó desabastecimiento, incremento en los costos de transporte y pérdidas para el comercio y la industria.
- Aumento del precio de los alimentos: La destrucción de cultivos básicos generó presiones inflacionarias en productos como el plátano, el arroz y algunas hortalizas en los meses posteriores a las inundaciones.

## 2. Impactos sociales y en la salud pública

Las inundaciones crean condiciones ideales para brotes de enfermedades. El Ministerio de Salud en el año 2023 en su boletín epidemiológico, reportó un incremento en los casos de dengue en las provincias inundadas durante los meses siguientes al desastre. Asimismo, se observó un aumento en las enfermedades diarreicas agudas (EDAs) y las infecciones respiratorias agudas (IRAs), esta última asociada al hacinamiento en albergues y a la exposición prolongada a la humedad (Ministerio de Salud Pública, 2023).

- Aumento de enfermedades: Las inundaciones crean condiciones ideales para brotes de enfermedades:
  - Transmitidas por vectores: Dengue, chikungunya y malaria. El Ministerio de Salud reportó un incremento de hasta el 40% en casos de dengue en las provincias inundadas durante los meses siguientes.
  - Transmitidas por el agua: Diarreas agudas, leptospirosis, hepatitis A.
  - Infecciones respiratorias agudas (IRAs): Debido a la exposición a la humedad y el hacinamiento en albergues.

A mediano plazo, se generan impactos sociales profundos como el estrés post-traumático, la ansiedad y la deserción escolar debido a la interrupción del año lectivo y la necesidad de que los niños y jóvenes contribuyan a la recuperación económica familiar.

- Impacto psicosocial: Estrés post-traumático, ansiedad y depresión en la población afectada, especialmente en niños y adultos

mayores. No hay cifras oficiales consolidadas, pero es un tema reconocido por las autoridades de salud.

- Interrupción educativa: La afectación de escuelas y la necesidad de que los niños trabajen para apoyar a la familia generan deserción escolar y rezago educativo.

### **3. Impactos ambientales**

Ambientalmente, las inundaciones causan la contaminación de fuentes hídricas por arrastre de agroquímicos y desechos, así como una severa erosión y pérdida de la capa fértil del suelo, comprometiendo la productividad futura.

- Contaminación de fuentes hídricas: Arrastre de pesticidas, fertilizantes, desechos industriales y aguas servidas hacia ríos, acuíferos y el océano.
- Erosión y pérdida de suelos: La fuerza del agua arrastra la capa fértil del suelo, afectando su productividad a largo plazo.
- Alteración de ecosistemas: Cambios en los cauces de los ríos y afectación a la biodiversidad.

#### ***2.2.3 Casos de estudio a nivel nacional***

Se recopilaron datos de prensa, así como reportes de los GADS para ejemplificar los impactos relevantes de las inundaciones de manera directa como indirecta en 3 casos del territorio ecuatoriano.

## **1. Inundaciones en la provincia de Guayas durante 2024**

Según (SNGRE, 2024), Las inundaciones en Guayas durante la temporada lluviosa de 2024, exacerbadas por el fenómeno de El Niño, representaron una de las emergencias más graves en el país.

### **Impactos directos:**

**Afectación a la población y viviendas:** Según un informe de la SNGRE, Guayas fue una de las provincias con mayor número de eventos, registrando 159 inundaciones que dejaron a 92,632 personas afectadas y 9,695 damnificadas a nivel nacional, con una gran parte de estas cifras concentradas en esta provincia. Esto resultó en 26,028 viviendas afectadas y 117 destruidas. En cantones como Guayaquil y Durán, el agua alcanzó niveles de hasta 40 cm en zonas urbanas.

**Daños a la infraestructura:** Las inundaciones provocaron el cierre de vías, el colapso de puentes menores y la afectación de sistemas de alcantarillado, lo cual interrumpió la movilidad y los servicios básicos en múltiples parroquias.

### **Impactos indirectos:**

**Crisis en la agricultura:** Un reporte de la SNGRE destaca que a nivel nacional se registraron 31992 hectáreas de cultivos impactadas y 10880 animales afectados. En el Guayas, una provincia eminentemente agrícola, esto se tradujo en pérdidas millonarias para los agricultores, afectando directamente la seguridad alimentaria y los ingresos de miles de familias.

Problemas de salud pública: El estancamiento del agua de las inundaciones se convirtió en un foco para la proliferación de mosquitos transmisores de enfermedades como el dengue, chikungunya y zika. Además, el colapso del alcantarillado incrementó el riesgo de enfermedades gastrointestinales.

Desplazamiento y vulnerabilidad social: Las miles de familias que perdieron sus hogares se vieron forzadas a refugiarse en albergues o en casas de familiares, generando una crisis humanitaria y social. Esta situación de desplazamiento prolongado incrementa la vulnerabilidad de las poblaciones afectadas, especialmente de niños, mujeres y ancianos.

## **2. Afectaciones en la provincia de Manabí por desbordamientos de ríos**

En el reporte del diario (El Universo, 2024), durante el mismo periodo invernal, la provincia de Manabí fue la segunda más afectada, con 110 casos de inundaciones. El desbordamiento del río Pescadillo en el cantón Flavio Alfaro se convirtió en un caso emblemático.

### **Impactos directos:**

Daños a comunidades y propiedades: El desbordamiento del río Pescadillo inundó 13 sectores, dejando a casi 2,000 familias afectadas. El agua, el lodo y los escombros dañaron gravemente viviendas y bienes, obligando a cientos de personas a evacuar.

Interrupción de servicios y movilidad: El lodo y los escombros arrastrados por la corriente afectaron las vías principales y secundarias, interrumpiendo el transporte de personas y productos agrícolas.

Destrucción de cultivos: La emergencia causó la pérdida total de cultivos de ciclo corto en la zona, como el maíz y el arroz, lo que generó una crisis económica inmediata para los agricultores.

### **Impactos indirectos:**

Pérdida de ingresos y seguridad alimentaria: La destrucción de los cultivos afectó directamente la economía familiar de los agricultores, quienes perdieron su principal fuente de ingresos. Esto llevó a una crisis de seguridad alimentaria en la región, ya que la producción local es la base de la dieta de la población.

Endeudamiento y pobreza: Muchos agricultores, al perder su producción, se vieron incapaces de pagar créditos agrícolas, lo que los llevó a un ciclo de endeudamiento. La situación agravó la pobreza en las zonas rurales del cantón.

Necesidad de asistencia humanitaria: La SNGRE y otras organizaciones tuvieron que desplegar equipos para la entrega de kits de alimentos, ropa y medicinas, lo cual evidenció la fragilidad de la infraestructura de respuesta ante desastres a gran escala.

### **3. Aluvión en Balsas, provincia de El Oro**

En reporte del diario (El Comercio, 2025), a diferencia de las inundaciones en zonas bajas, el cantón Balsas en la provincia de El Oro

sufrió un aluvión, un evento de movimientos de masa y lodo en la zona alta de la provincia, un fenómeno recurrente en áreas montañosas.

### **Impactos directos:**

**Destrucción de infraestructura:** Un reporte de El Comercio detalla que el aluvión causó la destrucción de 10 viviendas y afectó a un local comercial y un centro de salud. Las fuertes corrientes de lodo y piedra dejaron a 40 personas afectadas.

**Pérdida de servicios básicos:** El evento interrumpió por completo los servicios de agua potable y electricidad en la zona. Las tuberías de agua y el alcantarillado colapsaron, y las líneas eléctricas sufrieron daños, dejando a la población incomunicada y sin servicios esenciales.

### **Impactos indirectos:**

**Vulnerabilidad y riesgo de futuros eventos:** El aluvión expuso la alta vulnerabilidad de la población de Balsas, que vive en una zona propensa a estos desastres. La inestabilidad del terreno y la falta de infraestructura de prevención incrementan el riesgo de futuras tragedias.

**Impacto en la salud y la economía local:** La falta de agua potable y el colapso de los sistemas sanitarios incrementaron el riesgo de enfermedades. La destrucción de propiedades y el cierre de comercios afectaron la economía local, ya de por sí frágil, lo que dificulta la recuperación de las familias y la comunidad en general.

**Demandas de infraestructura y políticas públicas:** Este caso evidencia la necesidad de una planificación urbana y territorial que considere los

riesgos geológicos. La reconstrucción no solo implica reparar lo dañado, sino también reubicar a las familias en zonas más seguras e implementar proyectos de mitigación a largo plazo.

### **Síntesis de los impactos a nivel nacional**

Los datos analizados revelan un patrón recurrente de afectación, que pone de manifiesto las vulnerabilidades estructurales del país. Las consecuencias impactan desproporcionadamente en la población más pobre, la cual reside en áreas de alto riesgo y cuenta con una capacidad limitada para recuperarse. La frecuencia de estos eventos evidencia que las medidas reactivas son insuficientes. Por ello, se subraya la urgencia de adoptar un modelo de gestión del riesgo que sea preventivo, incorporando ordenamiento territorial, infraestructura resiliente, sistemas de alerta temprana y mecanismos de protección financiera (undp, 2018)

Las inundaciones en el Ecuador dejan una estela de impactos que trascienden la emergencia inmediata. Los datos oficiales del período 2022-2023 confirman que los efectos directos sobre la vida, la vivienda y la producción agrícola son cuantitativamente enormes. Sin embargo, son los impactos indirectos -sobre la economía, la salud y el tejido social- los que prolongan la crisis y profundizan las desigualdades (undp, 2018). La magnitud de estas afectaciones subraya la imperiosa necesidad de integrar la gestión del riesgo de desastres como un eje transversal en la planificación del desarrollo nacional (undp, 2018). Futuras investigaciones deberían orientarse a evaluar la efectividad de

las políticas implementadas y a modelar escenarios de riesgo futuro en un contexto de cambio climático.

El problema se agrava por la impermeabilización del suelo en las áreas urbanas y por fallas crónicas en las infraestructuras de drenaje pluvial, que resultan insuficientes o se encuentran obstruidas, convirtiendo las lluvias intensas en desastres catastróficos. El ejemplo de Portoviejo, donde la sedimentación de los cauces y la ocupación de llanuras de inundación han causado desbordamientos recurrentes, ilustra cómo las presiones de la expansión urbana son la causa fundamental de la vulnerabilidad.

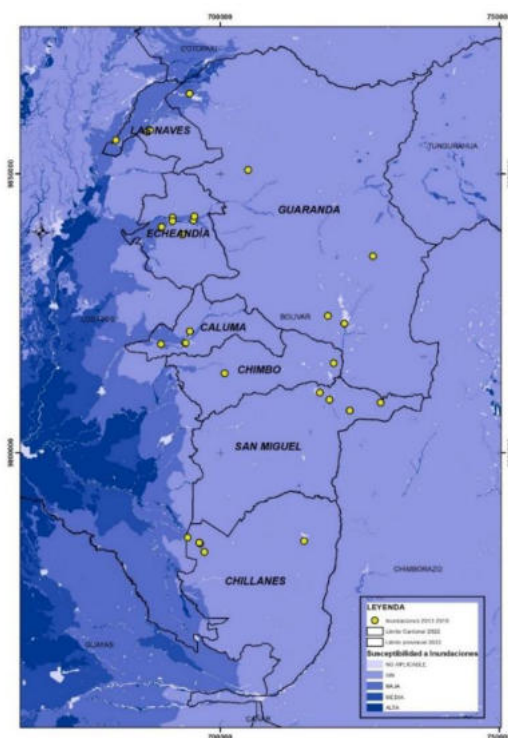
### **2.3 Impacto de las inundaciones en el contexto de la provincia Bolívar**

La provincia de Bolívar, ubicada en la Sierra central de Ecuador, es un ejemplo contundente de la interacción entre las amenazas hidrometeorológicas y la vulnerabilidad estructural de sus asentamientos.

Se trata de una provincia periódicamente afectada por la época lluviosa, con varios cantones que presentan una amenaza recurrente de inundaciones, incluyendo Caluma, Chillanes, Echeandía, Guaranda, Las Naves, San Miguel, y San José de Chimbo. La prefectura de Bolívar, a través de su departamento de Gestión Ambiental y Riesgos Naturales, tiene la responsabilidad de generar conocimiento sobre los riesgos y planificar la prevención (SNGRE, 2024).

Los datos de la SNGRE de la época lluviosa, entre el 1 de enero y el 22 de abril de 2024, revelan la magnitud del impacto acumulado en la provincia. De los 96 eventos adversos totales registrados en este periodo, 22 fueron específicamente clasificados como **inundaciones**, junto con 60 deslizamientos (SNGRE, 2024).

En la Figura 2, se representa la zonificación de la susceptibilidad y la localización de los eventos de inundación en la provincia Bolívar en el período 2013 a 2018, se observa que, la mayor parte de eventos se localizan en los centros poblados del subtrópico de la provincia.



**Figura 2. Susceptibilidad a inundaciones y eventos de inundación 2013-2018 a nivel provincial. Fuente: SNGRE.**

*Fuente: Información de (SNGRE, 2025).*

### **2.3.1 Impactos directos**

El impacto en la infraestructura física y la base productiva de acuerdo al SITREP No.33 fue severo:

- **Pérdida Agrícola:** Se registraron 1039,50 hectáreas de cultivos impactados.<sup>10</sup> Esta pérdida de capital productivo afecta la subsistencia de miles de familias y subraya la vulnerabilidad de la economía local centrada en la agricultura andina y subandina (SNGRE, 2025).
- **Vialidad:** La provincia sufrió la destrucción de 7 puentes y la afectación de 31 puentes adicionales. Esta destrucción masiva de infraestructura clave tiene la consecuencia de la fragmentación territorial y económica, interrumpiendo las rutas comerciales y el acceso a los mercados.
- **Viviendas:** Se reportaron 8 viviendas destruidas y 159 afectadas, dejando un total de 1729 personas afectadas en general por todos los eventos.

En respuesta a la crisis, la provincia fue declarada en emergencia desde el 19 de febrero de 2024, con la activación del Comité de Operaciones de Emergencia (COE) Provincial y cuatro COE cantonales (Echeandía, Caluma, Chimbo, Chillanes). La asistencia humanitaria incluyó la entrega de 229 bienes por parte de la SNGRE y el apoyo del Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES) a través de bonos de emergencia (3) y contingencia (26).

**Tabla 5. Impacto acumulado por eventos adversos en la provincia de Bolívar (enero – abril 2024).**

<b>Categoría de impacto</b>	<b>Cifra acumulada</b>	<b>Foco del impacto</b>
Eventos de Inundación Registrados	22 casos (de 96 eventos totales)	Exposición extrema en zonas ribereñas.
Hectáreas de Cultivos Impactados	1039,50 Ha.	Daño crítico a la economía agrícola local y seguridad alimentaria.
Viviendas Destruídas	8	Necesidad de reubicación y resiliencia habitacional.
Puentes Destruídos	7	Interrupción de conectividad y alto costo de rehabilitación.
Personas Afectadas	1729	Requerimiento de asistencia humanitaria y apoyo psicosocial.

*Fuente: (SNGRE, 2024a).*

### **2.3.2 Impactos indirectos**

A nivel de la provincia Bolívar no se pudieron recopilar impactos secundarios oficiales para este estudio en aspectos como salud pública, impactos ambientales y psicológicos, sin embargo, eso no significa que los aspectos mencionados a nivel mundial y nacional no existan, sino que al contrario dada la realidad socioeconómica de los territorios podrían ser incluso mucho más críticos y nos muestra varias debilidades institucionales en el levantamiento de información así como el

tratamiento de estos aspectos a nivel local en los cantones afectados por inundaciones en la provincia.

### 2.3.3 Registro de afectaciones histórico en la provincia Bolívar

En la tabla 6 se presenta los impactos sociales provocados por las inundaciones entre el período 1970 a 2023 en la provincia Bolívar, según la base de datos de (DESINVENTAR, 2025) se observa que, la mayor parte de personas fallecidas registran en el cantón Chillanes, en el caso de personas afectadas en su mayoría se localizan en el cantón Caluma y Chillanes.

**Tabla 6. Impacto social de lluvias e inundaciones en la provincia Bolívar, período 1970 a 2023.**

Cantones	Muertes		Personas afectadas	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Guaranda	2	15%	473	5%
Chimbo	0	0%	64	1%
San Miguel	1	8%	66	1%
Chillanes	9	69%	1.225	13%
Echeandia	0	0%	902	10%
Caluma	0	0%	6.191	66%
Las Naves	1	8%	505	5%
<b>Total provincial</b>	<b>13</b>	<b>100%</b>	<b>9.426</b>	<b>100%</b>

*Fuente: (DESINVENTAR, 2025).*

En la Tabla 7, se muestra las afectaciones a viviendas, los cantones de Chillanes, Caluma y Echeandia localizados en la zona baja (subtrópico) son los que presentan mayor registro de viviendas afectadas; así como, los cantones de Chillanes y Echeandia se produjo el mayor número de viviendas destruidas.

**Tabla 7. Impacto en viviendas por lluvias e inundaciones en la provincia Bolívar, período 1970 a 2023.**

Cantones	Viviendas afectadas		Viviendas destruidas	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Guaranda	67	11%	5	8%
Chimbo	20	3%	2	3%
San Miguel	17	3%	2	3%
Chillanes	158	26%	27	44%
Echeandia	120	20%	16	26%
Caluma	152	25%	5	8%
Las Naves	77	13%	5	8%
<b>Total provincial</b>	<b>611</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>

*Fuente: (DESINVENTAR, 2025).*

En la Tabla 8 se presenta las afectaciones a las infraestructuras esenciales, todos los cantones con excepción de San Miguel fueron

afectados en centros educativo, mientras que, 1 centro médico en Caluma fue afectado, casi todos los cantones con excepción de Guaranda y Chimbo registran daños en vías en sitios inundados.

**Tabla 8. Impacto en infraestructuras esenciales por lluvias e inundaciones en la provincia Bolívar, período 1970 a 2023.**

Cantones	Centros educativos afectados		Centros médicos afectados		Daños en vías	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Metros	Porcentaje
	o	e	o	e	s	e
Guaranda	5	28%	0	0%	0	0%
Chimbo	3	17%	0	0%	0	0%
San Miguel		0%	0	0%	0,7	7%
Chillanes	1	6%			2,6	26%
Echeandia	3	17%	1	100%	0,2	2%
Caluma	3	17%	0	0%	6,4	63%
Las Naves	3	17%	0	0%	0,2	2%
<b>Total provincial</b>	<b>18</b>	<b>100%</b>	<b>1</b>	<b>100%</b>	<b>10,1</b>	<b>100%</b>

*Fuente: (DESINVENTAR, 2025).*

En la tabla 9 se da a conocer los efectos de las inundaciones en el sector agropecuario, los cantones Las Naves y Chillanes poseen la mayor

daños a los cultivos, de igual manera, Chillanes y Guaranda, registran mayor afectación al ganado.

**Tabla 9. Impacto en el área agropecuaria por lluvias e inundaciones en la provincia Bolívar, período 1970 a 2023.**

Cantones	Daños cultivos		Afectación a ganado	
	Ha	Porcentaje	Número	Porcentaje
Guaranda	267,00	5%	1.072	3%
Chimbo	1,00	0%	0	0%
San Miguel	53,00	1%	2	0%
Chillanes	541,75	11%	31.305	95%
Echeandia	10,08	0%	70	0%
Caluma	267,00	5%	404	1%
Las Naves	3.750,16	77%	0	0%
<b>Total provincial</b>	<b>4.889,99</b>	<b>100%</b>	<b>32.853</b>	<b>100%</b>

*Fuente: (DESINVENTAR, 2025).*

### **2.3.4 Caso de estudio a nivel local**

El El cantón Echeandía proporciona un caso específico que ejemplifica la vulnerabilidad extrema de los asentamientos ribereños en Bolívar. El desbordamiento del río Soloma, causado por las lluvias, provocó el colapso de múltiples viviendas en el sector de Malecón Alto, resultando

en la destrucción de al menos siete casas y dejando otras ocho en una zona clasificada de alto riesgo (Primicias, 2024).

Este evento pone de manifiesto cómo la ocupación de las llanuras aluviales o los márgenes de los ríos, especialmente en pequeños asentamientos donde la presión por el uso del suelo es alta, tiene consecuencias catastróficas. La rápida capacidad destructiva del río Soloma superó las medidas de contención, y mostró que como en muchos casos en la provincia, la solución a este tipo de riesgo no mitigable requiere considerar programas de reasentamiento planificado que protejan a las comunidades de bajos recursos.

En este mismo período se declararon también en emergencia las parroquias de San Luis de Pambil y Telimbela y no se puede dejar de mencionar las inundaciones históricas en la parroquia San José del Tambo. Sin embargo, no hay cifras oficiales que nos permitan desarrollar una descripción adecuada de las afectaciones por inundación en la provincia, en tal sentido se presentarán datos de (DESINVENTAR, 2025) con registros de inundaciones en Bolívar desde el año 1970.

#### **2.4 Consideraciones finales de los impactos de las inundaciones en los territorios**

El aumento de los impactos por inundaciones a nivel global y nacional está intrínsecamente ligado al desarrollo urbano y territorial no planificado. La ocupación de llanuras de inundación, la construcción en zonas bajas y el relleno de cauces hidrográficos son prácticas comunes que reducen la capacidad natural de los ecosistemas para absorber y gestionar el agua.

Así mismo, las cifras nos dejan claro que los efectos secundarios o agregados de las inundaciones golpean con mayor intensidad y duración en lugares de bajas condiciones socioeconómicas como países de Latinoamérica, Asia menor, entre otros, aunque como se vio, países con economías fuertes no están exentos de sufrir estos efectos.

El análisis de los impactos de las inundaciones, desde la escala global hasta el contexto local de la provincia de Bolívar, permite sintetizar las tres vulnerabilidades estructurales que convierten los eventos hidrometeorológicos en desastres recurrentes en Ecuador.

En primer lugar, la amenaza creciente es ineludible debido a la incertidumbre climática global. En segundo lugar, la vulnerabilidad física y socioeconómica se manifiesta en la alta exposición de la población, concentrada en zonas urbanas no planificadas y en los medios de vida agrícolas andinos. En tercer lugar, la vulnerabilidad institucional se observa en la muchas veces deficiente gestión de las inundaciones por parte de las instituciones y organismos competentes tanto en la atención inmediata, evaluación post desastres, así como, implementación de los instrumentos de planificación territorial que se basen en análisis técnicos de la amenaza.

El Ecuador se apoya fuertemente en el monitoreo reactivo a través de los SitReps, los cuales se generan con una alta frecuencia (incluso hasta 39 informes por evento prolongado, como en el caso de las lluvias en Baños de Agua Santa) (DESINVENTAR, 2025). Si bien estos informes son vitales para la coordinación de la respuesta y la asistencia

humanitaria, su metodología presenta limitaciones para el análisis académico detallado de los impactos económicos a largo plazo.

Los SitReps a menudo agregan los daños bajo la categoría general de "eventos adversos por lluvias", mezclando inundaciones, deslizamientos, socavamientos y aluviones. Esta agregación dificulta la aplicación estricta de metodologías como DESINVENTAR (2025), cuyo objetivo es aislar la valoración rigurosa de las pérdidas de cada tipo de amenaza.

El alto volumen de reportes de emergencia, junto con la información detallada sobre la distribución de asistencia humanitaria (kits de dormir, aseo, bonos de emergencia), indica que el sistema de gestión de riesgos nacional está predominantemente orientado hacia la respuesta y atención inmediata. Esta orientación, aunque necesaria, desvía el foco de la documentación rigurosa de pérdidas a mediano y largo plazo (costos indirectos), un requisito fundamental para la planificación prospectiva de la reconstrucción y la resiliencia.

La respuesta del Estado ecuatoriano, aunque exhaustiva en el monitoreo de emergencias a través de los SitReps y la provisión de asistencia humanitaria (respuesta reactiva), debe evolucionar hacia un modelo de resiliencia proactiva basado en la mitigación a largo plazo.

De ahí que, las instituciones y organismos pertinentes, incluida la academia realicen análisis de riesgos que incluyan metodologías integrales, siendo una de ellas la parte hidrológica e hidráulica a través de modelamientos que permitan prever las probables áreas de inundación y sus características.

## CAPÍTULO III

### **3 MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN**

El capítulo contiene la importancia, los métodos para evaluar la amenaza y factores de riesgo de inundación a escala general; además, se describe la metodología para la evaluación de la amenaza de inundación a escala local, que incluye la fase 1: análisis y modelamiento hidrológico, fase 2: modelamiento hidráulico, fase 3: zonificación y niveles de amenaza de inundación y fase 4: análisis de vulnerabilidad y exposición a las inundaciones.

#### **3.1 Importancia de la evaluación de la amenaza de inundación**

Las inundaciones provocan graves afectaciones a los procesos de desarrollo de los territorios, por tal razón, es de gran importancia evaluar la amenaza de inundación, los resultados contribuyen a la planificación y ordenamiento territorial, orientan a las autoridades y población a tomar decisiones, plantear medidas y acciones para la reducción de riesgos, la preparación y respuesta ante posibles eventos de inundación.

A continuación, se expone un resumen de la importancia y principales aportes de los estudios de evaluación de la amenaza de inundación para los territorios:

##### **1. Comprensión del riesgo de inundación**

Permite conocer y comprender a la amenaza de inundación con mayor detalle y precisión: la probabilidad de ocurrencia, su intensidad y

posibles áreas de afectación (Wang, y otros, 2025), lo que permite identificar y delimitar con mayor detalle las áreas vulnerables, los elementos expuestos y la capacidad de respuesta (Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2022); por consiguiente, se puede desarrollar un análisis integral de los factores de riesgo de inundación de inundación (amenaza, vulnerabilidad, exposición y capacidades).

## **2. Herramienta esencial para el ordenamiento territorial, planificación y desarrollo sostenible**

La evaluación y la zonificación de la amenaza de inundación son herramientas de gran importancia para orientar a un crecimiento urbano y de centros poblados de manera ordenada y sostenible, lo que permita prevenir la exposición de la población, infraestructura, la economía y medios de vida, de esta forma, orientar la inversión pública y privada hacia zonas seguras y sostenibles.

De igual forma, contribuye a las autoridades de planificación y gestión territorial a integrar la variable de riesgo de desastres en los instrumentos de planificación (Cajigal - Molina & Maldonado - González, 2019), como en el caso de Ecuador en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), Planes de Usos y Gestión del Suelo (PUGS), entre otros, ya que orientan a la planificación y regulación de los usos de suelo para un crecimiento urbano ordenado hacia áreas seguras, restringe o condiciona usos en zonas de alta amenaza, fomenta el uso de zonas inundables para actividades de baja amenaza, como: agricultura, zonas de protección, parques naturales, entre otras, respetando la dinámica natural de ríos, quebradas o avenidas naturales.

### **3. Orienta al diseño e implementación de medidas de prevención y mitigación**

El estudio de inundación tiene la función principal de la evaluación de la amenaza es para proveer la base técnica para la reducción del riesgo a mediano y largo plazo.

Para ello, la modelación de escenarios y la zonificación permite genera la cartografía o mapas de amenaza de amenazas, que son de gran importancia y permiten identificar áreas con alta probabilidad de inundación, lo que orienta a la implementación de regulaciones y medidas para la restricción de uso del suelo, prohibiendo o limitando el desarrollo de edificaciones e infraestructura crítica en las zonas de alta amenaza, salvaguardando así vidas y bienes futuros. Así mismo, se pueden desarrollar medidas forestación y protección de cuencas hidrográficas, entre otras.

De igual forma, la identificación de elementos expuestos (edificaciones, poblaciones, infraestructura, entre otros) en zonas a la amenaza de inundación, permite diseñar e implementar medidas y obras física – estructurales de protección, tales como: diques, presas, muros de gaviones, entre otras; así mismo, la modelación de escenarios, definen las características físicas de la inundación (profundidad, velocidad, tiempo de arribo y duración), son necesarios para dimensionar y diseñar obras de ingeniería en infraestructuras vitales (puentes, carreteras, otras).

#### **4. Optimización para la preparación, respuesta y recuperación ante eventos de inundación**

Con respecto a la preparación, el modelamiento de escenarios, la zonificación de la amenaza de inundación y elementos expuestos (población, edificaciones, infraestructuras, zonas productivas, otras), permite orientar medidas de preparación, tales como: planes de emergencia, planes de contingencia, sistemas de alerta temprana, planes y rutas de evacuación, zonas seguras, capacitación a autoridades y población, simulacros, entre otros.

En referencia a la respuesta, una vez identificado los escenarios, zonas y niveles de amenaza, elementos expuestos y el diseño de los instrumentos de preparación ante un posible evento de inundación, contribuirán a una respuesta oportuna eficiente por parte de las autoridades, instituciones de respuesta y población.

En relación a la recuperación, posterior a un evento de inundación, si es necesario se deberá actualizar los estudios de la amenaza, ya que para los procesos de recuperación, son el fundamento para la reubicación y reasentamientos seguros, revisión y fortalecimiento de la normativa urbanística y usos de suelo, diseño y reconstrucción de infraestructura afectada, diseño e implementación de planes de recuperación económica y social; de esta forma, evitar que se vuelva a construir en zonas de riesgo y fomentar procesos de reconstrucción seguros y resilientes.

## **5. Otros beneficios de los estudios de inundación**

Entre otros beneficios de los estudios de la amenaza de inundación se pueden mencionar, contribuye con información para seguros, ya que las compañías de seguros cuentan con información detallada para establecer tarifas para sus pólizas de manera justa y precisa, reflejando el riesgo real de la propiedad asegurada.

De igual forma, el contar con información detallada y actualizada del riesgo de inundación, debe contribuir a fortalecer los procesos de gobernanza en el territorio, ya que se generan acuerdos y compromisos de autoridades, técnicos de instituciones y población para trabajar en forma conjunta en la reducción del riesgo en las diferentes escalas territoriales.

### **3.2 Métodos para la evaluación de la amenaza de inundación**

En este apartado se presenta la fundamentación teórica de los diversos métodos, técnicas e instrumentos para la evaluar la amenaza de inundación para diversas escalas del territorio.

#### ***3.2.1 Métodos generales para la evaluación de la amenaza de inundación***

Entre los métodos utilizados para la evaluación de la amenaza de inundación, según (Díez-Herrero, Laín-Huerta, & Llorente-Isidro, 2008) se distinguen cuatro tipos que son los siguientes:

**El método botánico:** Se fundamenta en la Dendrogeomorfología, emplea fuentes de información registradas en las raíces, troncos y ramas

de los árboles y arbustos localizadas en ciertas posiciones geomorfológicas (escarpes o banco de orilla , barras longitudinales, llanura de inundación etc.), que complementan a los estudios de la amenaza por inundación sobre el registro de avenidas torrenciales presentadas en esa corriente e información cualitativa y cuantitativa sobre parámetros de magnitud como la extensión, altura de la lámina del agua, carga de sedimentos, energía y duración. Sin embargo, se necesita utilizar una combinación e integración de técnicas y métodos derivados de la Dendrocronología (Botánica, Ecológica, Fisiológica y Anatomía Vegetal Histología) y de las ciencias vinculadas con la dinámica fluvial (Hidrología, Hidráulica y Geomorfología).

**Los métodos históricos:** Utilizan marcas y placas ubicadas en medios artificiales (edificios, vías, infraestructuras, entre otras), documentación histórica (manuscritos e impresos de archivos, bibliotecas y hemerotecas) y testimonios (orales o audiovisuales) para recomponer la zona cubierta o la altura alcanzada por las aguas en una crecida registrada en el periodo histórico, se fundamenta en el principio que en un futuro podría volver a presentar; de igual manera, los datos históricos aportan a los modelos hidrológicos y les adjudica una determinada probabilidad, como datos complementarios en el estudio estadístico de caudales derivados del registro ordinario o los que designan las frecuencias de inundación histórica a unidades o elementos geomorfológicos.

**Los métodos hidrológicos e hidráulicos:** Tiene por objeto la estimación de caudales que se generan en una cuenca o corriente, así como, el cálculo de los calados y velocidades con los que transitan por un determinado tramo fluvial. Los métodos hidrológicos establecen los

valores de caudales, para lo cual, puede aplicar el análisis estadístico de los valores máximos o a su vez puede emplear los datos de precipitación, a través de modelos hidrometeorológicos de transformación precipitación-escorrentía (lluvia-escorrentía) fundamentados en métodos como: el racional, hidrograma unitario, precipitación máxima probable (PMP)-tormenta máxima probable (PMS)-avenida máxima probable (PMF), HEC-HMS, etc. Los métodos hidráulicos parten de diferentes hipótesis, simplificaciones o aproximaciones al flujo del agua en la naturaleza (unifásico-bifásico, uni-bi-tridimensional, uniforme-variado, permanente-variable, laminar-turbulento, lento-rápido) que simplifican las ecuaciones físicas que lo modelizan, como producto permite estimar diferentes parámetros o valores como el calado, la velocidad y la energía.

**Los métodos geológico-geomorfológicos:** Utilizan la disposición y el tipo de formas del terreno y los depósitos ocasionados durante o post evento de una crecida. En base a ello, se logra definir las zonas geomorfológicamente activas localizadas en el cauce fluvial y sus márgenes, por lo tanto, son susceptibles a inundarse en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial, su periodicidad de inundación e incluso provocar órdenes de magnitud de parámetros en factores como: profundidad, velocidad de la corriente o carga sólida transportada.

De igual forma, para el modelamiento de la amenaza inundación, según la (Comunidad Andina de Naciones, 2009), se puede trabajar con el análisis geomorfológico, modelamiento hidrográfico o hidrológico y el modelamiento hidráulico, cuyas fases y metodologías se resume en la siguiente Tabla 10:

**Tabla 10. Fases y metodologías para el modelamiento de la amenaza de inundación.**

Fase y metodologías	Alcance y objetivo	Escala típica	Métodos e instrumentos
Análisis Geomorfológico	Tiene por objeto reconstruir y caracterizar la dinámica histórica del río con base al análisis multitemporales y evidencias del territorio. Se emplean para cartografiar datos históricos de inundación (alturas o cotas y extensiones) y características del sistema fluvial (paleocauces, terrazas, otros.).	1:50.000 a 1:10.000	Emplea métodos para la interpretar y estudio de imágenes y cartografía, complementado con trabajo de campo.
Modelamiento Hidrográfico o Hidrológico	Se fundamenta en el estudio de información histórica, datos meteorológicos (precipitación, evaporación, temperatura) e hidrométricos (caudales), características de la cuenca y de las crecidas. Se utiliza para construir modelos de caudales máximos para diversos períodos de retorno (hidrogramas).	1:50.000 a 1:10.000	Utiliza métodos estadísticos, modelos unidimensionales. Como ejemplo se puede citar el software HEC-HMS.
Modelamiento Hidráulico	Busca establecer las características físicas de la inundación en un tramo específico del río, se determina	1:5.000 y mayores	Modelos matemáticos 1D y 2D (ej. HEC-RAS, IBER,

la distribución espacial, la profundidad, la velocidad, el tiempo de arribo y la duración.

MIKE 21, DELF – FLS). Requiere información detallada de la topografía y la batimetría.

---

***Fuente:*** (Comunidad Andina de Naciones, 2009).

### ***3.2.2 Métodos para la evaluación de factores de riesgo de inundación***

Por otra parte, según (Escuder - Bueno, Catillo - Rodríguez, Morales - Torres, & Altarejos - García, 2013), existen diferentes métodos y herramientas para evaluar el riesgo de inundación a través de los factores de probabilidad (amenaza) y consecuencia (vulnerabilidad), entre las que pueden distinguir cuatro categorías: completas y parciales, según los componentes del riesgo a evaluar, cualitativa y cuantitativas, depende si se obtiene o no un valor numérico o índice del riesgo. En la Tabla 11, se presenta un resumen de las cuatro herramientas para evaluar el riesgo de inundación:

**Tabla 11. Métodos y herramientas para evaluar el riesgo de inundación.**

<b>Tipo de método - herramienta</b>	<b>Función o proceso</b>	<b>Limitantes o beneficios</b>
Parciales y cualitativas	Se basan en la experiencia y conocimiento, evalúan un factor de riesgo de manera cuantitativa. Entre ellos se distinguen la estimación de la probabilidad en base a eventos históricos o cálculos hidrológicos e hidráulicos simplificados, por otra parte, se estima la pérdida potencial de vida humanas o pérdidas económicas en base a usos de suelo. La representación cartográfica se base en eventos histórico a gran escala, que se considerarían como preliminares.	Al evaluar un solo factor de riesgo pueden inducir al error en las medidas de reducción.
Parciales y cuantitativas	De igual forma, evalúan un factor de riesgo de manera cuantitativa, por consiguiente, se aplican herramientas para evaluar la probabilidad y otras para la vulnerabilidad. La elaboración de mapas de inundación se base en la estimación de la probabilidad, para ello, se incluye: el análisis histórico y geomorfológico, la modelación hidrológica e hidráulica, calibración y validación de resultados; la estimación de las consecuencias se	De la misma forma, al evaluar un solo factor de riesgo, puede dar lugar a la equivocación en la intervención para la reducción del riesgo.

calcula en base pérdida potencial de vidas y económicas.

Completas y cualitativas	Los mapas de riesgo de inundación se elaboran en base a la combinación de la valoración cualitativa de la probabilidad mediante modelos hidrológicos e hidráulicos y estimación cualitativa de las consecuencias.	Determina áreas prioritarias para la intervención en la reducción, utilidad para planificación y gestión, pero, el detalle es menor y limitaciones en la estimación de las consecuencias.
Completas y cuantitativas	Cuantifica el riesgo a través del valor numérico y la combinación de los componentes de la probabilidad y consecuencias. Una herramienta son los mapas de riesgos que distribuyen la zona de estudio en celdas pequeñas para cuantificar en cada celda y obtener la distribución de toda el área.	Permite evaluar de manera integral la probabilidad y consecuencia como componentes del riesgo de inundación, sin embargo, el nivel de detalle sigue siendo una dificultad.

---

**Fuente:** Adaptado de (Escuder - Bueno, Catillo - Rodríguez, Morales - Torres, & Altarejos - García, 2013).

Para realizar con mayor detalle una evaluación de la vulnerabilidad y exposición como factores de riesgo de inundación, por parte de (Pinos, Timbe, & Orellana, 2017), identifican diversos métodos que se pueden utilizar según el componente y la escala de detalle a evaluar, en la Tabla 12., se resumen lo métodos, escala, una breve descripción y el

componente de tipo de daño a estimar ante la amenaza de inundación, algunas de las metodologías se han aplicado en Ecuador.

**Tabla 12. Métodos para estimar daños ante la amenaza de inundación.**

Método (Referencia)	Escala	Descripción o función	Componente de tipo de daños a estimar
<b>Hazus-MH Flood Model</b> (Scawthorn et al., 2006)	Federal, estatal, regional, local	Herramienta analítica basada en SIG para estimar pérdidas. Utiliza curvas de daño en función de la profundidad y la velocidad del agua, y una fórmula empírica para la agricultura.	<b>Directo Físico:</b> edificaciones, instalaciones esenciales, transporte, suministro, agricultura, vehículos. <b>Indirecto Físico:</b> escombros. <b>Económicas/Sociales:</b> refugios, pérdidas humanas, logística.
<b>Flood and Coastal Erosion Risk Management</b> (Penning-Rowsell et al., 2017)	N/A	Guía para la evaluación económica de los beneficios de la gestión del riesgo. Usa curvas de daño relativas (profundidad y duración de la crecida)	<b>Propiedades:</b> residenciales y no residenciales (comercios, industrias). <b>Otras pérdidas:</b> utilidades públicas, transporte, infraestructura crítica, agricultura.

---

				<b>Tipos:</b> Daños directos, indirectos, tangibles e intangibles
			Estima el riesgo ante una probabilidad de evento. Combina mapas de amenaza y funciones de daño para generar un mapa de riesgo económico (costo material total) y un mapa de riesgo social (vulnerabilidad de la población).	
<b>LATIS</b> (Glas et al., 2017)	N/A	(Desarrolla mapas de riesgo		<b>Material:</b> Edificaciones, agricultura. <b>Social:</b> Vulnerabilidad (población y resiliencia).
			Modelo multifactorial de estimación de pérdidas basado en información empírica.	
<b>FLEMOps/FLEMOcs</b> (Thieken et al., 2008; Kreibich et al., 2010)	Microescala (local); Mesoescala (regional a nacional)		<b>FLEMOps:</b> Sector privado (edificios residenciales y contenido); <b>FLEMOcs:</b> Sector comercial (edificios, equipos, bienes).	<b>Daños Tangibles Directos:</b> Edificios residenciales y contenido de hogares (FLEMOps); Edificios comerciales, equipos y bienes de empresas (FLEMOcs)

---

---

<b>Agricultural flash flood</b> (Vozinaki et al., 2015)	Sector rural (local)	<p>Metodología para estimar pérdidas económicas en la agricultura con datos limitados.</p> <p>Utiliza la profundidad, velocidad de flujo y época de la crecida (fase de crecimiento del cultivo). Genera curvas de daño sintéticas.</p>	Pérdidas económicas en el sector agrícola.
<b>ICPR</b> (ICPR, 2001)	Meso-escala (Alemania)	<p>Evalúa los daños del sector comercial. Se basa en funciones relativas de profundidad-daño junto con mapas de uso del suelo.</p>	<p>Evalúa los daños del sector comercial. Se basa en funciones relativas de profundidad-daño junto con mapas de uso del suelo.</p>
<b>RAM (Rapid Appraisal Method)</b> (NRE, 2000)		<p>Estimación rápida de daños que asigna un valor base de pérdida promedio a los edificios individuales, independientemente de las características de la crecida</p>	Edificaciones. Daños a las empresas australianas.
<b>Mathematical Model</b> (Dutta et al., 2003)		Formulado en base a relaciones de daño	Edificaciones: edificios residenciales

---

---

		de escenario entre parámetros de inundación y características de uso del suelo.	(valor de la estructura por unidad de área y valor del contenido por unidad de área).
		Modelo conceptual para explorar factores determinantes del	
<b>Doughnut Structure</b> (Zhai et al., 2005)	Micro-inundación	daño en casas y contenido. Se basa en la probabilidad de daños en el hogar y el valor del daño aplicado a un hogar	Daños en casas y contenido de las casas.
		Modelo conceptual específico para propiedades domésticas de Reino Unido. El daño es función de las características de la	
<b>Nicholas - UK Domestic Properties</b> (Nicholas et al., 2001)		inundación (velocidad, contaminantes, duración) y las características de las edificaciones (frecuencia de inundación, materiales de construcción).	Daños a propiedades domésticas (pérdida en términos monetarios).

---

---

<b>KULTURisk</b> (Giupponi et al., 2014)	Metodología de evaluación de riesgo que considera diversos receptores.	Población, Edificios, Infraestructuras, Agricultura, Sistemas naturales y semi-naturales, Patrimonio cultural.
<b>CAPRA</b> (Cardona et al., 2012)	Herramienta probabilística para la gestión de riesgos que produce informes sobre pérdidas esperadas anuales, primas de riesgo, y pérdidas máximas probables.	Diferentes componentes de desastres naturales, incluyendo inundaciones.

---

*Fuente: Adaptado de de (Pinos, Timbe, & Orellana, 2017).*

### **3.3 Metodología para la evaluación de la amenaza y riesgos de inundación a escala local**

Entre los modelos de evaluación de la amenaza de inundación a escala local se basan en la aplicación del método hidrológico e hidráulico que permita simular la extensión y severidad de un evento extremo, lo que constituye un paso fundamental para con mayor detalle zonificar la amenaza (elaboración de mapas), la identificación de los elementos expuestos, el diseño e implementación de medidas de reducción para los territorios.

El modelo para la evaluación de la amenaza y riesgo de inundación en un territorio, se estructura en cinco fases, que son:

Fase 1: Análisis y modelamiento hidrológico.

Fase 2: Modelamiento hidráulico.

Fase 3: Zonificación y niveles de amenaza de inundación.

Fase 4: Análisis de vulnerabilidad y exposición a las inundaciones.

Fase 5: Diseño de medidas de reducción de riesgo de inundación.

A continuación, se explica cada una de las fases del modelo para la evaluación de la amenaza y riesgo de inundación a escala local.

### ***3.3.1 Fase 1: Análisis y modelamiento hidrológico***

La fase tiene por objetivo la estimación del caudal máximo (caudal de diseño) que se empleará en la modelación física de la inundación, vinculado a diferentes periodos de retorno (probabilidad de ocurrencia) (IDEAM - Colombia, 2017), en caso que no se disponga de caudales del área de estudio, se deberá realizar un análisis de transformación de lluvia en escorrentía.

En tabla 13. se presenta un resumen del proceso metodológico para el modelamiento hidrológico para la determinación de caudales máximos.

**Tabla 13. Componente para el modelamiento hidrológico para determinación de caudales máximos.**

<b>Componente</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Fuentes y proceso metodológicas</b>
Recopilación y análisis de datos	Adquirir series históricas de precipitación y caudales para la cuenca de estudio.	Estudios de fuentes oficiales, datos históricos de eventos.
Análisis de Frecuencias	Estimar la magnitud del caudal	( $Q_{TR}$ ) Caudal para distintos tiempos de retornos de retorno (TR), como por ejemplo TR=50, 100 y 500 años, mediante distribuciones estadísticas. Modelos de probabilidad (Gumbel, Log-Pearson III, etc.), o análisis de hidrogramas en cuencas grandes.
Generación de Hidrogramas	Proporcionar las curvas de caudal versus tiempo (hidrogramas) que actúan como condición de entrada para la modelación hidráulica en la Fase 2.	Aplicación de métodos hidrológicos como el hidrograma unitario.
Cálculo de caudales máximos ( $Q_{ma}$ )	Calcular caudales máximos ( $Q_{max}$ ) para diferentes tiempos de retorno (TR): 50, 100 y 500 años que serán utilizadas en la fase 2.	Entre los métodos comunes se emplean el Método Racional (cuencas menores a 25 km <sup>2</sup> ), HEC – HMS, entre otras.

*Nota:* Adaptado de (Díez-Herrero, Laín-Huerta, & Llorente-Isidro, 2008), (Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2022).

### 3.3.2 Fase 2: Modelamiento hidráulico

Esta fase tiene por objetivo simular la inundación, a partir de los caudales obtenidos, se diseña un modelo hidrodinámico para generar mapas de velocidades y profundidades o calados de lámina de agua (IDEAM - Colombia, 2017), esto permitirá la simulación de las dinámicas del flujo de agua para zonificar (mapas) y cuantificar las características físicas de la inundación en el territorio.

En la tabla 14 se resume los componentes del proceso metodológico para el modelamiento hidráulico para simulación de la inundación.

**Tabla 14. Componente para el modelamiento hidráulico para simulación de la inundación.**

Componente	Objetivo	Fuentes y proceso metodológicas
Geometría y datos de entrada	Preparar el Modelo Digital de Elevación (MDE) y la batimetría del cauce de la cuenca. Determinar el coeficiente de rugosidad (Manning) que representa la fricción del terreno y la cobertura vegetal.	Levantamiento topográfico, MDE de alta resolución e interpretación de usos del suelo.
Selección y Configuración del Modelo	Elegir el software y el tipo de modelación más adecuado para el área local de estudio.	Modelos 1D (unidimensionales): Adecuados para tramos de ríos bien definidos.

Modelos 2D (bidimensionales):  
Imprescindibles a escala local en zonas de llanura, áreas urbanas y ríos de montaña con flujo complejo en la llanura de inundación (ejemplo: IBER o HEC-RAS 2D)

Se utiliza el ( $Q_{TR}$ ) para obtener los parámetros de intensidad de la amenaza.

<p>Simulación y Determinación de Variables</p>	<p>Emplear la modelación hidráulica aplicando el caudal de diseño.</p>	<p>Utiliza como variables de salida: profundidad de la lámina de agua (h), velocidad del flujo (v) y la superficie del área la inundación para cada periodo de retorno.</p>
<p>Calibración y Validación</p>	<p>Tiene por objeto ajustar el modelo a las condiciones reales y verificar su precisión.</p>	<p>Se compara los resultados (extensión y profundidades) con registros de inundaciones históricas, análisis geomorfológicos y datos de campo.</p>

---

*Nota:* Adaptado de (Díez-Herrero, Laín-Huerta, & Llorente-Isidro, 2008), (Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2022), (Bolívar - Fandiño, Pineda- Toro, & Salcedo - Herrera, 2019).

### ***3.3.3 Fase 3: Zonificación y niveles de amenaza de inundación***

A partir de los resultados de la fase 2 como son los calados o alturas o profundidades (h) y velocidades del flujo (v) se procede a establecer zonas con niveles de amenaza y su representación cartográfica para diferentes tiempos de retorno.

En la tabla 15 se resume los componentes del proceso metodológico para el modelamiento hidráulico para simulación de la inundación.

**Tabla 15. Componente para el modelamiento hidráulico para simulación de la inundación.**

<b>Componente</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Fuentes y proceso metodológicas</b>
Zonificación de Amenaza	Clasificar el área inundable en niveles de amenaza, por ejemplo: baja, media, alta, muy alta.	Se superponen las variables de calado o altura de la lámina de agua y velocidad (h y v) por tiempos de retorno (TR). Por ejemplo, un evento de TR=10 años y baja profundidad puede ser clasificado como amenaza baja, mientras que un evento de TR=500 años y alta profundidad y velocidad se clasifica como amenaza muy alta.
Elaboración del Mapa de Amenaza	Generar el producto cartográfico de la amenaza de inundación para la toma de decisiones en la gestión del riesgo.	Mapa temático que delimita las zonas según los niveles de amenaza de inundación. Entre los instrumentos utilizados son los Sistemas de Información Geográfica (QGIS, ArcGIS, otros)

*Nota:* Adaptado de (Díez-Herrero, Laín-Huerta, & Llorente-Isidro, 2008).

A modo de ejemplo, se presenta en la tabla 3.7 los criterios para establecer las zonas y niveles de amenaza de inundación para TR 50, 100 y 500 años en el río Guaranda en Ecuador, elaborado por (Paucar - Camacho, 2016).

**Tabla 16. Criterios para zonas y niveles de amenaza de inundación con TR 50, 100 y 500 años en el río Guaranda.**

Zonas y niveles de amenaza inundación	Criterios para nivel de amenaza	Posibles afectaciones
Zona de amenaza alta	Calados (y) = $\geq 1,00$ m, velocidades (v) = $\geq 1,00$ m/s, producto calado por velocidad (y*v) = $\geq 0,50$ m <sup>2</sup> /s.	Riesgo alto para personas y posibles daños graves a las infraestructuras.
Zona de amenaza media	Calados (y) = De 0,41 a 0,99 m, velocidades (v) = De 0,41 a 0,99 m/s, producto calado por velocidad (y*v) = De 0,081 a 0,49 m <sup>2</sup> /s.	Afectaciones a las viviendas, los vehículos pueden perder adherencia, el arrastre objetos que pudieran afectar a la estabilidad y movilidad de las personas medio.
Zona de amenaza baja	Calados (y) = $< 0,40$ m, velocidades (v) = $< 0,40$ m/s, producto calado por velocidad (y*v) $< 0,080$ m <sup>2</sup> /s.	Presentaría afectaciones leves para las vidas humanas, podrían presentarse tropiezos, caídas u otras causas de poca importancia.

### **3.3.4 Fase 4: Análisis de vulnerabilidad y exposición a las inundaciones**

Una vez identificado las zonas niveles de amenaza de inundación, para evaluar el riesgo de manera integral u holística, se debe evaluar las condiciones de vulnerabilidad y exposición de la población, edificaciones, infraestructuras del territorio.

Para la evaluación de la vulnerabilidad, se puede utilizar metodologías cualitativas, tales como, la propuesta desarrollada por el Programa de las Naciones Unidas para Desarrollo - PNUD y Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos – SNGR (2012), que establece variables e indicadores cualitativos para evaluar la vulnerabilidad de la edificación ante la amenaza de inundación, como son: el sistema estructural, paredes, tipo de cubierta, número de pisos, año de construcción, estado de conservación, características del suelo y topografía del sitio (PNUD y SNGR, 2012).

Con referencia a la exposición, a través de la cartografía de la amenaza y los elementos expuesto se puede determinar el nivel de exposición, como se muestra en la tabla 17 en la propuesta desarrollada por (Olcina - Cantos, Oliva - Cañizares, Sánchez - Almodóvar, Martí - Talavera, & Biener - Camacho, 2021):

**Tabla 17. Propuesta metodológica para la elaboración de cartografía de amenaza y de riesgo de inundación.**

<b>Calado (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Amenaza / peligrosidad</b>	<b>Descripción</b>
0-0,20 m	< 1 m/s	Baja	Poca capacidad de arrastre.
	> 1 m/s	Media	Alta capacidad de arrastre.
0,20-0,50 m	< 1 m/s	Media	Poca capacidad de arrastre, sin embargo, el calado notable para el riesgo de vidas humanas.

	> 1 m/s	Media-Alta	Calado capaz de arrastrar: a) Personas b) Contenedores c) Vehículos d) Otros
0,5-0,8 m	< 1 m/s	Alta	Calado capaz de arrastrar: a) Personas b) Contenedores c) Vehículos d) Otros
	> 1 m/s	Alta-Muy Alta	Calado capaz de arrastrar: a) Personas b) Contenedores c) Vehículos d) Otros
0,8-1,2 m	< 1 m/s	Muy Alta	Calado capaz de arrastrar: a) Personas b) Contenedores c) Vehículos d) Otros

	> 1 m/s	Muy Alta- Extrema	Calado capaz de arrastrar:  a) Personas  b) Contenedores  c) Vehículos  d) Otros
+ 1,2 m	< 1 m/s	Extrema	Calado capaz de arrastrar:  a) Personas  b) Contenedores  c) Vehículos pesados  d) Otros
	> 1 m/s	Muy Extrema	Calado capaz de arrastrar:  a) Personas  b) Contenedores  c) Vehículos pesados  d) Otros

### ***3.3.5 Fase 5: Diseño de medidas de reducción de riesgo de inundación***

A partir de los resultados de evaluación de la amenaza, las condiciones de vulnerabilidad y elementos expuestos, se podrá diseñar e implementar con mayor detalle las medidas reducción de riesgos de tipo estructural y no estructural para los territorios.

## CAPÍTULO IV

### **4 ESTUDIO DE CASO: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN EN EL RECINTO SAN JOSÉ DE CAMARÓN, CANTÓN ECHEANDÍA**

En el presente capítulo se desarrolla como caso de estudio la evaluación de la amenaza de estudio a escala local, la investigación se realizó en el recinto San José de Camarón que pertenece al cantón Echeandía, provincia Bolívar en Ecuador, según datos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial – PDOT del cantón Echeandía (2015), posee un total de 352 habitantes (GAD Echeandía, 2015).

La zona de estudio por influencia de la microcuenca del río Camarón se ha visto afectada por varios eventos de inundación que han provocado efectos de tipo social, en las infraestructuras y medios de vida, es por ello, que se elaboró un modelo integral para evaluar la amenaza de inundación, elementos expuestos y el planteamiento de estrategias y medidas de reducción para la escala local.

#### **4.1 Proceso metodológico para la evaluación de la amenaza de inundación y estrategias de reducción**

La investigación se desarrolló con un enfoque mixto, ya que se aplicó el método cuantitativo para la evaluación de la amenaza de inundación mediante el modelamiento hidrológico (caudales máximos en  $m^3/s$ ) y el modelamiento hidráulico (calados en m y velocidades en  $m/s$ ) que al correlacionar se obtuvo zonas (mapas) con los niveles (calado por velocidad en  $m^2/s$ ) de la amenaza de inundación para escenarios de 50 y

100 años; mientras que, el método cualitativo, se utilizó para el análisis de la exposición y la propuesta de estrategias y medidas de reducción. El área de estudio es la microcuenca del río Camarones que tiene una extensión de 12,98 km<sup>2</sup> y su influencia en el centro poblado de San José de Camarón.

El proceso metodológico para la evaluación de la amenaza de inundación y estrategias de reducción en la zona de estudio está compuesto por los siguientes componentes:

1. **Caracterización de la microcuenca:** Se delimitó la microcuenca hidrográfica a través del uso de un Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenido del satélite de la Agencia Espacial Europea (ESA siglas en inglés) de 12,5 metros de resolución espacial (ASA, 2022) y la red de drenaje (ríos) a escala nacional 1:50.000 (IGM, 2011), con el uso del módulo de hidrología del software ArcGIS, se caracterizó parámetros morfométricos como: pendiente promedio, longitud de cauce principal, entre otros factores, necesarios para la evaluación de la amenaza y exposición.
2. **Modelación hidrológica:** A partir de información de la zona de intensidad de precipitación definida para el área de estudio por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 1999), mediante el método Racional se calculó los caudales máximos (m<sup>3</sup>/s) para tiempos de retorno (TR) de 50 y 100 años.
3. **Modelación hidráulica:** Se utilizó el software libre IBER 2.6, se basa en un modelo matemático bidimensional, facilita la

simulación el flujo de ríos para determinar valores para variables hidráulicas como el calado, caudales, velocidades y otros (Bolívar Frandiño, J., Pineda Toro, D., & y Salcedo Herrera, I., 2019), además, simula un flujo turbulento en lámina libre, con régimen permanente y se aplica para evaluar zonas inundables (Gutiérrez García, J., y otros, 2022); se obtuvo valores de los calados o alturas (m) y las velocidades (m/s) de las crecidas para TR 50 y 100 años de influencia en el área poblada.

4. **Zonificación de la amenaza de inundación:** A través del software ArcGIS (10.8), mediante la herramienta de álgebra de mapas se correlacionó los valores de calados (m) y velocidad (m/s), se obtuvo el mapa con valores de calado por velocidad ( $m^2/s$ ), lo que permitió definir los rangos para establecer las zonas (mapas) por niveles de la amenaza de inundaciones para tiempos de retorno (TR) 50 y 100 años, los rangos se obtuvieron al multiplicar los valores mínimos y máximos de los calados y velocidades, la misma que se presenta en la Tabla 18.

*Tabla 18. Criterios para niveles de amenaza de inundación para TR 50 y 100 años.*

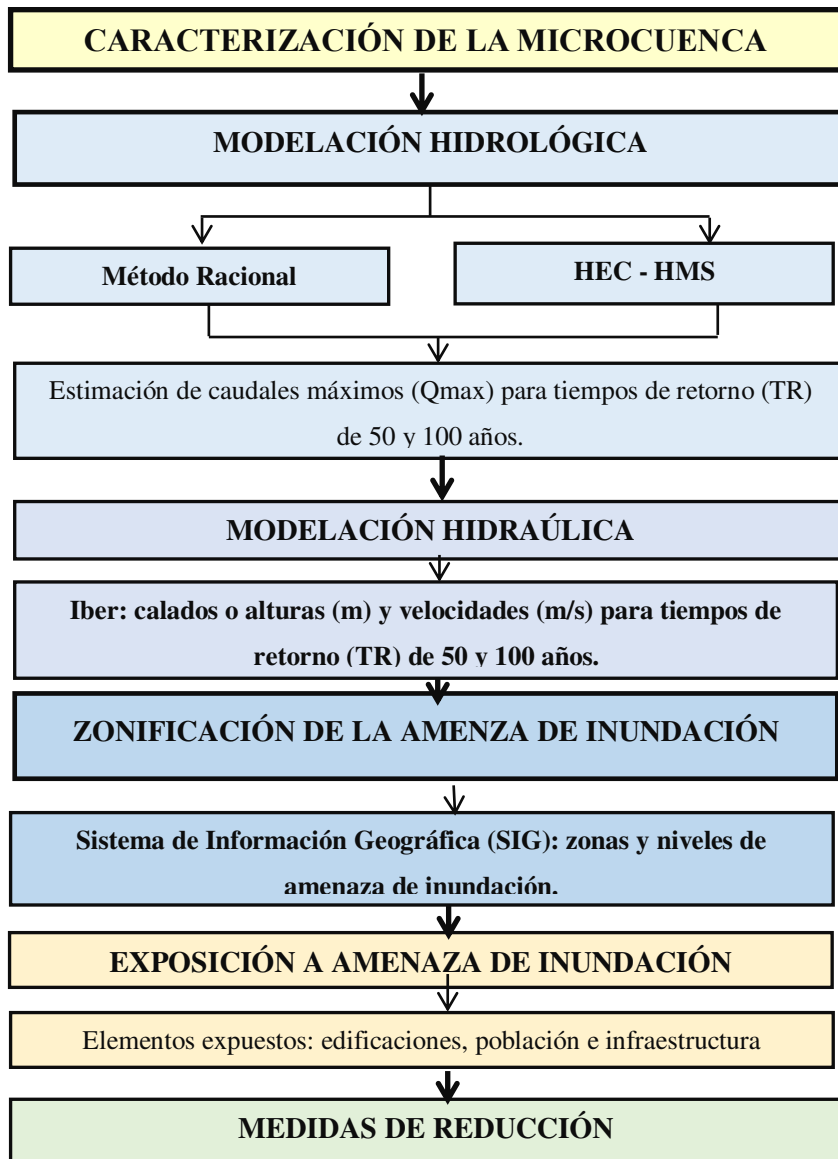
Nivel de amenaza	Rango de valores calado	Rango de valores velocidad	Rango de valores calado por velocidad
	(m)	(m/s)	( $m^2/s$ )
	(1)	(2)	(3 = 1*2)

<b>Bajo</b>	$\leq 0,450$	$\leq 0,450$	$\leq 0,20$
<b>Medio</b>	0,460 a 0,700	0,460 a 0,700	0,21 a 0,49
<b>Alto</b>	0,710 a 1,220	0,710 a 1,220	0,50 a 1,49
<b>Muy alto</b>	1,225 a 1,577	1,225 a 1,577	1,50 a 2,49
<b>Extremo</b>	$\geq 1,580$	$\geq 1,580$	$\geq 2,50$

*Nota:* Adaptado de (IDEAM, 2018)

5. **Exposición a la amenaza de inundación:** en el software ArcGIS (10.8) se digitalizaron los mapas de las infraestructuras y equipamientos del centro poblado de San José de Camarón, que fueron elaborados a partir de ortofotos escala 1:5.000 del año 2012 del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2012) y trabajo de campo; se correlacionaron con los mapas de inundación para TR 50 y 100 años con los elementos expuestos del centro poblado para determinar los niveles de exposición.
6. Medidas de reducción; a partir de los resultados de los elementos expuestos (edificaciones, vías, unidad de salud y educación y UPC) por escenarios de inundación (TR 50 y 100 años) se estableció estrategias o medidas para la reducción de riesgo que contribuya a la sostenibilidad y resiliencia del territorio (San José de Camarón).

En la Figura 3. se sintetiza el esquema del proceso metodológico para la evaluación de la amenaza de inundación y estrategias de reducción en el recinto San José de Camarón, cantón Echeandia.



*Figura 3. Proceso metodológico para la evaluación de la amenaza de inundación y estrategias de reducción para el recinto San José de Camarón.*

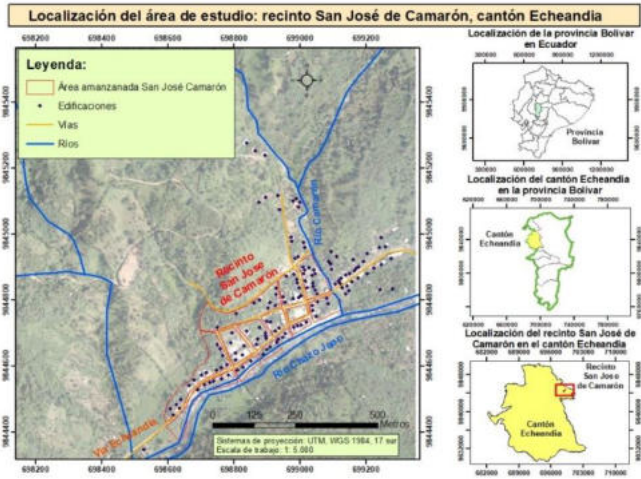
A continuación, se presenta los resultados de cada uno de los componentes del modelo de evaluación de la amenaza y estrategias de reducción de riesgo de inundación en la zona de intervención.

## **4.2 Caracterización del territorio y antecedentes históricos de inundaciones**

Se desarrolla la caracterización del territorio y la microcuenca del río Camarón, así como, se presenta los antecedentes históricos de los eventos de inundación, para contextualizar el área de intervención.

### ***4.2.1 Caracterización del territorio de intervención***

En la Figura 4, se representa la localización del área de estudio se ubica en la provincia Bolívar, cantón Echeandia, recinto San José de Camarón, según datos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial – PDOT del cantón Echeandía (2015), posee un total de 352 habitantes (GAD Echeandía, 2015). De igual forma, el recinto San José de Camarón, se localiza en la zona de influencia del río Camarón que pertenece a la microcuenca del río Chazo Juan.



**Figura 4. Localización del recinto Camarón, cantón Echeandia.**

*Fuente: IGM, 2012; GAD cantón Echeandia, 2015; CONALI, 2023.*

En la Figura 5 se representa la localización de la microcuenca de río Camarón que influye en la amenaza de inundación al recinto San José de Camarón, la microcuenca se ubica entre los cantones de Guaranda y Echeandia en la provincia Bolívar.



*Figura 5. Localización de la micrucuenca del río Camarón, provincia Bolívar.*

#### **4.2.2 Antecedentes históricos de inundaciones**

Según la base de datos de EM-DAT del Marco de Sendai de Naciones Unidas en el cantón Echeandia, como se muestra en la Tabla 19, entre el período de 1997 a 2023 registra 26 eventos históricos de inundación que causó 902 personas afectadas, 120 viviendas afectadas y 16 destruidas, aunque no se registran personas fallecidas (EM-DAT, 2025).

En el caso del recinto San José de Camarón, ha sido afectado al menos nueve eventos de inundación que se presentaron en los años 2009, 2012, 2013, 2016, 2017, 2018 y 2023, aunque no provocaron muertes, sin embargo, se registran afectación a personas, viviendas afectadas y destruidas; lo que evidencia, el riesgo de inundaciones para el territorio.

*Tabla 19. Eventos históricos de inundaciones en el cantón Echeandia.*

<b>Número</b>	<b>Fecha</b>	<b>Lugar de afectación</b>	<b>Muertos</b>	<b>Personas afectadas</b>	<b>Viviendas afectadas</b>	<b>Viviendas destruidas</b>
1	1997/1 1/14	Sector las Casitas	0	0	41	0
2	2008/2 /19	Achin-Santa Rosa Agua Clara	0	0	0	0
3	2008/3 /1	Quilayacu	0	0	0	0

		2008/3				
4	/1	Chillanes	0	0	0	0
		2009/1				
5	/17	Santa Lucia	0	0	0	0
		2009/1				
6	/17	Sector de Camarón	0	0	0	0
		2010/4				
7	/3	Sector Sabanetilla-Monterrey	0	100	0	1
		2012/3				
8	/23	Camarón	0	12	3	0
		2012/3				
9	/28	Sector Magisterio	0	0	3	0
		2012/3				
10	/28	Barraganete	0	8	3	0
		2012/4				
11	/12	Guamayaco	0	6	1	0
		2012/4				
12	/12	Comunidad Camaron Alto	0	5	1	0
		2012/5				
13	/23	La Dolorosa	0	4	1	0
		2013/3				
14	/16	Sabanetillas	0	4	2	0
		2013/3				
15	/26	La Zamba Recinto Camarón	0	11	2	0

		2014/2					
16	/27	Puente Sector Santa Lucia	0	480	0	0	
		2015/4					
17	/19	Recintos Payacacao, El Tesoro, El Malecón, y Barraganete	0	49	14	1	
		2016/3					
18	/8	Camarón-San Camilo	0	54	16	1	
		2017/3					
19	/26	Recinto el Camarón – Más arriba de la comunidad.	0	18	4	0	
		2017/3					
20	/4	Echeandia – Establecimientos Educativos	0	0	0	0	
		2017/4					
21	/17	Recinto Camarón	0	61	18	12	
		2018/2					
22	/23	Camarón	0	15	4	1	
		2018/5					
23	/5	San José Camarón, Barrio Bellavista	0	4	1	0	
		2021/3					
24	/5	San Gerardo	0	7	1	0	
		2022/3					
25	/20	San Gerardo	0	40	0	0	
		2023/5					
26	/25	varios sectores: Camarón y la Zamba	0	24	5	0	
		<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>902</b>	<b>120</b>	<b>16</b>	

### 4.3 Caracterización de la microcuenca del río Camarón

La caracterización morfométrica de la microcuenca del río Camarón se compone de varios parámetros que describen su extensión, relieve, red hídrica todos fundamentales para comprender su comportamiento hidrológico y su vulnerabilidad a inundaciones. Para la obtención de las características geomorfológicas de la cuenca del río Camarón mediante los Sistemas de Información Geográfica se obtuvo un Modelo de Elevación Digital (DEM) desde la plataforma de la nasa (USGS, 2025) con una resolución de 30 metros, se delimitó la microcuenca y los parámetros calculados se describen en la Tabla 4.3.

*Tabla 20. Parámetros morfométricas microcuenca río Camarón.*

Parámetros morfométricas microcuenca río Camarón		
Propiedad	Unidad	Valor
<b>De superficie</b>		
Área	Km <sup>2</sup>	12,98
Perímetro	Km	16,58
Ancho de la cuenca	Km	4,4 km
<b>Centroide Wgs84-UTM-18S</b>		
X centroide	m	699481
Y centroide	m	9847189
Z centroide	m.s.n.m.	3619,03

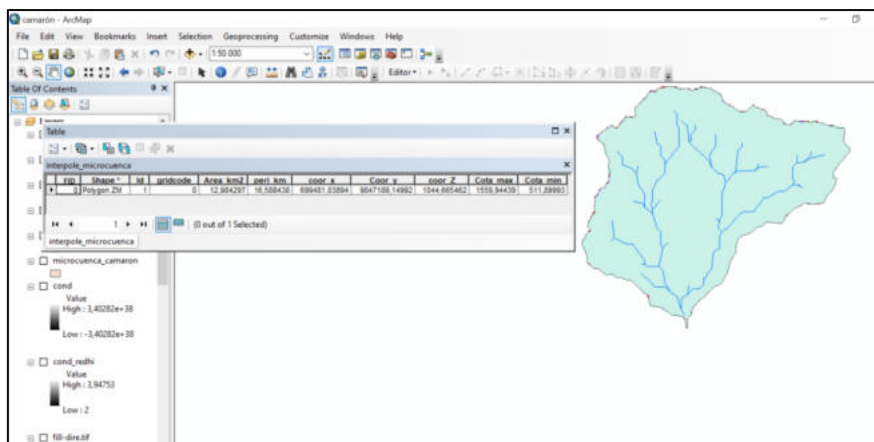
<b>Altitud</b>		
Altitud media	m.s.n.m.	3619,03
Altitud más frecuente	m.s.n.m.	1035,5
Altitud de frecuencia media	m.s.n.m.	1080,32
<b>Pendiente</b>		
Pendiente promedio de la cuenca	m	0,18
<b>Características del sistema de drenaje</b>		
Longitud del cauce principal	Km	5744,11
Cota máxima	m.s.n.m.	1560
Cota mínima	m.s.n.m.	512
Orden de la red hídrica	UND	4
Longitud de la red hídrica	Km	75,74
Pendiente promedio del cauce	%	19,398
Pendiente del cauce principal	m/km	0,18
<b>Parámetros generados</b>		
Factor de forma		0,05
Densidad de drenaje	Km/km <sup>2</sup>	5,83
Tiempo de concentración	Horas	30,21

**Área de drenaje de la cuenca.** La microcuenca del río Camarón tiene un área de drenaje de 12,98 Km<sup>2</sup>, esta área recoge y conduce el agua de escorrentía hacia un punto de concentración o salida, el tamaño del área influye en el tiempo de concentración, afectando la rapidez con que la crecida se produce.

**Perímetro de la cuenca:** el perímetro es de 16,58 Km la cual es más largo en relación con el área, esto indica que una forma irregular de la cuenca afecta la velocidad de escurrimiento y la concentración del flujo.

**Longitud del cauce principal:** representa 5.744,11 km calculado desde el punto de concentración hasta la fuente del cauce más largo. Los cauces más largos implican un tiempo de viaje más largos para el agua, lo que provoca una atenuación de la crecida, es decir, que la crecida se distribuye en un tiempo mayor reduciendo picos de inundación abruptos. En cambio, si los cauces son cortos generan respuestas rápidas e intensas.

**Ancho de la cuenca:** 4,4 km el ancho afecta la dispersión del flujo hacia el cauce, significa que mientras más ancha sea la cuenca recolectara más agua de zonas más alejadas, y se desplaza hacia el cauce en diferentes tiempos generando un efecto de dispersión en la respuesta hidrológica y afecta la magnitud y duración de la inundación, en la Figura 6. se representa los parámetros físicos de la microcuenca.



*Figura 6. Parámetros físicos de la microcuenca calculados mediante Sistema de Información Geográfica (Arcgis 10.8).*

**Pendiente promedio de la cuenca:** se calculó mediante el método es el Horton y se obtuvo un 19,39 % de pendiente que para esta microcuenca se la considera relativamente alta porque reduce la infiltración, y aumenta la velocidad y volumen del escurrimiento superficial hacia cauces y zonas bajas provocando crecidas más rápidas y potencialmente más intensas, aumentando la amenaza de inundación súbita. . (Peña & Jacobo, 2006)

Para el cálculo de la pendiente promedio de la microcuenca se utilizará las ecuaciones descritas Horton 1945:

$$R_x = \frac{NxD}{N_y} \quad (\text{Hortón, 1945}).$$

$$S_y = \frac{N_yD}{L_y} \quad (\text{Hortón, 1945}).$$

Donde:

$D$  = desnivel constante entre curvas de nivel en m

$L_x$  = longitud total de líneas de malla comprendida dentro de la cuenca en la dirección en x en metros

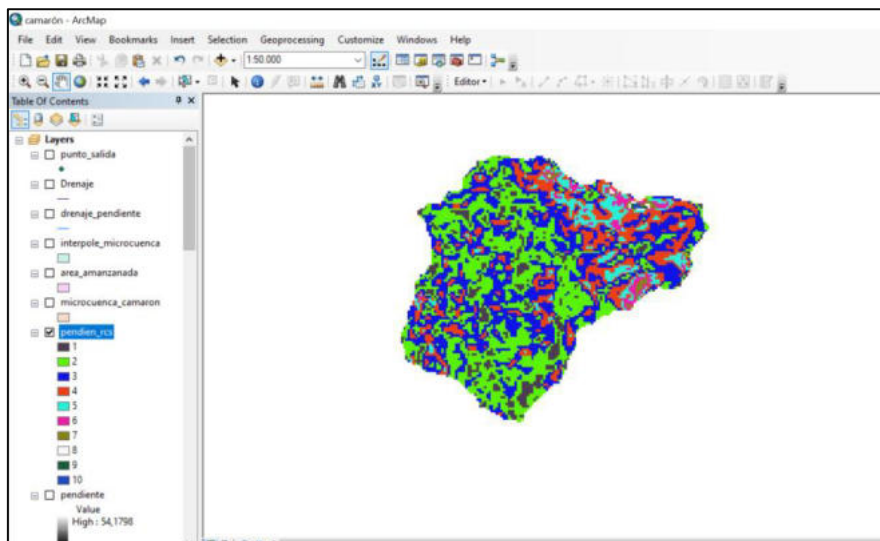
$L_y$  = es la longitud total de las líneas de malla comprendidas dentro de la cuenca en la dirección, en m;

$N_x$  = es el número total intersecciones y tangencias de las líneas de la malla con las curvas de nivel en la dirección x;

$N_y$  = es el número total intersecciones y tangencias de las líneas de la malla con las curvas de nivel en la dirección

$S_x$  = es la pendiente de la cuenca en la dirección x, adimensional;

$S_y$  es la pendiente de la cuenca en la dirección y adimensional.



*Figura 7. Pendiente promedio de la cuenca río Camarón.*

## Orden de la red hídrica:

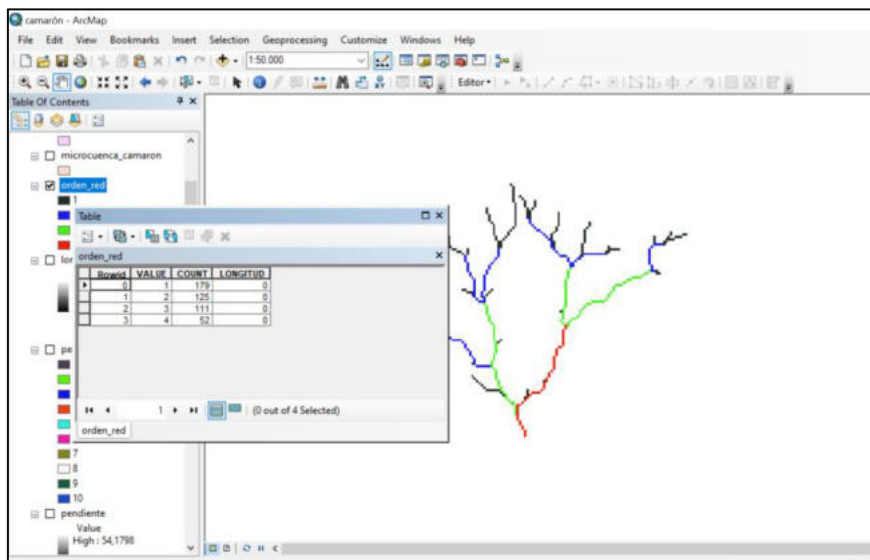
Presenta un orden de red 4 esto quiere decir que la microcuenca recoge y concentra de manera significativa el agua de lluvia a través de sus cauces principales y secundarios, incrementando la capacidad de acumulación y conducción de aguas hacia la salida de la microcuenca. La jerarquización de cauces se calculó mediante la ecuación propuesta por Robert Horton y mejorada por Strahler en 1964. (Strahler, 1964) La expresión es la siguiente:

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1} \text{ (Hortón, 1945)}$$

Donde:

Rb = Relación de bifurcación

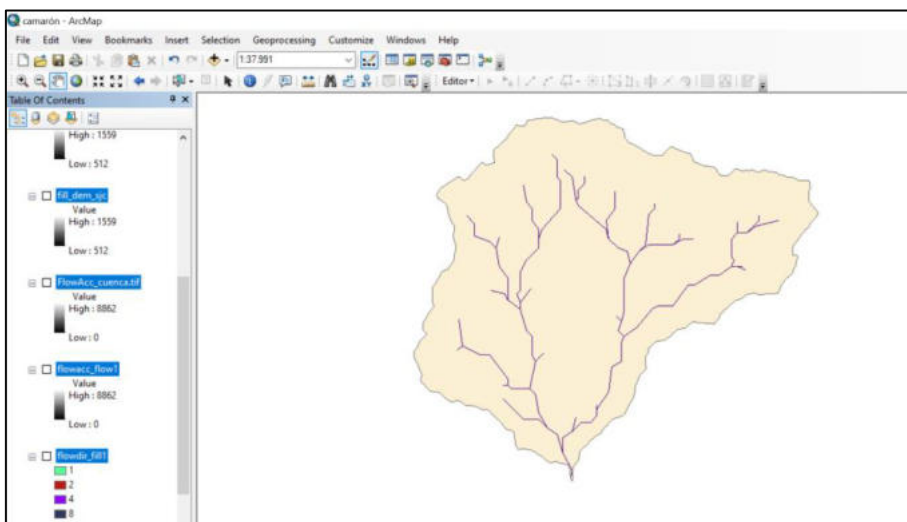
Nu = Número de orden de cada cauce



*Figura 8. Orden de la red hídrica de la microcuenca Camarón.*

**Longitud de la cuenca:** con una longitud de 75,74 km de su cauce principal en relación con el área evidencia que se trata de microcuenca largada, lo que típicamente resulta en un tiempo de concentración mayor, esto significa que las aguas de escorrentía toman más tiempo para trasladarse desde los puntos más alejados de la microcuenca hasta el cauce principal y finalmente a la salida. La forma alargada de la cuenca influye en la dispersión de la escorrentía en el tiempo, disminuye la intensidad del pico de caudal y, por consiguiente, incide en la amenaza de inundación súbita o repentina.

**Factor de forma:** registra un valor de 0,05 que influye en la cuenca posea menor tendencia a presentar inundaciones repentinas y concentradas, debido a que la escorrentía se distribuiría en el tiempo. No obstante, el riesgo final, de igual forma, puede depender de otros factores, tales como: la pendiente, tipo de suelo y cobertura vegetal.



*Figura 9. Forma de la microcuenca del río Camarón.*

La ecuación utilizada para mediar este parámetro fue mediante el factor de forma Horton, que viene dado:

$$Rf1 = \frac{L}{L a^2} \text{ (Hortón, 1945)}$$

Donde:

A = área de la cuenca en Km medida con malla de puntos, mediante el uso del Software Arcgis.

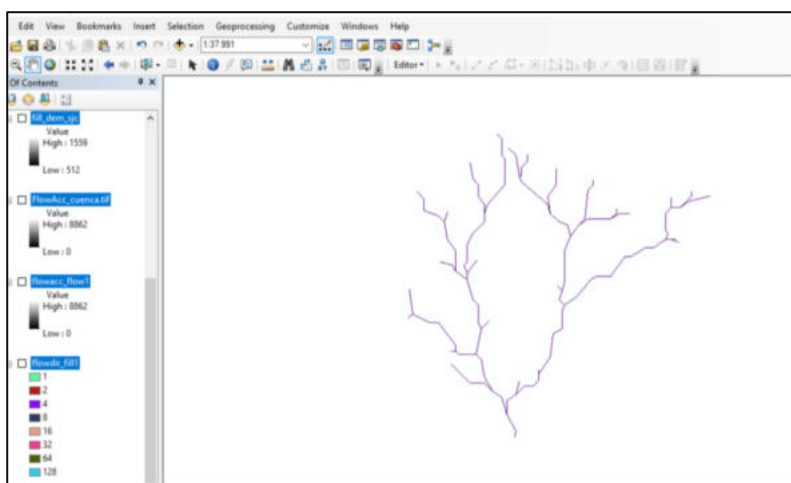
La = Longitud axial expresada en km.

*Tabla 21. Valores aproximados del factor de forma.*

<b>Valores aproximados</b>	<b>Forma de la cuenca</b>
>0,22	Muy alargada
0,22 – 0,300	Alargada
0,300 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37-0,450	Ni alargada ni ensanchada
0,45 -0,60	Ligeramente ensanchada

0,60- 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,20	Muy ensanchada
>1,200	Rodeando el desague

**Densidad de drenaje:** con una densidad de drenaje de 5,83 km/km<sup>2</sup> presenta una alta tendencia a la escorrentía rápida y, por tanto, una mayor amenaza de inundación en la microcuenca, ya que el agua suele concentrarse y fluir rápidamente hacia los cauces.



*Figura 10. Densidad de drenaje de la microcuenca del río Camarón.*

La ecuación está dada por:

$$Dd = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N li,u / A$$

(Kirpich, 1940)

Donde:

D = Densidad de drenaje expresada en Km/km<sup>2</sup>

Li, u = Longitud total de todos los cauces

Á = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Los valores de la densidad de drenaje se indica en la Tabla 22:

*Tabla 22. Valores de la densidad de drenaje de la microcuenca río Camarón.*

Densidad de Drenaje	Categoría
>1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
>3	Muy alta

**Tiempo de concentración:** para calcular este parámetro se utilizó la fórmula propuesta por Kirpich, el tiempo fue de 30,21 minutos es decir el tiempo que tarda el agua en desplazarse desde el sitio más alejado de la cuenca hidrográfica hasta el sitio de salida o desagüe principal. Se empleó la fórmula propuesta por Temez que es una expresión española empleada frecuentemente en estudios de ingeniería para cuencas con diferentes condiciones topográficas y morfológicas.

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

(Kirpich, 1940)

Dónde:

$T_c$  = Tiempo de concentración (min)

$L$  = Longitud hidráulica (m)

$S$  = Pendiente promedio de la cuenca (m/m)

#### **4.4 Modelación Hidrológica**

Posteriormente, a la caracterización de la microcuenca, para el proceso de evaluación de la amenaza de inundación de un territorio, se debe realizar la modelación hidrológica, en este caso se realizó mediante el método Racional que tiene por objeto calcular el caudal máximo para tiempos de retorno (TR) de 50 y 100 años en la microcuenca del río Camarón, los resultados se describen a continuación.

##### ***4.4.1 Cálculo de caudales máximos por el método Racional***

Los caudales ( $Q_{max}$ ) de la microcuenca del río Camarones fueron calculados mediante el método Racional que facilita el diseño del Hidrograma de descarga en cuencas hidrográficas, con buenos resultados en cuencas no mayores a 15 km<sup>2</sup>, se obtienen caudales de diseño más confiables (Robleto Molina, J., 2011); además, es el más utilizado en la ingeniería de obras hidráulicas para determinar los caudales máximo (Sandoval Erazo, W. y Aguilera Ortiz, E., 2014); se utilizó la siguiente ecuación (Marixsaud Arce, M. y Birkel Dostal, C., 2007):

$$Q_{max} = \frac{I * C * K * A}{3,6}$$

Dónde:

**Q<sub>max</sub> (m<sup>3</sup>/s):** Caudal máximo;

**I (mm/h):** Intensidad media máxima.

**C:** Coeficiente de escorrentía medio ponderado;

**A (km<sup>2</sup>):** Área total de la microcuenca hidrográfica

### **Cálculo de Intensidad máxima ( $I_{TR}$ )**

Para el cálculo de la intensidad máxima (I), inicialmente, se debe determinar los valores las intensidades máximas en 24 horas, obtenidas de información pluviométricas de estaciones meteorológicas de la zona de estudio, en este caso se obtuvo los valores de la estación meteorológica (pluviométrica) de Echeandia (código: M0383) por ser la más cercana al recinto San José de Camarón, según datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI, posee una serie de datos de 1982 a 2011 (30 años), se establece los valores de las intensidades máximas en 24 horas para el tiempo de retorno (TR) 50 años de 8,46 mm/h y para TR 100 años de 9,25 mm/h (INAMHI, 2019).

A partir de los valores de las intensidades máximas en 24 horas, se determinó las intensidades máximas, al no contar con la ecuación de la estación pluviométrica de Echeandia, se trabajó con la estación meteorológica de la Clementina Hda. (código: M0261) por ser la más cercana a la zona de estudio (San José de Camarón), para un período

extremo de duración de lluvia entre 43,97 minutos < 1440 minutos, se aplicó la siguiente ecuación (INAMHI, 2019):

$$I_{TR} = 274.03 * Id_{TR} * tc^{-0.752}$$

Donde:

$I_{TR}$  : Intensidad para tiempo de retorno

$Id_{TR}$  : Valor de las intensidades máxima diarias (máxima en 24 horas en mm/h) para un periodo de retorno (valor de la estación M0383)

$tc$  : Tiempo de concentración

Para el cálculo del **tiempo de concentración** se aplicó la siguiente ecuación el valor máximo se trabajó con la siguiente ecuación de la fórmula de (Kirpich, 1940):

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

Donde:

$tc$  : tiempo de concentración

L: longitud del cauce del río (río Camarón).

S: pendiente media (microcuenca del río Camarón).

Para calcular la **pendiente media (S)**, se utilizó la siguiente ecuación:

$$S = \frac{H. max. - H. min.}{L}$$

Donde:

H. max: representa la cota mayor (microcuena)

H. min: representa la cota menor (microcuena)

L: longitud del cauce del río (Camarón)

Para el cálculo del tiempo de concentración de la microcuena del río Camarón se establece los siguientes valores que se presentan en la siguiente Tabla 23:

**Tabla 23. Datos generales de la microcuena río Camarón.**

Área	Área	Longitud	Cota mayor (H. max) (m.s.n.m.)	Cota menor (H. min) (m.s.n.m.)	Pendiente promedio (m)
(ha)	(km <sup>2</sup> )	(m)			
1298,43	12,98	5744,11	1560	512	0,182

El resultado del cálculo de la pendiente media (S) se representa:

$$S = \frac{1597-541}{5744,11} = 0,182$$

El resultado del tiempo de concentración (tc) para la microcuena del río Camarón, representa:

$$tc = 0,02 * 5744,11^{0,77} * 0,182^{-0,385} = 30,20 \text{ minutos} = 0,50 \text{ horas}$$

Por consiguiente, el resultado del cálculo de la Intensidad para tiempo de retorno ( $I_{TR}$ ) de 50 y 100 años para la microcuena del río Camarón se resumen en la Tabla 24:

**Tabla 24. Cálculo de la Intensidad para tiempo de retorno ( $I_{TR}$ ) de la microcuena río Camarón.**

<b>TR</b>	<b>tc</b>	<b>Id<sub>TR</sub></b>	<b>I<sub>TR</sub></b>
TR 50 años	30,20	8,46	178,703
TR 100 años		9,25	195,390

### **Cálculo de coeficiente de escorrentía (C)**

Para determinar el coeficiente de escorrentía se debe calcular Número de Curva (CN), para ello se debe determinar la condición de humedad para la microcuenca hidrográfica, que se debe establecer en base a criterios de la siguiente Tabla 25:

*Tabla 25. Condiciones de humedad del suelo.*

<b>Humedad Previa</b>	<b>Plantas en período latente</b>	<b>Plantas en período de crecimiento</b>
I (seco)	menos de 13 mm	menos de 35 mm
II (normal)	de 13 a 32 mm	de 35 a 52 mm
III (húmedo)	Más de 32 mm	Más de 52 mm

Para el caso de la microcuenca del río Camarón se estableció la condición de humedad III (húmedo), de igual forma, se debe identificar los usos de suelo de la microcuenca, que se presenta en la Tabla 26.

*Tabla 26. Usos de suelo de la microcuenca del río Camarón.*

Usos de suelos	Área en ha.	%
70% cultivos de ciclo corto / 30% pasto cultivado	265,28	20,43
70 % pasto cultivado / 30% cultivos de ciclo corto	1.033,15	79,57
<b>Total</b>	<b>1.298,43</b>	<b>100,00</b>

Para determinar los valores en base a los tipos de suelo y calcular Número de Curva (CN II), se basa en los criterios de la Tabla 27.

*Tabla 27. Criterios para ponderación y cálculo de Número de Curva (CN II).*

ID	Uso de suelo	Características	Grupo de suelo (valores)				
			A	B	C	D	ID
1	Tierras cultivadas	con tratamiento de conservación	72	81	88	91	1
2		sin tratamiento de conservación	62	71	78	81	2
3	Pastizales	Condición pobre	68	79	86	89	3
4		Condición buena	39	61	74	80	4
5		Praderas	30	58	71	78	5
6	Bosques	Cubierta pobre	45	66	77	83	6
7		Cubierta buena	25	55	70	77	7
8	Espacios abiertos: con césped,	Buena condición: cubierta de pastos sobre más del 75% del área.	39	61	74	80	8

9	parques, campos de golf,	Condición aceptable: cubierta de pastos sobre el 50 a 75% del área	49	69	79	84	9
10	Áreas comerciales y de tiendas {85% impermeable)		89	92	94	95	10
11	Zonas industriales (75% impermeable)		81	88	91	93	11
		Tamaño medio de parcela			% de imp		
12		500	65	77	85	90	92
13	Zonas residenciales	1000	38	61	75	83	87
14		1350	30	57	72	81	86
15		2000	25	54	70	80	85
16		4000	20	51	68	79	84
17	Tejados, parkings, superficies impermeables en general		98	98	98	98	17
18		Pavimentadas, con bordillos y bocas de tormenta	98	98	98	98	18
19	Calles y carreteras	De grava	76	85	89	91	19
20		De tierra	72	82	87	89	20

Una vez definido la condición de humedad, el tipo y área del uso de suelo y los valores para la ponderación del Número de Curva (CN II) que se resume en la siguiente Tabla 28.

**Tabla 28. Cálculo de valor de Número de Curva (CN II) de la microcuenca río Camarón.**

Uso de suelo	Área en ha. (1)	% Uso de suelo (2)	% en fracción de uso suelo (3)	Valor de grupo de suelo (4)	CN (II) (4*3)
70% cultivos de ciclo corto / 30% pasto cultivado	265,28	20,43	0,20	81	16,55
70 % pasto cultivado / 30% cultivos de ciclo corto	1033,15	79,57	0,80	89	70,82
<b>Total</b>	<b>1298,43</b>	<b>100,00</b>	<b>1,00</b>		<b>87,37</b>

Por consiguiente, el Número de Curva (CN III) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$CN (III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0,13 CN(II)}$$

$$CN (III) = \frac{23*87,37}{10+(0,13*87,37)} = 94,084$$

En la zona de estudio conocido las condiciones de antecedentes de humedad correspondientes al CN (III), para determinar la retención potencial (S), se aplicó la siguiente ecuación:

$$S = \frac{25400}{CN(III)} - 254$$

$$S = \frac{25400}{94,084} - 254 = 24,97$$

Conocida la lluvia que quedará acumulada en el suelo se determinó el coeficiente de escorrentía (C) mediante de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{Pe}{P}$$

Dónde:

Pe: Escorrentía directa acumulada. Exceso de precipitación acumulada (mm)

P: Precipitación total (mm)

Para obtener la precipitación total (P), se aplica:

$$P = I_{TR} * t_c$$

Donde:

$I_{TR}$  : Intensidad máxima para tiempo de retorno

$t_c$ : Tiempo de retorno

En la Tabla 29 se presenta el resultado de los valores de la precipitación total (P) por tiempos de retorno (TR) de 50 y 100 años.

*Tabla 29. Valores de la precipitación total (P) de la microcuenca río Camarón.*

TR	$I_{TR}$ (mm/h)	$t_c$ (horas)	P (mm)
50 años	178,70	0,50	89,97

100 años

195,39

98,37

Para obtener el valor de la escorrentía directa acumulada ( $Pe$ ), se utilizó la ecuación:

$$Pe = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S}$$

Finalmente, en la Tabla 30 se resumen los valores calculados para el coeficiente de escorrentía ( $C$ ) en función de los tiempos de retorno.

*Tabla 30. Resumen de valores calculados para determinar el coeficiente de escorrentía ( $C$ ) de la microcuenca río Camarón.*

<b>TR</b>	<b>I<sub>Tr</sub></b>	<b>t<sub>c</sub></b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Pe</b>	<b>C</b>
50 años	178,70		89,97		65,67	<b>0,73</b>
		0,50		24,97		
100 años	195,39		98,37		73,67	<b>0,75</b>

### **Resultado del cálculo del caudal máximo por el método Racional**

A partir de la obtención de los valores de la intensidad media máxima ( $I_{Tr}$ ), el coeficiente de escorrentía ( $C$ ), el coeficiente de ajuste ( $K$ ) y el área total de la microcuenca hidrográfica ( $A$ ), se estableció el caudal máximo ( $Q_{max}$ ) a través del método Racional, a través de la ecuación establecida anteriormente:

$$Q_{max} = \frac{I * C * A}{3,6}$$

En la Tabla 31 se presenta los resultados de los cálculos de caudales máximos de la microcuenca del río Camarón, se establece que para un TR 50 años el caudal estimado con 2% de probabilidad es de 470,49 m<sup>3</sup>/s y para un TR 100 años con 1% de probabilidad el caudal es de 527,80 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 31. Cálculo del caudal máximo por el método Racional de la microcuenca río Camarón.**

TR (años)	I <sub>TR</sub> (mm/h)	C	A (km <sup>2</sup> )	Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> )	Probabilidad	%
50	178,70	0,73	12,98	470,49	0,02	2,00
100	195,39	0,75		527,80	0,01	1,00

#### **4.4.2 Cálculo de caudales máximos por el método HEC - HMS**

Este capítulo ofrece una guía completa, explicativa y reproducible para el cálculo de caudales de diseño en una microcuenca utilizando series de máximas anuales de precipitación hasta herramientas de modelado hidrológico para determinar caudales (Q) de diseño para diferentes periodos de retorno (Q<sub>2</sub> Q<sub>5</sub> Q<sub>10</sub> Q<sub>25</sub> Q<sub>50</sub> y Q<sub>100</sub> etc), usando análisis de frecuencia, construcción de PD/IDF, generación de hietogramas, modelación hidrológico en HEC-HMS y modelamiento hidráulico en IBER. El modelo incluye las bases teóricas, fórmulas, procedimientos prácticos, ejercicios numéricos y prácticos.

La aplicación de la hidrología para el cálculo de caudales de diseño es esencial para obras de infraestructura, puentes, alcantarillas y obras de control de crecidas. Adicionalmente, el diseño de caudales es esenciales para la gestión del riesgo de inundaciones, debido a que permite prever los niveles de amenaza vinculados a lluvias extremas y establecer medidas de protección frente a inundaciones. Determinar con precisión los caudales de diseño no solo asegura la funcionalidad de las infraestructuras, sino que también constituye la base técnica para elaborar planes de prevención, delimitación de zonas inundables y estrategias de respuesta ante emergencias.

De esta manera, el análisis de caudales contribuye directamente a la reducción del riesgo de desastres y a la seguridad de las poblaciones asentadas en áreas vulnerables.

En este estudio de caso se describe el proceso para:

- Limpiar y validar series de máximos anuales.
- Ajustar distribuciones de extremos obtener PD para T dados.
- Construir curvas IDF / transformar PD en hietogramas de diseño.
- Configurar y ejecutar modelos lluvia-escorrentía HEC-HMS.
- Analizar sensibilidad e incertidumbre y presentar resultados con criterios de ingeniería.

### **Paso 1: Recopilación y análisis preliminar de datos de precipitación**

El primer paso es obtener una serie de datos de precipitación máxima anual de 24 horas de la estación meteorológica más representativa de la microcuenca. Una serie de datos larga más de 30 años es ideal para un análisis estadístico robusto.

Para garantizar con una base robusta es necesario recopilar datos de precipitaciones máximas de 24 horas para cada año de estudio, para eso es importante organizar cada dato en una tabla de incluya el año y la precipitación máxima diaria.

## **Paso 2: Datos base y control de calidad**

Antes de cualquier análisis estadístico, es crucial verificar la calidad y homogeneidad de la serie de datos. Los valores atípicos outliers pueden sesgar significativamente los resultados. La metodología de la prueba Outlier se basa en la distribución normal y un nivel de significancia del 10%.

Para nuestro caso de estudio se consideró trabajar originalmente con 44 años de máximas anuales desde el año 1981 hasta el 2024 en series completas. Tras aplicar la metodología de detección de datos dudosos/outliers, la serie usada para análisis quedó en 42 registros.

### **Metodología aplicada:**

1. Visualizar la serie con *time series plot* y *boxplot*.
2. Aplicar pruebas estadísticamente definidas. Grubbs para un único outlier o métodos basados en IQR.

3. Investigar causas error instrumental, registro, fenómeno extremo real. Si hay evidencia de error, corregir interpolación o documentación si no, mantener y realizar análisis de sensibilidad con y sin esos valores.

**Registro obligatorio:** anotar año(s) corregidos/eliminados, estadístico usado, umbral  $\alpha$  y justificación.

Se debe calcular el umbral de datos dudosos  $x_H$  y  $x_L$  utilizando los parámetros estadísticos de la muestra media  $\bar{x}$ , desviación estándar ( $s$ ) y el coeficiente  $K_n$ , que depende del tamaño de la muestra ( $n$ ).

En este caso, los datos de 2005 y 2007 fueron identificados y eliminados, resultando en una serie de 42 datos. El valor de  $K_n$  para  $n=42$  es 2.700.

*Tabla 32. Tabla de datos de precipitación máxima de 24 horas mm (paso 1).*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma y	Jun	Jul	Ag o	Set	Oct	Nov	Dic	Pma x (P24hr )	Log
1981	4.39	10.29	7.61	4.52	0.78	0.51	0.74	0.4	0.4	0.8	1.37	2.18	<b>10.3</b>	<b>1.01</b>
1982	7.11	6.03	3.33	4.5	1.85	0.72	0.62	0.6	0.7	3.0	8.12	15.2	<b>15.2</b>	<b>1.18</b>
1983	2.07	10.1	13.6	11.8	12.9	10.2	10.2	1.3	3.3	1.5	2.28	3.3	<b>13.7</b>	<b>1.14</b>
1984	2.13	12.0	8.81	7.38	1.21	1.76	0.61	0.4	1.1	0.9	1.12	3.5	<b>12.1</b>	<b>1.08</b>
1985	4.37	4.18	5.71	3.48	2.39	1.24	0.7	0.9	1.3	0.6	1	3.27	<b>5.7</b>	<b>0.76</b>
1986	12.6	5.51	5.41	6.57	1.14	0.7	0.61	0.5	0.8	1.3	0.87	3.07	<b>12.7</b>	<b>1.10</b>

---

1987	10.66	18.04	11.88	10.48	4.13	0.71	0.69	0.76	0.81	1.22	0.68	1.55	<b>18.0</b>	<b>1.26</b>
1988	8.69	7.97	1.42	8.24	3.35	1.16	0.8	0.55	0.86	1.28	1.14	2.22	<b>8.7</b>	<b>0.94</b>
1989	11.41	11.96	10.83	7.19	2.05	1.9	0.79	0.26	0.56	1.17	0.71	1.3	<b>12.0</b>	<b>1.08</b>
1990	3.83	8.98	5.14	5.38	1.58	1.16	0.72	0.48	0.72	1.43	0.71	2.69	<b>9.0</b>	<b>0.95</b>
1991	4.62	12.91	6.08	3.67	1.7	1.25	0.65	0.34	0.64	0.61	1.32	3.26	<b>12.9</b>	<b>1.11</b>
1992	8	11.27	14.23	15.09	9.23	2.15	0.85	0.45	0.82	0.63	0.96	1.62	<b>15.1</b>	<b>1.18</b>
1993	7.11	15.16	9.94	9.23	2.64	1	0.95	0.6	0.63	0.91	0.83	3.64	<b>15.2</b>	<b>1.18</b>
1994	7.98	9.38	8.54	6.7	2.18	0.96	0.84	0.74	0.61	1.36	1.28	4.82	<b>9.4</b>	<b>0.97</b>
1995	8.13	7.2	4.29	7.72	1.79	0.86	1.3	0.59	0.39	0.59	1.39	1.53	<b>8.1</b>	<b>0.91</b>
1996	5.03	9.5	7.44	3.63	1.25	0.87	0.7	0.5	0.66	1	0.88	1.32	<b>9.5</b>	<b>0.98</b>
1997	5.27	10.62	12.82	8.41	4.91	6.07	4.73	2.18	6.81	3.33	19.07	15.15	<b>19.1</b>	<b>1.28</b>
1998	17.26	17.39	19.89	19.85	14.7	3.17	1.86	0.59	0.34	1.22	1.57	4.34	<b>19.9</b>	<b>1.30</b>
1999	3.96	10.99	15.5	7.67	4.38	1.36	0.55	0.7	2	0.71	0.96	3.16	<b>15.5</b>	<b>1.19</b>
2000	4.1	7.08	9.43	5.27	4.69	1.2	0.29	0.4	0.92	0.31	0.24	1.56	<b>9.4</b>	<b>0.97</b>
2001	5.95	6.71	9.14	5.77	2.36	0.88	0.7	0.35	0.32	0.5	0.77	1.79	<b>9.1</b>	<b>0.96</b>
2002	3.11	11.26	12.82	10.85	2.7	1.13	0.99	0.4	0.42	1.36	1.55	3.08	<b>12.8</b>	<b>1.11</b>
2003	5.84	9.46	5.59	5.39	2.65	1.2	0.7	0.38	0.62	1.38	1.53	2.35	<b>9.5</b>	<b>0.98</b>

---

2004	3.09	7.41	7.02	5.56	3.79	0.8	0.78	0.4	0.8	0.8	1.2	1.02	<b>7.4</b>	<b>0.87</b>
								9	5	8				
2005	0.33	0.61	3.15	2.01	0.61	0.39	0.12	0.1	0.2	0.5	0.88	0.93	<b>3.2</b>	<b>0.5</b>
								2	4	9				
2006	3.1	10.5	5.45	2.29	0.89	1.09	0.35	0.4	0.1	0.2	0.19	0.86	<b>10.5</b>	<b>1.02</b>
		1						7	7	2				
2007	2.09	0.19	1.79	0.51	0.56	1.03	0.32	0.9	0.6	1.4	2.05	1.53	<b>2.1</b>	<b>0.32</b>
								7		3				
2008	7.6	9.08	11.5	7.53	3.05	1.23	0.72	1.2	0.9	1.1	0.5	0.46	<b>11.6</b>	<b>1.06</b>
			5					9		1				
2009	3.74	7.9	6.49	0.74	0.23	0.23	0.34	0.5	0.2	0.9	0.5	1.56	<b>7.9</b>	<b>0.90</b>
								1	8	4				
2010	3.39	9.22	7.29	7.96	0.98	1.03	0.6	0.2	0.7	0.6	1.67	4.71	<b>9.2</b>	<b>0.96</b>
								2		6				
2011	3.25	8.65	2.56	11.4	0.84	1.13	1.3	0.7	0.6	0.6	1.44	1.26	<b>11.5</b>	<b>1.06</b>
				8				8	3	6				
2012	10.1	14.7	11.4	6.96	5.17	1.03	0.59	0.5	0.4	1.0	1.1	0.93	<b>14.8</b>	<b>1.17</b>
	3	6	5						8	8				
2013	6.37	8.07	9.88	5.58	1.84	0.73	0.76	0.6	0.4	1.0	0.76	1.22	<b>9.9</b>	<b>0.99</b>
								4	9	6				
2014	6.85	6.37	1.75	0.54	3.43	1.28	0.46	0.5	0.6	1.4	1.02	0.94	<b>6.9</b>	<b>0.84</b>
								8	4	2				
2015	5.27	6.89	6.55	6.38	5.95	3.4	1.1	0.3	0.3	1.6	2.64	2.65	<b>6.9</b>	<b>0.84</b>
								3	2	6				
2016	6.77	6.2	9.4	7.53	1.93	1.26	0.45	0.3	1.0	0.7	0.8	1.01	<b>9.4</b>	<b>0.97</b>
								5	4	6				
2017	7.53	10.2	14.3	11.2	6.07	1.68	0.65	0.6	0.5	1.4	0.97	2.34	<b>14.4</b>	<b>1.16</b>
		2	6	2				7	8	3				
2018	2.87	10.9	5.06	3.94	2.84	0.85	0.69	0.8	0.3	0.8	1.46	4.18	<b>10.9</b>	<b>1.04</b>
		1						1	9	1				
2019	5.46	9.24	8	7.32	4.2	2.31	0.87	0.5	0.2	1.0	2.63	2.52	<b>9.2</b>	<b>0.97</b>
								5	9	3				
2020	4.32	5.9	5.62	4.01	1.79	1.71	1.17	0.5	0.4	0.6	0.9	3.49	<b>5.9</b>	<b>0.77</b>
									1	7				

202 1	21.9 6	5.46	6.83	3.65	2.92	6.65	0.44	0.3 3	0.9 2	2.1 7	1.41	3.08	<b>22.0</b>	<b>1.34</b>
202 2	5.42	5.59	9.09	5.32	1.99	1.68	1.45	0.5 6	0.6 4	0.9 3	1.01	0.89	<b>9.1</b>	<b>0.96</b>
202 3	3.25	6.56	6.72	9.41	4.32	2.24	2.09	2.9 2	0.4 7	1.2 8	1.31	3.95	<b>9.4</b>	<b>0.97</b>
202 4	2.87	7.89	1.83	2.96	2.9	2.88	0.83	0.6 4	0.6 1	1.5 3	1.07	3.27	<b>7.9</b>	<b>0.90</b>

A partir de los datos de la tabla 32 (paso 1) se realiza la prueba Outlier y el valor de  $K_n$  utilizado los parámetros que se muestran en la tabla 33 (paso 2).

*Tabla 33. Tabla de la prueba Outlier y el valor de  $K_n$  utilizado (paso 2).*

<b>Parámetros estadísticos</b>	<b>P24hr</b>	<b>Log(P24hr)</b>
Número de datos (N)	44.00	44.000
Sumatoria	482.70	44.227
Valor Máximo	21.96	1.342
Valor Mínimo	2.09	0.320
Media:	10.97	1.005
Varianza:	17.22	0.036
Desviación Estándar:	4.15	0.190
Coficiente Variación:	0.38	0.189
Coficiente de Sesgo:	0.54	-1.2745

---

**Se Considera**

**Aplicar pruebas para detectar datos dudosos**

---

Para aplicar los parámetros estadísticos se recomienda calcular el umbral y datos dudosos  $x_H$  y  $x_L$  (Water Resources Concil, 1981).

Se aplica las pruebas se determinó que existen datos dudosos mínimos en la muestra, valores que se encuentran resaltados en la Tabla 34, se corrige los datos con los siguientes parámetros:

*Tabla 34. Criterios para cálculo del coeficiente  $K_n$ .*

---

<b>Cálculo del coeficiente <math>K_n</math></b>	
n	42
$K_n$	2.700

---

Valor recomendado varía según el valor de n (significancia de 10%). Los valores  $K_n$  para los datos dudosos se obtiene de la tabla 4.18.

*Tabla 35. Valores  $K_n$  para la prueba de datos dudosos.*

Tamaño de muestra $n$		Tamaño de muestra $n$		Tamaño de muestra $n$		Tamaño de muestra $n$	
$n$	$K_n$	$n$	$K_n$	$n$	$K_n$	$n$	$K_n$
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de  $K_n$  de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Umbral de datos dudosos altos ( $x_H$ : unidad. Logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s \qquad x_H = 1.41$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10^{x_H} \qquad PH = 25,64 \text{ mm}$$

**Resultado: no existen datos dudosos altos de la muestra**

Umbral de datos dudosos bajos ( $x_L$ : unidad. Logarítmicas)

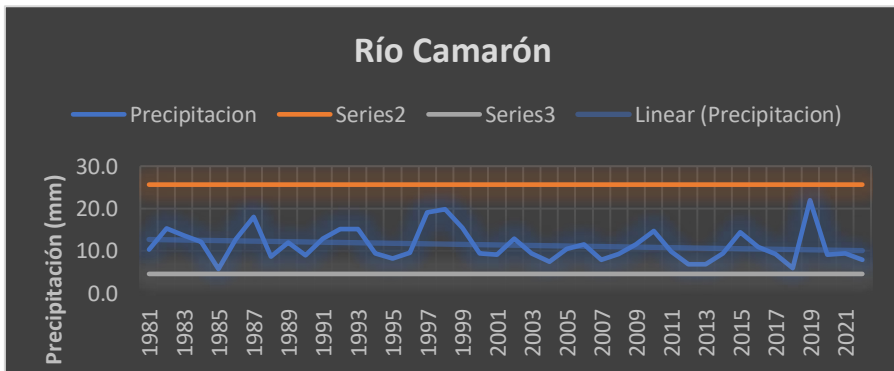
$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s \qquad x_L = 0,66$$

Precipitación mínima aceptada

$$PH = 10^{XH} \qquad PL = 4,55 \text{ mm}$$

**Resultado: no existen datos dudosos bajos de la muestra**

En la Figura 11, se da a conocer la representación gráfica de la prueba de datos dudosos OUTLIER de la microcuenca del río Camarón.



*Figura 11. Representación gráfica de la prueba de datos dudosos OUTLIER.*

**Paso 3: Análisis de frecuencias y selección de la distribución teórica**

Con la serie de máximas anuales se ajusta una distribución de valores extremos recomendado **GEV** o **Gumbel**.

Para colas T grandes preferir tests sensibles a colas: **Anderson-Darling** y estimadores por **L-moments**; comparar con MLE y usar criterios AIC/BIC.

**Proceso práctico**

1. Ordenar la serie de máximas mayor  $\rightarrow$  menor.
2. Calcular probabilidades empíricas p. ej. método de Gringorten o Weibull.
3. Ajustar GEV y Gumbel o ambas.
4. Comprobar bondad de ajuste con AD y K-S; elegir la mejor según evidencia.
5. Interpolación PD para  $T = 2, 5, 10, 25, 50$  y  $100$  años y calcular intervalos de confianza mediante bootstrap (1 000 réplicas mínimo).

Realizado el proceso se obtendrá una tabla PD (D, T) así como la profundidad total en la duración D, para el periodo de retorno T o los periodos de retorno que se desee determinar.

El nuestro caso de estudio, una vez que los datos están limpios, se procede a ajustar una o varias distribuciones de probabilidad a la serie de datos. Esto permite estimar la precipitación máxima para diferentes períodos de retorno.

- Se realizó pruebas de bondad de ajuste como Chi-cuadrado o Smirnov-Kolmogorov, entre otras, para determinar qué distribución se ajusta mejor a los datos.
- La prueba que mejor se ajustó a la serie de datos fue la de **EV2-MAX-(L-Moments)**, con un ajuste del 99%. Esta distribución será la base para los cálculos de precipitación de diseño.

## Resultados del análisis de frecuencias

En la tabla 36 se muestra los valores de precipitación anuales correspondientes a los 42 años de registro (paso 3) que se utilizan para el análisis de frecuencia para la microcuenca del río Camarón.

*Tabla 36. Valores de precipitación anuales correspondientes a los 42 años de registro (paso 3).*

Precipitación (mm)	Año	N	Datos ordenados (mm)
10.29	1981	1	5.71
15.24	1982	2	5.90
13.69	1983	3	6.85
12.09	1984	4	6.89
5.71	1985	5	7.41
12.68	1986	6	7.89
18.04	1987	7	7.90
8.69	1988	8	8.13
11.96	1989	9	8.69
8.98	1990	10	8.98
12.91	1991	11	9.09
15.09	1992	12	9.14

---

15.16	1993	13	9.22
9.38	1994	14	9.24
8.13	1995	15	9.38
9.50	1996	16	9.40
19.07	1997	17	9.41
19.89	1998	18	9.43
15.50	1999	19	9.46
9.43	2000	20	9.50
9.14	2001	21	9.88
12.82	2002	22	10.29
9.46	2003	23	10.51
7.41	2004	24	10.91
10.51	2006	25	11.48
11.55	2008	26	11.55
7.90	2009	27	11.96
9.22	2010	28	12.09
11.48	2011	29	12.68
14.76	2012	30	12.82
9.88	2013	31	12.91

---

6.85	2014	32	13.69
6.89	2015	33	14.36
9.40	2016	34	14.76
14.36	2017	35	15.09
10.91	2018	36	15.16
9.24	2019	37	15.24
5.90	2020	38	15.50
21.96	2021	39	18.04
9.09	2022	40	19.07
9.41	2023	41	19.89
7.89	2024	42	21.96
<b>n</b>	<b>42</b>	<b>n</b>	<b>42</b>

Una vez ordenados los datos se realiza la construcción de una tabla de distribución de frecuencias a partir de un conjunto de datos, se procede con los pasos de la estadística descriptiva.

### Determinación de parámetros básicos

**Rango de clase**

$$R = x_{max} - x_{min}$$

**Numero de clase:**

$$Nc = 1.33 \ln N + 1$$

**Amplitud :**

$$\Delta x = \frac{R}{Nc-1}$$

En la Tabla 37 se presenta los valores para la determinación de parámetros básicos.

*Tabla 37. Determinación de parámetros básicos.*

<b>Rango</b>	<b>16.25</b>	
NC	5.971	<b>6.000</b>
$\Delta X$	3.269	<b>3.250</b>
Xmin	<b>5.71</b>	
<b>Xmax</b>	<b>21.96</b>	

### Construcción de los intervalos de clase

Se definen los límites de clase inferiores (LCI) y superiores (LCS):

$$LCI_l = x_{min} - \Delta x/2 \qquad LCS_l = LCI_l + \Delta x$$

Marca de clase

$$MCl = \frac{LCI_l + LCS_l}{2}, MCl = x_{min} \text{ y } MCn = x_{max}$$

*Tabla 38. Proceso de cálculo de los intervalos de clase.*

LCI	MCL	LCS	FA	FR
4.085	<b>5.710</b>	7.335	4.000	0.095

7.335	<b>8.960</b>	10.585	19.000	0.452
10.585	<b>12.210</b>	13.835	9.000	0.214
13.835	<b>15.460</b>	17.085	6.000	0.143
17.085	<b>18.710</b>	20.335	3.000	0.071
20.335	<b>21.960</b>	23.585	1.000	0.024
			<b>42.000</b>	<b>1.000</b>

*Tabla 39. Cálculo de parámetros estadísticos a partir de la distribución de frecuencias.*

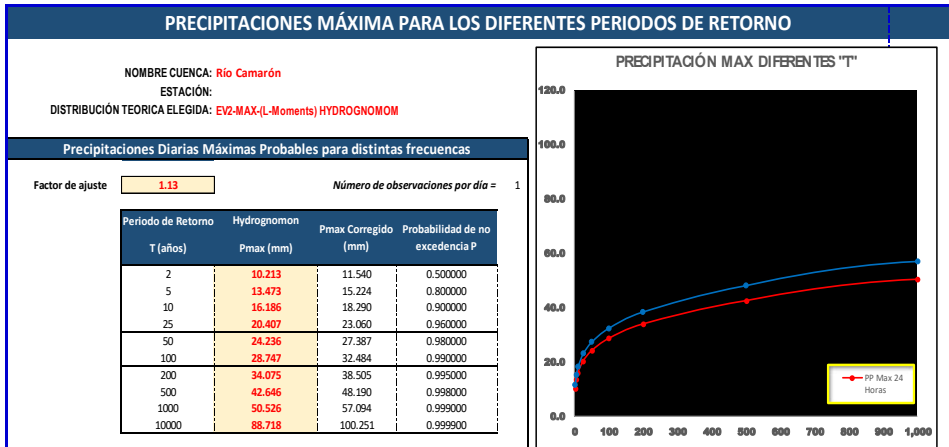
<b>xi</b>	<b>fi</b>	<b>xi*fi</b>	<b>fi*xi<sup>2</sup></b>
<b>5.710</b>	4.00	22.84	130.4164
<b>8.960</b>	19.00	170.24	1525.3504
<b>12.210</b>	9.00	109.89	1341.7569
<b>15.460</b>	6.00	92.76	1434.0696
<b>18.710</b>	3.00	56.13	1050.1923
<b>21.960</b>	1.00	21.96	482.2416
<b>Suma</b>	<b>42.00</b>	<b>473.82</b>	<b>5964.03</b>

En la Tabla 40, se presente los parámetros estadísticos descriptivos de la variable para la precipitación de 24 horas (P24hr).

*Tabla 40. Parámetros estadísticos descriptivos de la variable P24hr.*

<b>Parámetros Estadísticos</b>	<b>P24hr</b>
<b>Media</b>	11.2814
<b>Varianza</b>	15.0893
<b>Desv.Standar</b>	3.8845
<b>Coef. Variación</b>	0.3443
<b>Coef. Sesgo</b>	0.8577
<b>Coef. Curtosis</b>	<b>3.4378</b>

Estos cálculos fueron corroborados a través del cálculo realizado en el software Hydrognomon 4, la cual coincide con la prueba estadística que más se ajusta EV2-MAX-(L-Moments).



*Figura 12. Cálculo de precipitaciones máximas para diferentes períodos de retornos mediante Hydrognomon 4.*

#### **Paso 4: Derivación de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)**

Las curvas IDF son una herramienta esencial en hidrología. Relacionan la intensidad de la lluvia (I), su duración (D) y la frecuencia con la que ocurre (período de retorno T).

- Utilice la precipitación máxima para diferentes períodos de retorno (obtenida en el paso 3) para derivar las curvas IDF. El método de regresión múltiple es una técnica común para este fin.
- Ecuación IDF: La ecuación general de una curva IDF es de la forma:  $I = k * T^n / d^m$ . Es crucial que en su informe final, usted presente esta ecuación con los parámetros k, n y m obtenidos del análisis de regresión(Mendoza et al., n.d.).
- Resultado: El análisis de regresión múltiple arrojó los siguientes parámetros:  $m = 0.2539$ ,  $n = -0.7500$ ,  $k = 86.4460$ .

En la Tabla 41 se presenta los resultados del paso 4 del análisis de regresión múltiple con los valores de duración, período de retorno, intensidad y los logaritmos correspondientes

*Tabla 41. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno para una distribución.*

<b>T (años)</b>	<b>Probabilidad de excedencia P = F(x)</b>	<b>Probabilidad de no excedencia 1-F(x)</b>	<b>Z</b>
2	0.500	0.500	10.21
5	0.200	0.800	13.47
10	0.100	0.900	16.19
25	0.040	0.960	20.41
50	0.020	0.980	24.24
100	0.010	0.990	28.75
200	0.005	0.995	34.08
500	0.002	0.998	42.65
<b>1000</b>	<b>0.001</b>	<b>0.999</b>	<b>50.53</b>

Modelo de Dick Peschke

$$P_D = P_{24h} \times \left(\frac{D}{1440}\right)^{0.25}$$

Donde:

$PD$  = precipitación máxima de duración  $D$ , en mm

$P_{24h}$  = precipitación máxima de 24 horas, en mm

$D$  = duración de la precipitación, en horas

En la Tabla 42. se presenta los resultados de precipitación en 24 horas (mm) para la microcuenca del río Camarón.

**Tabla 42. Resultados de precipitación en 24 horas (mm) para la microcuenca río Camarón.**

Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)								
	10.21	13.47	16.19	20.41	24.24	28.75	34.08	42.65	50.53
	Periodo de Retorno (Años)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	Precipitación (mm)								
5	2.48	3.27	3.93	4.95	5.88	6.98	8.27	10.35	12.27
10	2.95	3.89	4.67	5.89	7.00	8.30	9.84	12.31	14.59
15	3.26	4.30	5.17	6.52	7.74	9.18	10.89	13.62	16.14
20	3.51	4.63	5.56	7.01	8.32	9.87	11.70	14.64	17.35
25	3.71	4.89	5.88	7.41	8.80	10.43	12.37	15.48	18.34
30	3.88	5.12	6.15	7.75	9.21	10.92	12.95	16.20	19.20
35	4.03	5.32	6.39	8.06	9.57	11.35	13.45	16.84	19.95

---

40	4.17	5.50	6.61	8.33	9.89	11.74	13.91	17.41	20.63
45	4.29	5.66	6.81	8.58	10.19	12.09	14.33	17.93	21.24
50	4.41	5.82	6.99	8.81	10.46	12.41	14.71	18.41	21.81
55	4.51	5.96	7.16	9.02	10.71	12.71	15.06	18.85	22.34
60	4.61	6.09	7.31	9.22	10.95	12.99	15.40	19.27	22.83
120	5.49	7.24	8.70	10.96	13.02	15.45	18.31	22.91	27.15
180	6.07	8.01	9.62	12.13	14.41	17.09	20.26	25.36	30.04
240	6.53	8.61	10.34	13.04	15.49	18.37	21.77	27.25	32.28
300	6.90	9.10	10.93	13.79	16.37	19.42	23.02	28.81	34.14
360	7.22	9.53	11.44	14.43	17.14	20.33	24.09	30.16	35.73
420	7.51	9.90	11.89	15.00	17.81	21.13	25.04	31.34	37.13
480	7.76	10.24	12.30	15.51	18.42	21.84	25.89	32.40	38.39
540	7.99	10.54	12.67	15.97	18.97	22.50	26.67	33.37	39.54
600	8.21	10.82	13.00	16.40	19.47	23.10	27.38	34.26	40.59
660	8.40	11.09	13.32	16.79	19.94	23.65	28.04	35.09	41.57
720	8.59	11.33	13.61	17.16	20.38	24.17	28.65	35.86	42.49
780	8.76	11.56	13.89	17.51	20.79	24.66	29.23	36.59	43.35
840	8.93	11.77	14.15	17.83	21.18	25.12	29.78	37.27	44.16
900	9.08	11.98	14.39	18.15	21.55	25.56	30.30	37.92	44.92
960	9.23	12.17	14.63	18.44	21.90	25.98	30.79	38.53	45.66

---

1020	9.37	12.36	14.85	18.72	22.23	26.37	31.26	39.12	46.35
1080	9.50	12.54	15.06	18.99	22.55	26.75	31.71	39.69	47.02
1140	9.63	12.71	15.27	19.25	22.86	27.12	32.14	40.23	47.66
1200	9.76	12.87	15.46	19.50	23.16	27.47	32.56	40.75	48.27
1260	9.88	13.03	15.65	19.74	23.44	27.80	32.96	41.25	48.87
1320	9.99	13.18	15.84	19.97	23.71	28.13	33.34	41.73	49.44
1380	10.10	13.33	16.01	20.19	23.98	28.44	33.71	42.19	49.99
<b>1440</b>	<b>10.21</b>	<b>13.47</b>	<b>16.19</b>	<b>20.41</b>	<b>24.24</b>	<b>28.75</b>	<b>34.08</b>	<b>42.65</b>	<b>50.53</b>

### Intensidad de precipitación

$$I = \frac{P_D}{D}$$

*Donde:*

*PD = precipitación máxima de duración D, en mm*

*D = duración de la precipitación, en horas*

En la Tabla 4.26 se presenta los resultados de las intensidades por período de retorno para la microcuenca río Camarón

**Tabla 43. Resultados de intensidades por período de retorno para la microcuenca río Camarón.**

Duración (Horas)	Duración (min)	Período de Retorno (Años)								
		2.00	5.00	10.0	25.0	50.0	100.0	200.0	500.0	1000.0
				0	0	0	0	0	0	0
		Intensidad (mm/hr)								
0.083	5	29.7	39.2	47.1	59.4	70.6	83.74	99.26	124.2	147.18
		5	5	5	5	0			3	
0.167	10	17.6	23.3	28.0	35.3	41.9	49.79	59.02	73.86	87.51
		9	4	3	5	8				
0.250	15	13.0	17.2	20.6	26.0	30.9	36.73	43.54	54.50	64.57
		5	2	8	8	7				
0.333	20	10.5	13.8	16.6	21.0	24.9	29.61	35.09	43.92	52.04
		2	8	7	2	6				
0.417	25	8.90	11.7	14.1	17.7	21.1	25.04	29.69	37.15	44.02
			4	0	8	1				
0.500	30	7.76	10.2	12.3	15.5	18.4	21.84	25.89	32.40	38.39
			4	0	1	2				
0.583	35	6.91	9.12	10.9	13.8	16.4	19.46	23.06	28.87	34.20
				6	1	0				
0.667	40	6.25	8.25	9.91	12.5	14.8	17.60	20.87	26.12	30.94
					0	4				
0.750	45	5.73	7.55	9.07	11.4	13.5	16.12	19.10	23.91	28.32
					4	9				
0.833	50	5.29	6.98	8.38	10.5	12.5	14.89	17.65	22.09	26.17
					7	5				

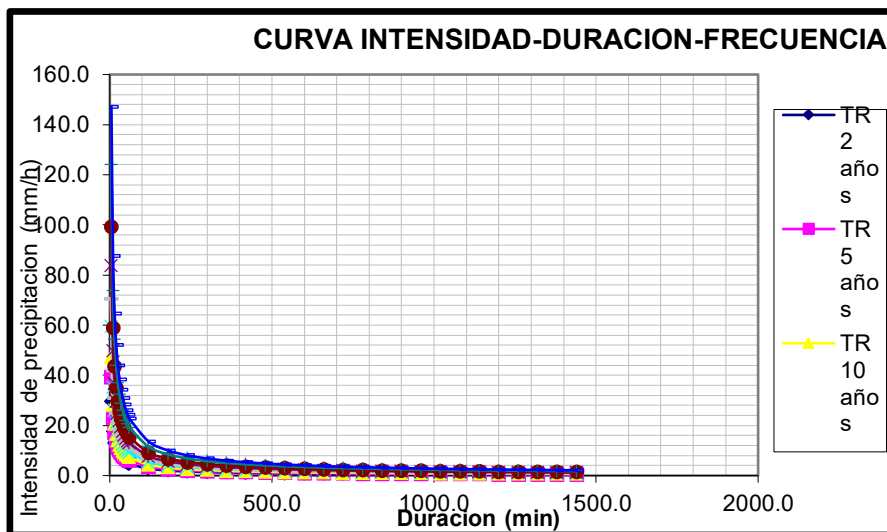
---

0.917	55	4.93	6.50	7.81	9.84	11.6	13.86	16.43	20.57	24.37
						9				
1.000	60	4.61	6.09	7.31	9.22	10.9	12.99	15.40	19.27	22.83
						5				
2.000	120	2.74	3.62	4.35	5.48	6.51	7.72	9.15	11.46	13.57
3.000	180	2.02	2.67	3.21	4.04	4.80	5.70	6.75	8.45	10.01
4.000	240	1.63	2.15	2.59	3.26	3.87	4.59	5.44	6.81	8.07
5.000	300	1.38	1.82	2.19	2.76	3.27	3.88	4.60	5.76	6.83
6.000	360	1.20	1.59	1.91	2.41	2.86	3.39	4.02	5.03	5.95
7.000	420	1.07	1.41	1.70	2.14	2.54	3.02	3.58	4.48	5.30
8.000	480	0.97	1.28	1.54	1.94	2.30	2.73	3.24	4.05	4.80
9.000	540	0.89	1.17	1.41	1.77	2.11	2.50	2.96	3.71	4.39
10.000	600	0.82	1.08	1.30	1.64	1.95	2.31	2.74	3.43	4.06
11.000	660	0.76	1.01	1.21	1.53	1.81	2.15	2.55	3.19	3.78
12.000	720	0.72	0.94	1.13	1.43	1.70	2.01	2.39	2.99	3.54
13.000	780	0.67	0.89	1.07	1.35	1.60	1.90	2.25	2.81	3.33
14.000	840	0.64	0.84	1.01	1.27	1.51	1.79	2.13	2.66	3.15
15.000	900	0.61	0.80	0.96	1.21	1.44	1.70	2.02	2.53	2.99
16.000	960	0.58	0.76	0.91	1.15	1.37	1.62	1.92	2.41	2.85
17.000	1020	0.55	0.73	0.87	1.10	1.31	1.55	1.84	2.30	2.73
18.000	1080	0.53	0.70	0.84	1.06	1.25	1.49	1.76	2.20	2.61
19.000	1140	0.51	0.67	0.80	1.01	1.20	1.43	1.69	2.12	2.51

---

20.000	1200	0.49	0.64	0.77	0.97	1.16	1.37	1.63	2.04	2.41
21.000	1260	0.47	0.62	0.75	0.94	1.12	1.32	1.57	1.96	2.33
22.000	1320	0.45	0.60	0.72	0.91	1.08	1.28	1.52	1.90	2.25
23.000	1380	0.44	0.58	0.70	0.88	1.04	1.24	1.47	1.83	2.17
<b>24.000</b>	<b>1440</b>	<b>0.43</b>	<b>0.56</b>	<b>0.67</b>	<b>0.85</b>	<b>1.01</b>	<b>1.20</b>	<b>1.42</b>	<b>1.78</b>	<b>2.11</b>

En la Figura 13 se representa la Curvas IDF (intensidad – duración – frecuencia) para la microcuenca del río Camarón.



*Figura 13. Curvas IDF.*

## **Análisis de Regresión Múltiple**

Análisis de regresión para diferentes periodos de retorno.

### **Formula General:**

$$I_{max} = \frac{K \times T^m}{D^n}$$

**I<sub>max</sub>** = intensidad máxima de lluvia, en mm/hr

**T** = periodo de retorno, en años

**D** = duración, en minutos

$$\log I_{max} = \log K \times T^m \times D^{-n}$$

$$\log I_{max} = \log K + \log T^m + \log D^{-n}$$

$$y = X_1 + mX_2 - nX_3$$

*En la Tabla 44, se presenta los valores de la estadística de la regresión.*

**Tabla 44. Estadísticas de la regresión.**

---

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99993004
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.99986008
R <sup>2</sup> ajustado	0.99985918
Error típico	0.00696566
<b>Observaciones</b>	<b>315</b>

---

### **Análisis de varianza**

**Tabla 45. Valores para la varianza.**

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	108.176886	54.088443	111475 5.22	0
Residuos	312	0.01513839	4.852E-05		
<b>Total</b>	<b>314</b>	<b>108.192024</b>			

**Tabla 46. Coeficientes de la regresión múltiple.**

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	1.937	0.002	1266.70 4	0.000	1.934	1.940	1.934	1.940
Variabla X 1	-0.750	0.001	- 1385.34 2	0.000	-0.751	-0.749	-0.751	-0.749
Variabla X 2	<b>0.254</b>	<b>0.000</b>	<b>557.081</b>	<b>0.000</b>	<b>0.253</b>	<b>0.255</b>	<b>0.253</b>	<b>0.255</b>

### **Resultados de análisis de regresión múltiple para diferentes períodos de retorno**

En la Tabla 47, se presenta los resultados del análisis de regresión múltiple para diferentes períodos de retorno para la microcuenca del río Camarón.

**Tabla 47. Resultados de análisis de regresión múltiple para diferentes períodos de retorno.**

Duración (min)	Tiempo de retorno(años)	Intensidad (mm/hr)	m 0.2539	n -0.7500	k 86.4460
d	T	I	$x_3 = \text{Log}(d)$	$x_2 = \text{Log}(T)$	$y = \text{Log}(I)$
5	50.0	70.60	0.70	1.70	1.85
10	50.0	41.98	1.00	1.70	1.62
15	50.0	30.97	1.18	1.70	1.49
20	50.0	24.96	1.30	1.70	1.40
25	50.0	21.11	1.40	1.70	1.32
30	50.0	18.42	1.48	1.70	1.27
35	50.0	16.40	1.54	1.70	1.21
40	50.0	14.84	1.60	1.70	1.17
45	50.0	13.59	1.65	1.70	1.13
50	50.0	12.55	1.70	1.70	1.10
55	50.0	11.69	1.74	1.70	1.07
60	50.0	10.95	1.78	1.70	1.04
120	50.0	6.51	2.08	1.70	0.81
180	50.0	4.80	2.26	1.70	0.68
240	50.0	3.87	2.38	1.70	0.59
300	50.0	3.27	2.48	1.70	0.52

---

360	50.0	2.86	2.56	1.70	0.46
420	50.0	2.54	2.62	1.70	0.41
480	50.0	2.30	2.68	1.70	0.36
540	50.0	2.11	2.73	1.70	0.32
600	50.0	1.95	2.78	1.70	0.29
660	50.0	1.81	2.82	1.70	0.26
720	50.0	1.70	2.86	1.70	0.23
780	50.0	1.60	2.89	1.70	0.20
840	50.0	1.51	2.92	1.70	0.18
900	50.0	1.44	2.95	1.70	0.16
960	50.0	1.37	2.98	1.70	0.14
1020	50.0	1.31	3.01	1.70	0.12
1080	50.0	1.25	3.03	1.70	0.10
1140	50.0	1.20	3.06	1.70	0.08
1200	50.0	1.16	3.08	1.70	0.06
1260	50.0	1.12	3.10	1.70	0.05
1320	50.0	1.08	3.12	1.70	0.03
1380	50.0	1.04	3.14	1.70	0.02
1440	50.0	1.01	3.16	1.70	0.00
5	100.0	83.74	0.70	2.00	1.92

---

---

10	100.0	49.79	1.00	2.00	1.70
15	100.0	36.73	1.18	2.00	1.57
20	100.0	29.61	1.30	2.00	1.47
25	100.0	25.04	1.40	2.00	1.40
30	100.0	21.84	1.48	2.00	1.34
35	100.0	19.46	1.54	2.00	1.29
40	100.0	17.60	1.60	2.00	1.25
45	100.0	16.12	1.65	2.00	1.21
50	100.0	14.89	1.70	2.00	1.17
55	100.0	13.86	1.74	2.00	1.14
60	100.0	12.99	1.78	2.00	1.11
120	100.0	7.72	2.08	2.00	0.89
180	100.0	5.70	2.26	2.00	0.76
240	100.0	4.59	2.38	2.00	0.66
300	100.0	3.88	2.48	2.00	0.59
360	100.0	3.39	2.56	2.00	0.53
420	100.0	3.02	2.62	2.00	0.48
480	100.0	2.73	2.68	2.00	0.44
540	100.0	2.50	2.73	2.00	0.40
600	100.0	2.31	2.78	2.00	0.36

---

660	100.0	2.15	2.82	2.00	0.33
720	100.0	2.01	2.86	2.00	0.30
780	100.0	1.90	2.89	2.00	0.28
840	100.0	1.79	2.92	2.00	0.25
900	100.0	1.70	2.95	2.00	0.23
960	100.0	1.62	2.98	2.00	0.21
1020	100.0	1.55	3.01	2.00	0.19
1080	100.0	1.49	3.03	2.00	0.17
1140	100.0	1.43	3.06	2.00	0.15
1200	100.0	1.37	3.08	2.00	0.14
1260	100.0	1.32	3.10	2.00	0.12
1320	100.0	1.28	3.12	2.00	0.11
1380	100.0	1.24	3.14	2.00	0.09
1440	100.0	1.20	3.16	2.00	0.08
<b>1440</b>	<b>1000.0</b>	<b>2.11</b>	<b>3.16</b>	<b>3.00</b>	<b>0.32</b>

### **Hietograma método Bloque Alterno**

De acuerdo con el caso de estudio se va a trabajar con periodos de retorno para 50 y 100 años, datos base que se consideran para el cálculo de caudales utilizando el software HEC-HMS.

**Ecuación:**

$$I = \frac{K \times T^m}{D^n}$$

K= 86.446

T= 50

m= 0.2539

n= 0.750

### **Hietograma de precipitación de diseño para el periodo de retorno de 50 años**

En Tabla 4.31, se muestra los valores para Hietograma de precipitación de diseño para el periodo de retorno de 50 años para la microcuenca del río Camarón, que incluyen: duración, intensidad, profundidad, tiempo y precipitación.

*Tabla 48. Valores para Hietograma de precipitación de diseño para el periodo de retorno de 50 años.*

<b>Duración</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Profundidad acumulada</b>	<b>Profundidad incremental</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Precipitación</b>
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	10.826	10.826	10.826	0-60	0.254

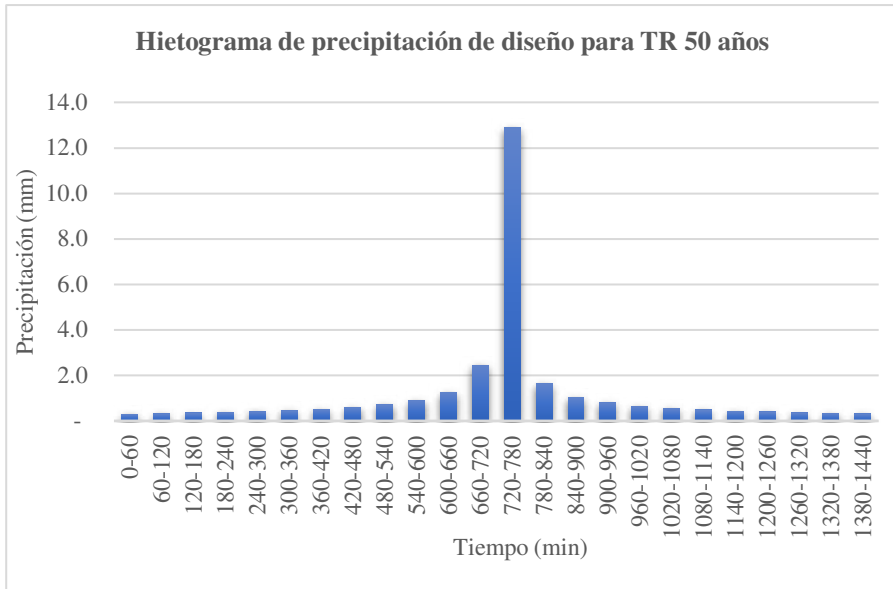
---

120				60-120	
	6.437	12.874	2.048		0.271
180				120-180	
	4.749	14.247	1.373		0.292
240				180-240	
	3.827	15.310	1.062		0.316
300				240-300	
	3.238	16.188	0.878		0.347
360				300-360	
	2.824	16.943	0.755		0.384
420				360-420	
	2.516	17.609	0.666		0.434
480				420-480	
	2.276	18.207	0.598		0.500
540				480-540	
	2.083	18.751	0.544		0.598
600				540-600	
	1.925	19.251	0.500		0.755
660				600-660	
	1.792	19.715	0.464		1.062
720				660-720	
	1.679	20.149	0.434		2.048
780				720-780	
	1.581	20.556	0.407		10.826
840				780-840	
	1.496	20.941	0.384		1.373

---

900				840-900	
	1.420	21.305	0.364		0.878
960				900-960	
	1.353	21.652	0.347		0.666
1020				960-	
	1.293	21.982	0.331	1020	0.544
1080				1020-	
	1.239	22.299	0.316	1080	0.464
1140				1080-	
	1.190	22.602	0.303	1140	0.407
1200				1140-	
	1.145	22.894	0.292	1200	0.364
1260				1200-	
	1.104	23.175	0.281	1260	0.331
1320				1260-	
	1.066	23.446	0.271	1320	0.303
1380				1320-	
	1.031	23.708	0.262	1380	0.281
<b>1440</b>				<b>1380-</b>	
	<b>0.998</b>	<b>23.961</b>	<b>0.254</b>	<b>1440</b>	<b>0.262</b>

A partir de los valores de la Tabla 4.31 se elaboró la figura de Hietograma de precipitación de diseño para TR 50 años.



**Figura 14. Hietograma de precipitación de diseño para TR 50 años.**

**Tabla 4.32. Valores para Hietograma de precipitación de diseño para el periodo de retorno de 10 años**

De igual forma, en Tabla 49, se observa los valores para la elaboración del Hietograma de precipitación de diseño para el periodo de retorno de 100 años para la microcuenca del río Camarón, que incluyen: duración, intensidad, profundidad, tiempo y precipitación.

**Tabla 49. Valores para Hietograma de precipitación de diseño para el periodo de retorno de 50 años.**

Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	12.909	12.909	12.909	0-60	0.302

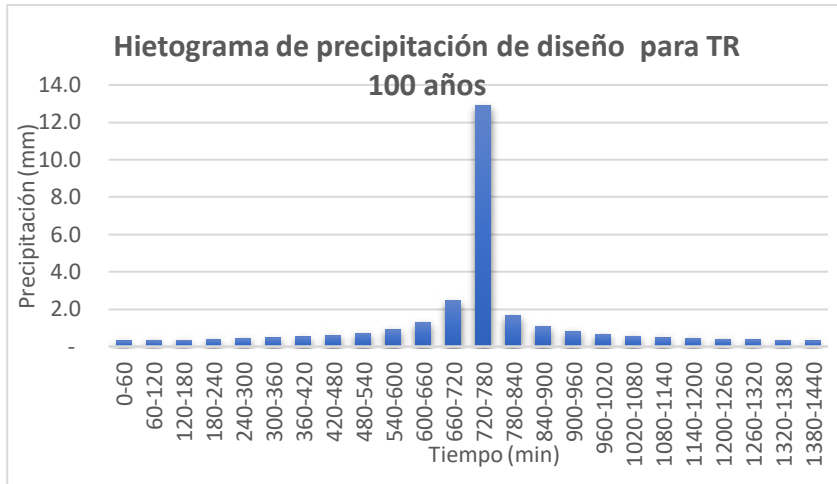
---

120				60-120	
	7.676	15.351	2.442		0.323
180				120-180	
	5.663	16.989	1.638		0.348
240				180-240	
	4.564	18.256	1.267		0.377
300				240-300	
	3.861	19.303	1.047		0.413
360				300-360	
	3.367	20.203	0.900		0.458
420				360-420	
	3.000	20.997	0.794		0.517
480				420-480	
	2.714	21.710	0.713		0.597
540				480-540	
	2.484	22.359	0.649		0.713
600				540-600	
	2.296	22.955	0.597		0.900
660				600-660	
	2.137	23.509	0.554		1.267
720				660-720	
	2.002	24.026	0.517		2.442
780				720-780	
	1.885	24.511	0.486		12.909
840				780-840	
	1.784	24.970	0.458		1.638

---

900				840-900	
	1.694	25.404	0.434		1.047
960				900-960	
	1.614	25.817	0.413		0.794
1020				960-	
	1.542	26.212	0.394	1020	0.649
1080				1020-	
	1.477	26.589	0.377	1080	0.554
1140				1080-	
	1.418	26.951	0.362	1140	0.486
1200				1140-	
	1.365	27.299	0.348	1200	0.434
1260				1200-	
	1.316	27.634	0.335	1260	0.394
1320				1260-	
	1.271	27.957	0.323	1320	0.362
1380				1320-	
	1.229	28.269	0.312	1380	0.335
<b>1440</b>				<b>1380-</b>	
	<b>1.190</b>	<b>28.572</b>	<b>0.302</b>	<b>1440</b>	<b>0.312</b>

De la misma manera, a partir de los datos de la tabla anterior, se elaboró la Figura 15 que representa el Hietograma de precipitación de diseño para TR 100 años.



*Figura 15. Hietograma de precipitación de diseño para TR 100 años.*

### **Paso 5: Modelado Hidrológico (Uso de HEC-HMS)**

El software HEC-HMS es una herramienta esencial para simular el proceso de transformación de la lluvia en escorrentía superficial.

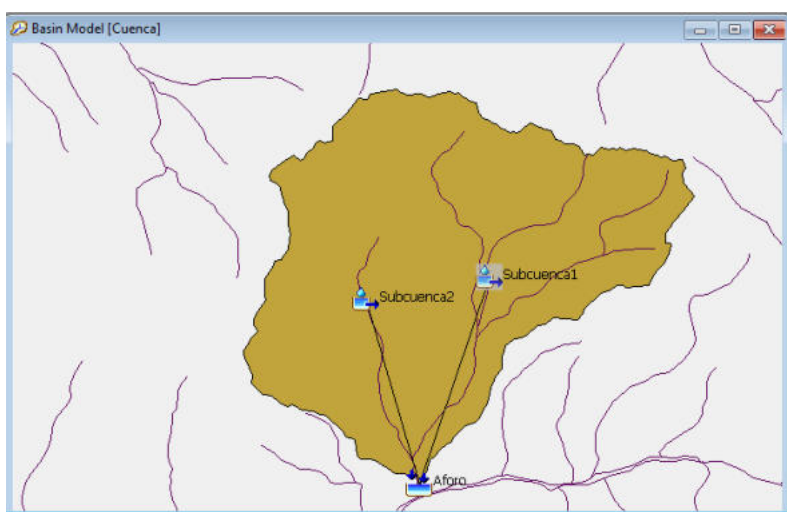
Ingreso de los parámetros de la cuenca y los datos de precipitación en el software.

- **Parámetros claves:**
  - **Área de la cuenca:** 12.87 km<sup>2</sup>
  - **Método de pérdidas:** SCS Curve Number (CN)
  - **Número de curva (CN):** 94.08
  - **Método de transformación:** SCS Unit Hydrograph
  - **Tiempo de retardo (Lag Time):** 30 minutos

- **Método de flujo base:** Recesión

### **Paso 5: Interfaz de HEC-HMS**

En la Figura 16. se representa en el software HEC-HMS el diseño de los afluentes (subcuenca 1 y 2) que fluyen hacia el aforo en el sitio de estudio.



*Figura 16. Interfaz de HEC-HMS en la microcuenca río Camarón.*

En la Figura 17 se representa el ingreso de valores en el software HEC-HMS para el modelamiento hidrológico para el cálculo de caudales en la microcuenca del río Camarón.

<b>Basin Name: Cuenca</b>	
<b>Element Name: Subcuenca2</b>	
Initial Type:	Discharge
*Initial Discharge (M3/S)	30
*Recession Constant:	0.9
Threshold Type:	Ratio To Peak
*Ratio:	1
Loss Method:	SCS Curve Number
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph
Baseflow Method:	Recession
<b>Basin Name: Cuenca</b>	
<b>Element Name: Subcuenca2</b>	
Initial Abstraction (MM)	
*Curve Number:	94.08
*Impervious (%)	0.0
<b>Basin Name: Cuenca</b>	
<b>Element Name: Subcuenca2</b>	
Graph Type:	Standard (PRF 484)
*Lag Time (MIN)	30

*Figura 17. Valores de ingreso para HEC-HMS en la microcuenca río Camarón.*

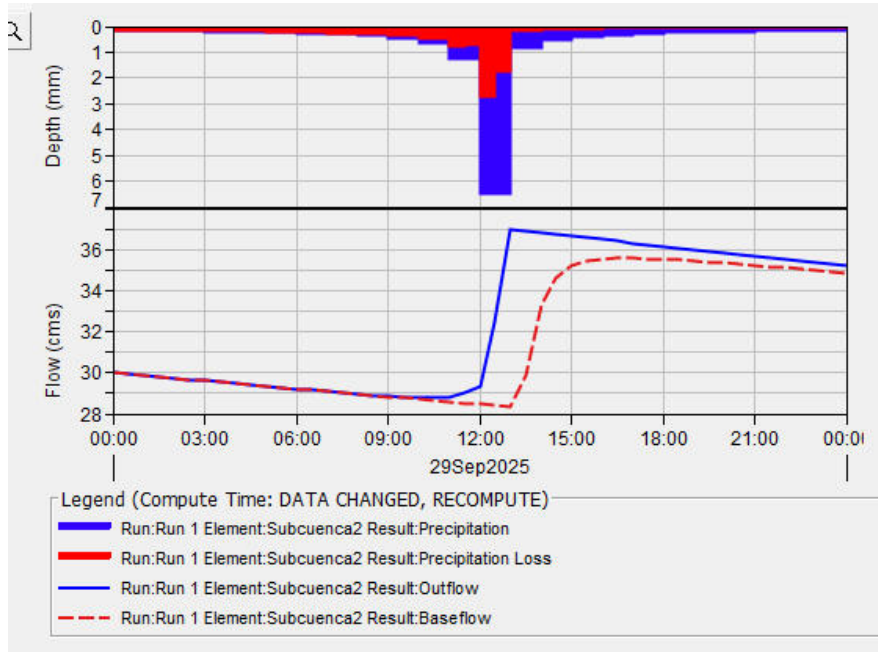
## **Paso 6: Simulación y Obtención de Resultados**

Una vez que todos los parámetros están configurados, se ejecuta la simulación para los períodos de retorno de interés.

- Ejecute la simulación en HEC-HMS para los períodos de retorno de 50 y 100 años.
- **Resultados:**
  - **Caudal para 50 años:** 75 m<sup>3</sup>/s
  - **Caudal para 100 años:** 81.1 m<sup>3</sup>/s

## Paso 7: Representación del hidrograma resultante para el período de retorno de 50 años

En la Figura 18 se representa el Hidrograma resultante para el período de retorno de 50 años realizado en el software HEC-HMS.



*Figura 18. Hidrograma resultante para el período de retorno de 50 años.*

### Descripción de elementos representados en la gráfica

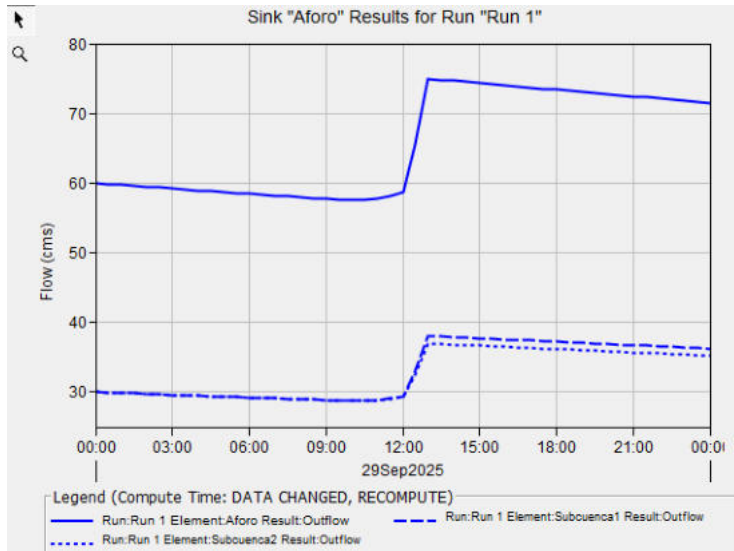
En la parte superior (Depth, mm):

- Barras color azul: representa la precipitación aplicada en el modelo (hietograma).
- Barras color roja: representan las pérdidas (precipitación que no genera escorrentía, retenida por infiltración o interceptación).

En la parte inferior (Flow, cms):

- Línea color azul continua: indican el caudal de salida (Outflow) de la subcuenca.
- Línea color roja discontinua: representa el caudal base (Baseflow).
- Escala vertical izquierda: muestra el caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$  (cms = cubic meters per second).
- Escala temporal: en eje X representa la fecha/hora (29 septiembre 2025).

De igual forma, en la figura 19 se muestra cómo la precipitación aplicada (barra azul) provoca una respuesta inmediata en el caudal de salida: el flujo base se mantenía cercano entre 29 a 30  $\text{m}^3/\text{s}$  hasta antes de la lluvia, posterior el evento aproximadamente del mediodía, el hidrograma (línea color azul continua) muestra un rápido ascenso hasta alcanzar un pico aproximado de 36.5  $\text{m}^3/\text{s}$ , continua con un descenso gradual en el transcurso de la tarde y la noche; este comportamiento evidencia la relación entre el volumen de la lluvia efectiva y la esorrentía, así como, la importancia de las pérdidas (barras color rojo) que amortiguan parte del aporte directo, lo que evidencia que el caudal pico en la subcuenca está condicionado a los factores de la intensidad del evento y a los parámetros de infiltración y almacenamiento.



*Figura 19. Punto de aforo para TR 50 años.*

### Elementos representados en la gráfica

Eje Y (Flow, cms): caudal en  $m^3/s$ .

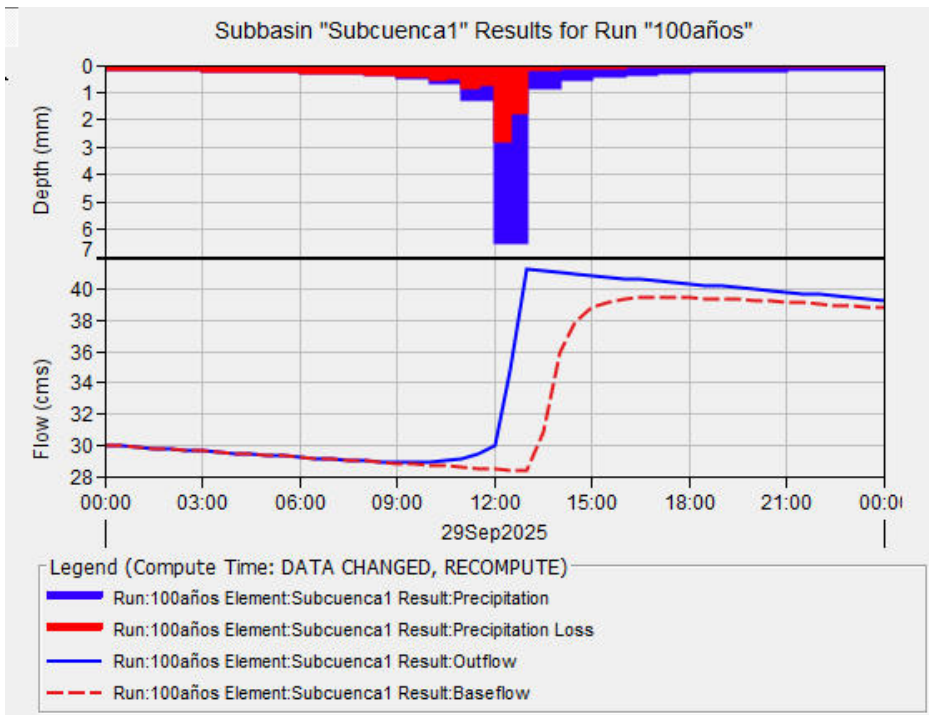
Eje X: tiempo (29 de septiembre de 2025, de 00:00 a 24:00).

- **Curvas:**

- Línea azul continua: caudal de salida en el punto de aforo (sumatoria de las subcuencas).
- Línea azul discontinua: caudal de salida de la Subcuenca 1.
- Línea azul punteada: caudal de salida de la Subcuenca 2.

Esta gráfica muestra los caudales combinados en el punto de aforo, se aprecia la contribución conjunta de las dos subcuencas: cada una responde de manera similar al evento con incrementos desde 29–30  $m^3/s$

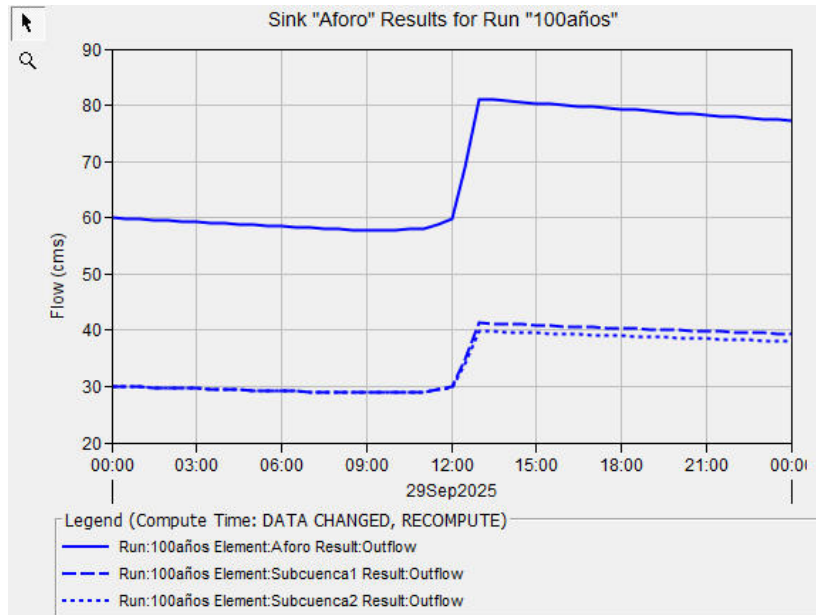
hasta valores de 38–39 m<sup>3</sup>/s, y su superposición produce en el aforo un caudal inicial cercano a 60 m<sup>3</sup>/s que asciende rápidamente hasta un pico aproximado de 76–77 m<sup>3</sup>/s poco después del inicio de la tormenta, estabilizándose posteriormente alrededor de 72 m<sup>3</sup>/s; este resultado ilustra cómo la simultaneidad de aportes en subcuencas de características semejantes genera un aumento significativo en el caudal total, lo que constituye el valor crítico de diseño a considerar en la reducción del riesgo de inundaciones y en diseño de obras hidráulicas.



**Figura 20. Hidrograma resultante para el período de retorno de 100 años.**

En la gráfica se muestra que, antes del inicio de la lluvia, el caudal base se mantiene en valores cercanos a 29 a 30 m<sup>3</sup>/s, con una mínima tendencia descendente durante la madrugada. Aproximadamente al

mediodía, la precipitación de diseño (barras color azul) supera las pérdidas iniciales por infiltración (barras color rojo) e inicia la generación de escorrentía efectiva. Como respuesta, se observa en el hidrograma de salida (línea color azul continua) se incrementa de manera rápida hasta alcanzar un pico cercano a **75,0 m<sup>3</sup>/s**, valor superior al alcanzado en el escenario de 50 años, lo cual refleja el efecto de una tormenta más extrema. Posteriormente, el caudal desciende gradualmente a lo largo de la tarde y noche, manteniéndose en niveles todavía más altos que los del caudal base inicial. En paralelo, la línea roja discontinua (baseflow) muestra un incremento progresivo, evidenciando la contribución retardada del flujo subterráneo tras la infiltración.



*Figura 21. Punto de aforo para TR 100 años.*

En la gráfica 21 se muestra que, en condiciones iniciales, el caudal total en el punto de aforo (línea color azul continua) se mantiene estable entre **61 a 62 m<sup>3</sup>/s**, como resultado de los aportes combinados de la subcuenca 1 y 2 (líneas color azul discontinua y punteada, con valores aproximados entre 29 a 30 m<sup>3</sup>/s cada una). Alrededor del mediodía, al ocurrir el evento de precipitación extrema de 100 años, las dos subcuencas responden de forma casi simultánea, con un incremento rápido de sus caudales hasta valores cercanos entre **41 a 42 m<sup>3</sup>/s** cada una. La sumatoria de estos aportes genera en el aforo un caudal pico que alcanzan aproximadamente **81 a 82 m<sup>3</sup>/s**, lo que superan al valor observado en el escenario de 50 años (76 a 77 m<sup>3</sup>/s). Seguidamente, se muestra un descenso gradual durante la tarde y la noche, estabilizándose aproximadamente en los **81,1 m<sup>3</sup>/s**, esto refleja un hidrograma más elevado y sostenido en el tiempo, coherente con la magnitud de un evento más extremo.

#### ***4.4.3 Resumen del cálculo de caudales máximos para la microcuenca río Camarón***

En la tabla 22 se resume los resultados del cálculo de caudales máximos (Q<sub>max</sub>) para los tiempos de retorno (TR) de 50 y 100 años mediante el Método Racional y el HEC – HMS.

*Figura 22. Resumen de cálculo de caudales por Método Racional y HEC-HMS en la microcuenca río Camarón.*

TR (años)	Método Racional	Método HEC - MS
	Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s)
<b>50</b>	470,49	75,0
<b>100</b>	527,80	81,1

Existen diferencias significativas entre los valores de caudales máximos entre los dos métodos, sin embargo, para el modelamiento hidráulico se trabajará con el resultado del método HEC-HMS, por ser el que se ajusta a la realidad.

#### **4.5 Modelación Hidráulica**

La modelación hidráulica se realizó empleando un enfoque bidimensional utilizando el software IBER, la implementación de este enfoque bidimensional permite una representación más precisa de la propagación del flujo en las llanuras de inundación, especialmente en áreas con cambios topográficos bruscos o presencia de infraestructura. En el caso de estudio fue primordial determinar los parámetros hidráulicos críticos como calado y velocidad asociados a los caudales de diseño previamente calculados para periodos de retorno de 50 y 100 años.

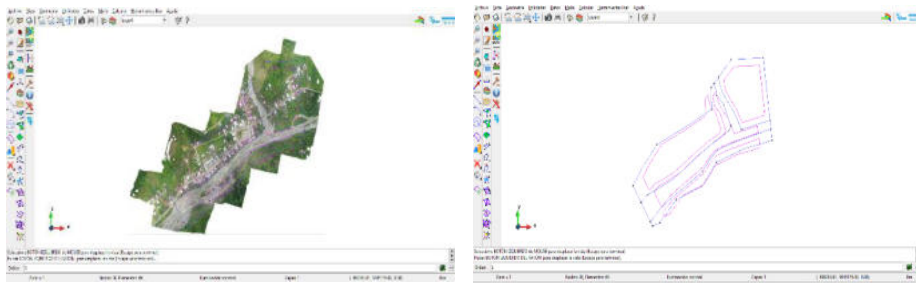
#### **Proceso de Modelación**

Previo al ingreso de información al software se debe contar con el análisis hidrológico calculado en pasos anteriores los mismos que son

para un periodo de retorno de 50 años  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  y para un periodo de retorno de 100 años  $81,1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **Creación de geometría**

Se define las fronteras del dominio del cálculo delimitando el área del río que se va a modelar como los demás usos de suelo importante considera valores de rugosidad para cada uso de suelo que se vaya a generar. En la Figura 23 se representa la creación de la geometría para la zona de estudio (recinto San José de Camarón).



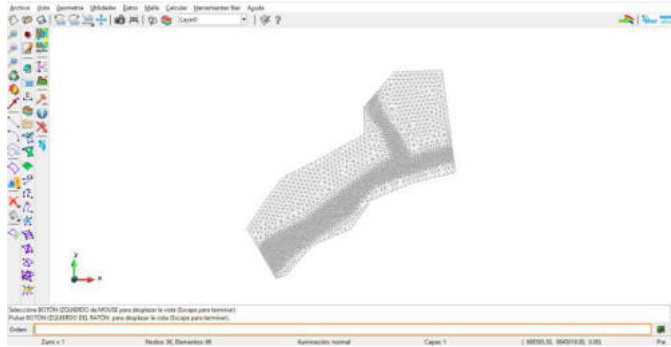
**Imagen de fondo**

**Creación de Geometría**

*Figura 23. Generación de la geometría del área de estudio (recinto San José de Camarón).*

### **Creación del mallado**

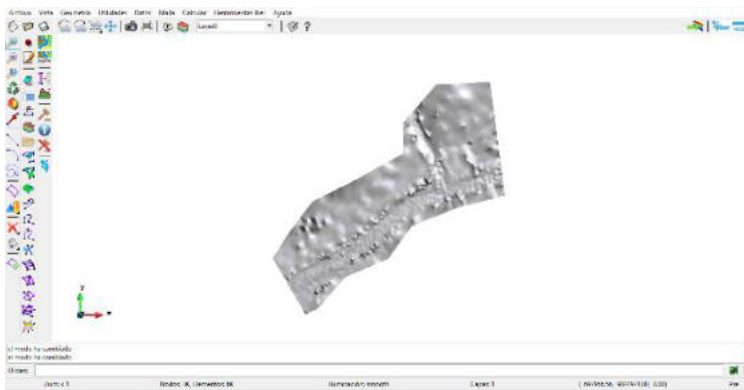
Se genera una malla no estructurada para asignar las condiciones de mallado fino (malla de elemento finitos) para asegurar una adecuada resolución del flujo, especialmente en el cauce principal y en zonas de estructuras, importante considerar que tendremos mejores resultados si el mallado es más fino. En la Figura 24 se muestra el proceso de creación de la malla para la zona de estudio.



**Figura 24. Creación del mallado del área de estudio (recinto San José de Camarón).**

### **Datos topográficos**

Se utilizó un modelo digital de elevación con una resolución de 0,25 cm, al igual que el mallado la calidad del MDE es crucial para la precisión en los resultados del modelo que se representa en la Figura 25.



**Figura 25. Creación del MDE del área de estudio (recinto San José de Camarón).**

### **Análisis de Resultados por período de retorno**

Los resultados se analizaron en términos de calado y velocidad del flujo.

**Tabla 50. Parámetros hidráulicos para los caudales de Q50 y Q100.**

Parámetro Hidráulico	Q <sub>50</sub> (75 m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>100</sub> (81,1 m <sup>3</sup> /s)
Calado Máximo (m)	6,16	6,24
Velocidad máxima (m/s)	9,06	9,90

### Calado TR 50 años

El calado máximo registrado para un periodo de retorno de 50 años es de 6,16 m, profundidad más alta alcanzada en el cauce principal. Las áreas de color azul claro a oscuro en el mapa muestran profundidades significativas superiores a 2 m en zonas identificadas como llanuras de inundación que se encuentran actualmente urbanizadas cercanas al río.



**Figura 26. Calado TR 50 años, modelamiento con IBER.**

### Velocidad 50 años

En la Figura 27, se presenta la velocidad máxima registrada es de 9,06 m/s, que representan riesgos a las estructuras por potencial erosivo, efecto que se puede evidenciar en la base del puente del recinto.

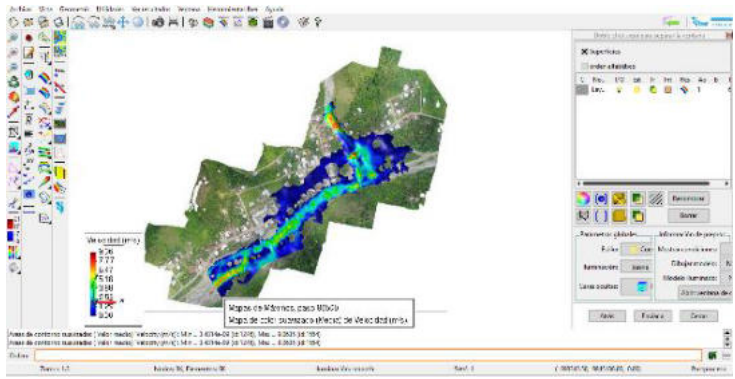


Figura 27. Velocidad TR 50 años, modelamiento con IBER.

**Calado 100 años**

De igual forma, en la Figura 28, se muestra el calado máximo registrado para el periodo de retorno de 100 años es de 6,24 m, este incremento con respecto al modelamiento de 50 años es de tan solo 8 cm, esta diferencia se traduce principalmente en una mayor área de inundación, aunque esta diferencia visualmente es sutil en los mapas.

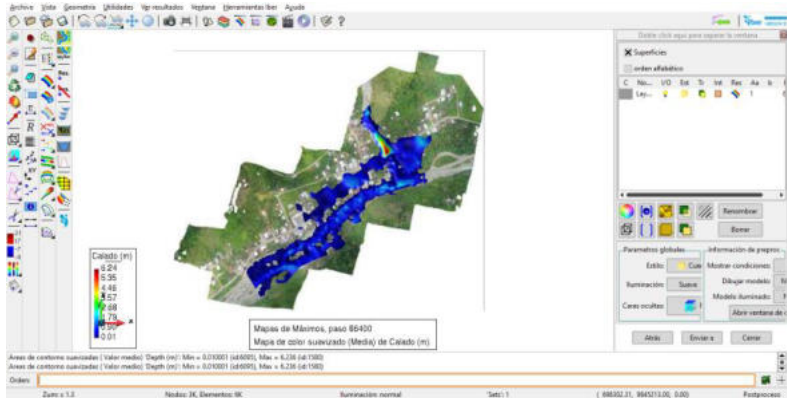
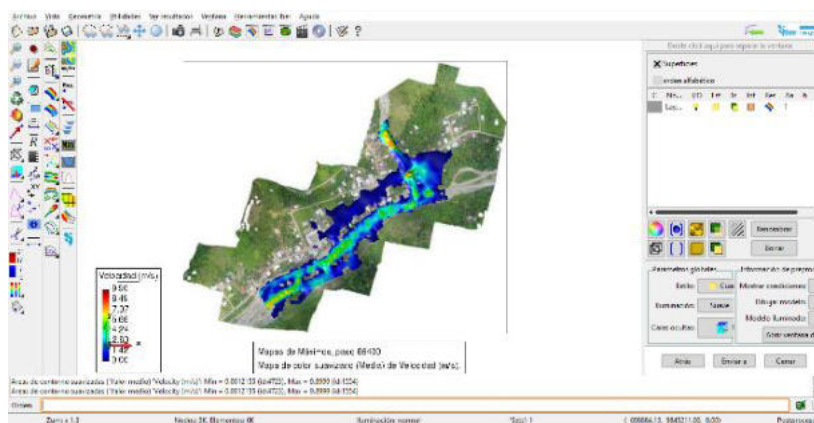


Figura 28. Calado TR 100 años, modelamiento con IBER.

## Velocidad 100 años

En la Figura 29 se observa que, el incremento de la velocidad es más significativo si comparamos con el TR (tiempo de retorno) de 50 años, ya que para TR 100 años se estima de 9,50 m/s, esto hace que aumente el riesgo de arrastre de sedimento y colapso de la estructura del puente.



*Figura 29. Velocidad TR 100 años, modelamiento con IBER.*

De acuerdo con los modelos hidráulico calculados para los diferentes periodos de retorno confirma que el recinto San José de Camarón se encuentra expuesta a una amenaza extrema para crecidas de 50 años o superior.

## 4.6 Zonificación de la amenaza de inundación

A partir de los resultados del modelamiento hidráulico, los ráster de calado y velocidad para los tiempos de retorno (TR) de 50 y 100 años, se procesaron en el software de Sistemas de Información Geográfica – SIG y con base a los criterios metodológicos de la tabla 4.1 se determinó las zonas y niveles de amenaza de inundación en el área de influencia

del río Camarón y su afectación al recinto San José de Camarón, los resultados se presentan a continuación.

#### **4.6.1 Escenario de amenaza de inundación para tiempo de retorno de 50 años**

A través del modelamiento hidrológico e hidráulico se obtuvo como resultado las imágenes ráster con valores de calados y velocidades para TR 50 años, que fueron procesados en Sistemas de Información Geográfica a través del ArcGIS (10.0), para obtener los mapas de amenazas de inundación a escala 1:25.000 para los dos escenarios y su influencia en el centro poblado de San José de Camarón.

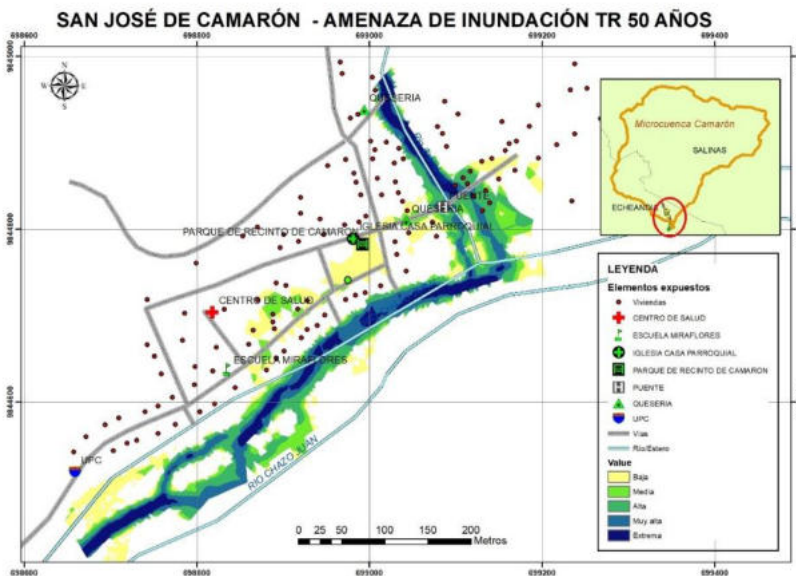
Como se puede ver en la Tabla 51, en el escenario TR 50 presenta el área y niveles de la amenaza de inundación que afectaría aproximadamente 4,86 hectáreas (ha).

**Tabla 51. Niveles de amenazas de inundación para TR 50 años en el río Camarón y su influencia en el centro poblado de San José de Camarón.**

Criterios de inundación	TR 50 años	
	Rango de calado por velocidad Nivel de amenaza (m <sup>2</sup> /s)	Área Porcentaje de área en ha
<b>Bajo</b>	≤ 0,20	1,33 27,24
<b>Medio</b>	0,21 a 0,49	0,73 15,01
<b>Alto</b>	0,50 a 1,49	1,21 24,91
<b>Muy alto</b>	1,50 a 2,49	0,92 18,99

<b>Extremo</b>	$\geq 2,50$	0,67	13,85
<b>Total</b>		<b>4,86</b>	<b>100,00</b>

En la Figura 30 se representa el mapa con las zonas y niveles de amenaza de inundación para TR 50 años y los elementos expuestos del recinto San José de Camarón, cantón Echeandía.



*Figura 30. Mapa de amenaza de inundación para TR 50 años y elementos expuestos del recinto San José de Camarón.*

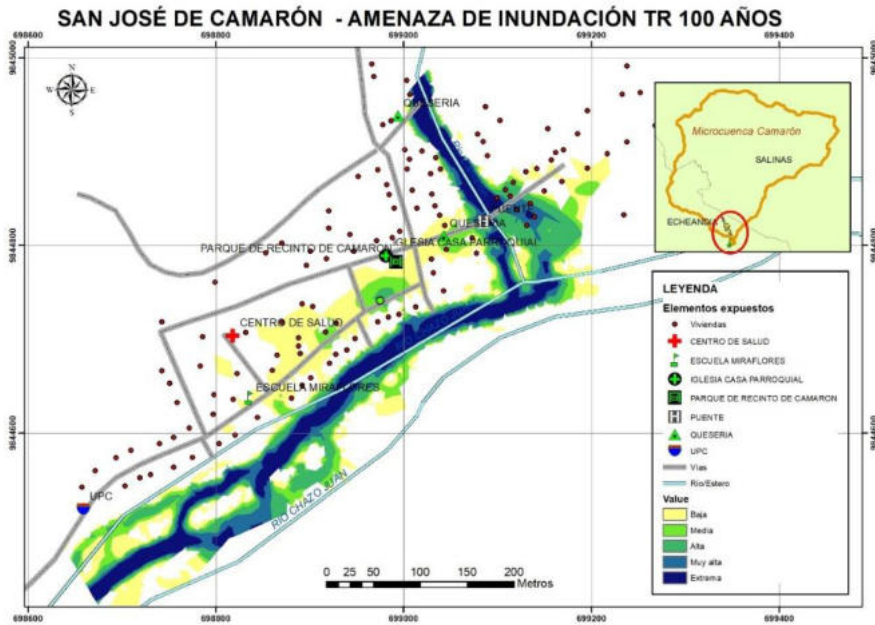
#### **4.6.2 Escenario de amenaza de inundación para tiempo de retorno de 100 años**

De igual manera, en la Tabla 4.36 se presentan las zonas con niveles de amenaza para el escenario de 100 años que representa un área de 6,43 ha de exposición del recinto San José de Camarón, al comparar con el escenario de 50 años hay poca diferencia en el área de posible afectación.

*Tabla 52. Niveles de amenazas de inundación para TR 100 años en el río Camarón y su influencia en el centro poblado de San José de Camarón.*

Criterios de inundación	TR 100 años		
	Rango de calado por velocidad (m <sup>2</sup> /s)	Área en ha	
Nivel de amenaza		Porcentaje de área	
<b>Bajo</b>	≤ 0,20	2,08	32,40
<b>Medio</b>	0,21 a 0,49	0,94	14,63
<b>Alto</b>	0,50 a 1,49	1,28	19,87
<b>Muy alto</b>	1,50 a 2,49	0,79	12,27
<b>Extremo</b>	≥ 2,50	1,34	20,82
<b>Total</b>		<b>6,43</b>	<b>100,00</b>

De igual forma, en la Figura 31 se representa el mapa con las zonas y niveles de amenaza de inundación para TR 100 años y los elementos expuestos del recinto San José de Camarón.



*Figura 31. Mapa de amenaza de inundación para TR 100 años y elementos expuestos del recinto San José de Camarón.*

#### **4.7 Elementos expuestos a las zonas de la amenaza de inundación**

A partir de los resultados de las zonas y niveles de amenaza de inundación para TR 50 y 100 años, mediante la superposición de mapas de amenazas y los elementos expuestos (edificaciones e infraestructura) localizados en el recinto de San José de Camarón, los resultados se presentan por escenario de riesgos (TR 50 y 100 años), la escala de trabajo es 1:5.000.

##### **4.7.1 Elementos expuestos a escenario de amenaza de inundación de TR 50 años**

En la Tabla 53 y Figura 31, se observa que en el escenario de TR 50 años, aproximadamente el 5,1% de la población y edificaciones están

expuestas a la amenaza alta y muy alta, con menor porcentaje los niveles medio y bajo, que podrían presentar daños parciales a las edificaciones, mayor peligro de arrastre a personas, vehículo y otros, cabe mencionar, que la mayoría no presenta nivel de exposición.

**Tabla 53. Resultados de exposición de población y edificaciones a escenario de inundación de TR 50 años en el recinto San José de Camarón.**

Nivel de amenaza	Población		Edificaciones	
	Número	%	Número	%
Sin afectación	308	87,5	119	87,5
Bajo	21	5,9	8	5,9
Medio	5	1,5	2	1,5
Alto	10	2,9	4	2,9
Muy alto	8	2,2	3	2,2
Extremo	0	0,0	0	0,0
<b>Total</b>	<b>352</b>	<b>100,0</b>	<b>136</b>	<b>12,5</b>

De igual manera, en la Tabla 54 y Figura 31, se observa que las infraestructuras esenciales presentan los siguientes niveles de exposición: el puente con nivel alto, el parque con nivel bajo, una quesera con nivel medio, el resto de infraestructura no registran niveles de exposición.

**Tabla 54. Resultados de exposición de infraestructura esencial a escenario de inundación de TR 50 años en el recinto San José de Camarón.**

Nivel de amenaza	Infraestructura esencial (números)						
	Parque	Puente	UPC	Centro Salud	Unidad educativa	Iglesia	Quesera
Sin exposición	0	0	1	1	1	1	1
Bajo	1	0	0	0	0	0	0
Medio	0	0	0	0	0	0	1
Alto	0	1	0	0	0	0	0
Muy alto	0	0	0	0	0	0	0
Extremo	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	1	1	1	1	1	1	2

*Nota:* UPC: Unidad de Policía Comunitaria.

#### **4.7.2 Elementos expuestos a escenario de amenaza de inundación de 100 años**

De igual forma, para el escenario de TR 100 años, en la Tabla 55 y Figura 4.27, se observa que aproximadamente el 5,1% de la población y edificaciones están expuestas a la amenaza alta y muy alta, se debe mencionar, que la mayoría no se presentan nivel de exposición.

**Tabla 55. Resultados de exposición de población y edificaciones a escenario de inundación de TR 100 años en el recinto San José de Camarón.**

Nivel de amenaza	Población		Edificaciones	
	Número	%	Número	%
Sin exposición	300	85,3	116	85,3
Bajo	26	7,4	10	7,4
Medio	8	2,2	3	2,2
Alto	10	2,9	4	2,9
Muy alto	5	1,5	2	1,5
Extremo	3	0,7	1	0,7
<b>Total</b>	<b>352</b>	<b>100</b>	<b>136</b>	<b>100</b>

Así mismo, en la Tabla 56 y Figura 4.27, se advierte que las infraestructuras esenciales registran los siguientes niveles de exposición: el puente con nivel alto, el parque con nivel bajo, una quesera con nivel medio, el resto de infraestructura no registran niveles de exposición.

**Tabla 56. Resultados de exposición de infraestructura esencial a escenario de inundación de TR 100 años en el recinto San José de Camarón.**

Nivel de amenaza	Infraestructura esencial (número)						
	Parques	Puente	UPC	Centro Salud	Unidad educativa	Iglesia	Quesera
Sin exposición	0	0	1	1	1	1	1
Bajo	1	0	0	0	0	0	0
Medio	0	0	0	0	0	0	1
Alto	0	1	0	0	0	0	0
Muy alto	0	0	0	0	0	0	0
Extremo	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

#### **4.8 Medidas de reducción ante la amenaza de inundación**

A continuación, por elementos expuestos y escenarios de inundación, en la Tabla 57 se presentan las estrategias y medidas de reducción de riesgos de desastres que contribuyan a fortalecer los procesos de sostenibilidad y resiliencia ante inundaciones para un territorio, en este caso para el centro poblado de San José de Camarón.

**Tabla 57. Estrategias y medidas de reducción para la sostenibilidad y resiliencia ante inundaciones para el recinto San José de Camarón.**

Elementos expuestos	Escenario de inundación (TR 50 y 100 años)	Estrategias y medidas de reducción	Responsable y colaboradores
Microcuenca	Procesos de erosión que incrementa la escorrentía y caudales para amenaza de inundación	Evaluación de zonas críticas para reforestación para control de erosión y taludes. Reducir los flujos hídricos mediante barreras (trincheras) y/o canales de desviación con participación comunitaria y actores territoriales.	GAD cantón Echeandía, MAE y comunidad
Población y edificaciones	Expuesta a amenaza muy alta y alta	Evaluación de vulnerabilidad y reforzamiento de edificaciones Estudios e implementación de obras de mitigación. Sistema de alerta temprana comunitaria. Planes de emergencia y contingencia ante inundaciones comunitaria. Fortalecer las capacidades y resiliencia local a través de información, capacitación y simulacros con participación comunitaria.	GAD y Bomberos del cantón Echeandía, SNGRE, MIDUVI, UEB y comunidad

		Estudios para reubicación de edificaciones de amenaza extrema.	
		Estudios e implementación de obras de mitigación.	
Infraestructura esencial (vías, puente, UPC, unidad educativa, iglesia)	Expuesta a amenaza extrema	Evaluación de vulnerabilidad y reforzamiento de infraestructura esencial. Elaboración de planes de emergencia, contingencia y sistemas de alarma institucionales ante inundaciones.	GAD cantón Echeandía, SNGRE e instituciones locales
		Capacitación e información preventiva y de preparación ante inundaciones para instituciones.	
Predios / terrenos (sin construcciones)	Expuesta a amenaza extrema, muy alta y alta	Ordenanza para control de uso de suelo y permisos de construcciones en zonas expuesta a amenazas. Declarar suelos de protección en predios expuestos a amenazas.	GAD cantón Echeandía

*Nota:* GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado; MAE: Ministerio de Ambiente de Ecuador; SNGRE: Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia, Unidad provincial Bolívar; UEB: Universidad Estatal de Bolívar; MIDUVI: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

#### 4.9 Discusión de resultados

El trabajo realizado por Chávez (2019), utilizó el método histórico-geomorfológico; en el componente histórico, se determinó las zonas de inundación de la comunidad de San José de Camarón, en 2005 alcanzó una altura de 20 cm, afectó en un área aproximada de 1.186 m<sup>2</sup>, en 2016 la altura fue de 60 cm, inundó un área aproximada de 7.323 m<sup>2</sup>, en 2017 alcanzó una altura 115 cm, inundó aproximadamente un área de 21.120 m<sup>2</sup> y en 2018 alcanzó una altura de 30 cm, con un área de 1.496 m<sup>2</sup>, se estableció que la susceptibilidad a inundación es alto en el territorio cuando la precipitación exceda los 2.300 mm y el caudal aproximado de 13,49 m<sup>3</sup> /s (Chávez Ortiz, B., 2019). En el presente estudio, se evaluó un área de 12,98 km<sup>2</sup> de la microcuenca del río Camarón, en el modelamiento hidrológico con el método HEC-HMS se estableció para TR 50 un caudal máximo de 75 m<sup>3</sup>/s y para TR 100 un caudal de 81,1 m<sup>3</sup>/s; en el modelamiento hidráulico, se estableció para TR 50 un área 4,86 ha y para TR 100 es 6,43 ha de zonas de inundación, que en su mayor parte presentan niveles de alto a extremos y altos que superarían los 6,16 m (TR50) y 6,24 m (TR100) en calado; el evento histórico de 2017 alcanzó el 1,15 m que correspondería al nivel alto, cuyo valor es entre 0,71 a 1,22 m del presente trabajo, lo que podría ocasionar gran arrastre de objetos y peligro grave para personas, daños materiales importantes (Sánchez Romero, F., 2014); los antecedentes históricos corroboran las zonas de amenazas modeladas.

En el estudio realizado por Paucar-Camacho, y otros, (2014), para la evaluación de las amenazas de inundación en la ciudad de Guaranda, se empleó para el modelamiento hidrológico mediante el método Racional

y software HEC-HMS, para el modelamiento hidráulico el software HEC-RAS Paucar-Camacho, y otros (2014), se obtuvo zonas de inundación para el área urbana con TR 50, 100 y 500 años. En el caso del HEC – RAS se trabajó con un modelo 1 dimensional que resultó de utilidad para ríos de la sierra o montaña como el caso del río Guaranda, mientras que, el IBER utiliza un modelo 2 dimensional que se adapta para zonas planas o bajas como el río Camarón que se localiza en el subtrópico de la provincia Bolívar.

En trabajo de Vázquez Rodríguez (2015) menciona que la cartografía de zonas inundables es un trabajo complejo pero necesario, ya que permiten una aproximación al problema de las inundaciones, lo que contribuye a superar el déficit de información hidrológica, se estableció que caudales de 131,30 m<sup>3</sup>/s puede presentar pequeñas inundaciones en el área de influencia del río Eume que generarían pérdidas humanas, estructurales y económicas del área de estudio, principalmente, por afectación al casco histórico; no obstante, una buena gestión contribuiría a minimizar el riesgo de inundaciones (Vázquez Rodríguez, A., 2015). Lo anterior, tiene relación con los resultados del presente estudio, ya que la cartografía de amenaza de inundación, permitió identificar los elementos expuestos para el establecimiento de estrategias y medidas de reducción para el centro poblado de San José de Camarón.

#### **4.10 Conclusiones**

Con el uso de un modelo digital de elevación - DEM de 1,5 metros obtenidos del satélite ALOS PALSAR y la red de drenaje a escala 1:50.000 (IGM, 2011), mediante el módulo de hidrología del software

ArcGIS se identificó los parámetros morfométricos como: área, desnivel, pendiente promedio, longitud de cauce principal, tiempo de concentración, entre otros, que permitió la caracterización de la microcuenca que es necesario para la evaluación de la amenaza y exposición a inundación.

A través del método hidrológico – hidráulico, mediante el método Racional, se pudo determinar para periodos de retorno de 50 y 100 años los caudales máximos ( $m^3/s$ ), que a su vez permite diseñar el hidrograma de descarga para la aplicación del software libre IBER 2.6, que facilitó la simulación del flujo del río para determinar valores para variables hidráulicas como los calados y velocidades. La escala de análisis fue de 1:5.000, que puede ser mejorada con levantamientos topográficos para un mayor detalle del DEM para una mejorar la evaluación de la amenaza de inundación en el territorio.

Mediante los Sistemas de Información Geográfica, con la herramienta algebra de mapas se correlacionaron los datos de calados (m) y velocidad (m/s), obteniéndose valores calado por velocidad ( $m^2/s$ ), esto permitió establecer las zonas por niveles de amenaza de inundaciones que fueron representados a escala 1:5.000 para escenarios por periodos de retorno de 50 y 100 años.

Los mapas de amenaza de inundación fueron correlacionados con las infraestructuras y equipamientos del centro poblado (edificaciones, puente, unidades de salud, educación, UPC, otros) para identificar el nivel de exposición frente a los escenarios de amenaza de inundación, la cartografía para los elementos expuesto es 1:5.000. Esto permitió

establecer estrategias para reducir el riesgo en el territorio y contribuir a la sostenibilidad y resiliencia del centro poblado del área de estudio.

Se puede establecer que el modelo desarrollado para estudios de inundación a escala local es viable y puede ser replicable en otros territorios con características similares, en este caso poblaciones rurales localizados en cuencas hidrográficas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ASA. (30 de junio de 2022). *European Space Agency*. Obtenido de [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_ES/SEM05E3GXF\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM05E3GXF_0.html)

BID. (2016). *Ocurrencia y Gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe – Factores claves y experiencia adquirida*. Nota Técnica N° IDB-TN-924. BID.

BID. (2017). *Medidas de protección contra inundaciones basadas en la naturaleza*. BID.

Bolivar - Fandiño, J., Pineda- Toro, D., & Salcedo - Herrera, I. (2019). Análisis de riesgo por inundación frente a escenarios de cambio climático a partir de la modelación hidrodinámica y de calidad de agua en IBER - 2D de un tramo de la microcuenca Quebrada Resaca - Palestina del barrio Duitama, Usme. *Ciencia Unisalle*, 1-110. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/items/7e575588-9e6a-423f-a1cc-c96aa7bfdd73/full>

Bolivar Frandiño, J., Pineda Toro, D., & y Salcedo Herrera, I. (2019). *Análisis de riesgo por inundación frente a escenarios de cambio climático a partir de la modelación hidrodinámica y de calidad de agua en IBER - 2D de un tramo de la microcuenca Quebrada Resaca - Palestina del barrio Duitama, Usme*. Bogota, Colombia: Universidad de La Salle. Obtenido de

[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2194  
&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2194&context=ing_ambiental_sanitaria)

C A Doswell. (2003). Enciclopedia de ciencias atmosféricas. En C. A. Doswell, *Inundaciones* (págs. 769-776). Oklahoma: University of Oklahoma, Norman, OK, USA.

Cajjal - Molina, E., & Maldonado - González, A. L. (2019). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones. Un ejercicio emergente ante el cambio climático. Economía, sociedad y territorio. *Economía, sociedad y territorio*, 19(61), 543-574. doi:<https://doi.org/10.22136/est20191342>

Chávez Ortiz, B. (2019). *Anenaza de Inundación y su influencia en los centros poblados (San José de Camarón ) en la micro-cuenca del río Chazo Juan*. Carrera de Administración para Desastres y Gestión de Riesgos . Guaranda: Universidad Estatal de Bolívar,. Obtenido de repositorio ueb.edu.ec

Comunidad Andina de Naciones. (2009). *Incorporando la gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión territorial. Guía técnica para la interpretación y aplicación del análisis de amenazas y riesgos*. Lima - Perú: Comunidad Andina de Naciones - CAN. Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina - PREDECAN. Obtenido de <https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/Temas/AtencionPrevencionDesastres/EJET4IncorporandoGestionRiesgoDesastresPlanificacionGestionTerritorial.pdf>

DESINVENTAR. (12 de 05 de 2025). *Desinventar. Marco de Sendai para la Reducción del Riesgos de Desastres*. Obtenido de Eventos de desastres de la provincia Bolívar: <https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=ecu&continue=y&datalng=LL&lang=ES>

Díez, A., Llorente, M., Ballesteros, J. A., & Ruiz, V. (2009). Fundamentos conceptuales y didácticos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 10.

Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L., & Llorente-Isidro, M. (2008). *Mapa de peligrosidad por avenidas o inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Madrid - España: Instituto Geológico y Minero de España.

ecoflow. (27 de 09 de 2025). <https://www.ecoflow.com>. Obtenido de Causas de las inundaciones: una visión general completa: <https://www.ecoflow.com/mx/blog/causes-of-floods>

Escuder - Bueno, I., Catillo - Rodríguez, J., Morales - Torres, A., & Altarejos - García, L. (2013). *Metodología completa y cuantitativa de análisis del riesgo de inundación en zonas urbanas*. Valencia - España: Universidad Piltécnica de Valencia.

GAD Echeandía. (2015). *Secretaria Nacional de Planificación*. Obtenido de Descarga de Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Echeandia: <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>

Gutiérrez García, J., Rubiños Panta, J., Fernández Reynoso, D., Ramírez Ayala, C., Roblero Hidalgo, R., Gutiérrez García, F. y , & Romero Sánchez, M. (2022). Modelación hidráulica en Iber para prevención de inundaciones en la cuenca Tesechoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(71), 1-23. doi:10.29298/rmcf.v13i71.1238

IDEAM - Colombia. (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Bogota - Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Obtenido de [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/guia\\_metodologica\\_mapas\\_inundacion.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/guia_metodologica_mapas_inundacion.pdf)

IDEAM. (2018). *Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023774/GUIA\\_METODOLOGICA\\_MAPAS\\_INUNDACION\\_MARZO\\_2018.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023774/GUIA_METODOLOGICA_MAPAS_INUNDACION_MARZO_2018.pdf)

IGM. (2011). *Información Geográfica. Cartografía de Acceso Libre*. Recuperado el 01 de 07 de 2022, de Instituto Geográfico Nilitar - IGM: <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-de-libre-acceso/>

INAMHI. (1999). *Estudio de Lluvias Intensas*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Meteorología.

- INAMHI. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. Quito - Ecuador: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI. Obtenido de [https://www.academia.edu/27047715/DETERMINACION\\_DE\\_ECUACIONES\\_PARA\\_EL\\_CALCULO\\_DE\\_INTENSIDADES\\_MAXIMAS\\_DE\\_PRECIPITACION\\_INSTITUTO\\_NACIONAL\\_DE\\_METEOROLOGIA\\_E\\_HIDROLOGIA](https://www.academia.edu/27047715/DETERMINACION_DE_ECUACIONES_PARA_EL_CALCULO_DE_INTENSIDADES_MAXIMAS_DE_PRECIPITACION_INSTITUTO_NACIONAL_DE_METEOROLOGIA_E_HIDROLOGIA)
- Kirpich, Z. (1940). *Época de concentración de pequeñas cuencas agrícolas*. Civil Engineering, volumen 10, número 6, página 362.
- MAGAP. (2012). Ortofotos, archivo digital raster, escala 1:5000. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - MAGAP.
- Masana García, M. Málaga Gonzalez, L. Campos Cruzado, R y otros. . (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por inundación fluviales*. Lima : Centro Nacional de estimación , Prevención y Reducción del Riesgos de Desastres- CENEPRED.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia. (2022). *Guía para Estimación de Riesgos a Inundaciones y Aluviones bajo Escenarios de Variabilidad y Cambio Climático (VC/CC)*. La Paz - Bolivia: CONDESAN -Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina. Obtenido de <https://condesan.org/recursos/guia-para-estimacion-de-riesgos->

a-inundaciones-y-aluviones-bajo-escenarios-de-variabilidad-y-cambio-climatico-vc-cc/

Ochoa A. Suárez E. Boris F. Ochoa T. Calle T. Fuentes B. Vera A. Torres M. (2021). *Buenas Prácticas en conservación y restauración de humedales altoandinos*. Quito: FONAG-Quito, Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica.

Olcina - Cantos, J., Oliva - Cañizares, A., Sánchez - Almodóvar, E., Martí - Talavera, J., & Biener - Camacho, S. (2021). Cartografías para la acreditación del riesgo de inundaciones: SNCZI y PATRICOVA en la Comunidad Valenciana (España). *Geoenfoque. Revista internacional de ciencia y tecnología de la información geográfica*, 19-53. doi:<https://doi.org/10.21138/GF.691>

OMM. (2012). *International Glossary of Hydrology*. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial, 2012 (ISBN 978-92-63-03385-8).

Paucar - Camacho, J. (2016). *Modelo para la articulación de la Gestión del Riesgo en el proceso de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Guaranda / Ecuador*. Valencia - España: Universidad de Valencia. Obtenido de <https://roderic.uv.es/items/0f79b51c-6969-4bc9-b14c-363982784ebd>

Paucar-Camacho, A., Acosta-Arias, E., Gavilanez.Betancourt, E., Martínez-Martínez, M., Medina-Altamirano, J., & Ocamo-León, C. (2014). *Metodologías para el análisis de riesgo (sismos,*

*deslizamientos, inundaciones) de la ciudad de Guaranda* (ISBN: 9789978364109 ed.). Guaranda: Universidad Estatal de Bolívar.

Peña, M., & Jacobo, A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Mexico: Universidad Autónoma Metropolitana, Tlalpan, D.F. México.

Pinos, J., Timbe, L., & Orellana, D. (2017). Métodos para la evaluación del riesgo de inundación fluvial: revisión de literatura y propuesta metodológica para Ecuador. *MASKANA*, 8(2), 147–162. doi: <https://doi.org/10.18537/mskn.08.02.11>

PNUD y SNGR. (2012). *Propuesta Metodológica Análisis de vulnerabilidades a nivel municipal*. Quito: Programa de las Naciones Unidas para Desarrollo - PNUD y Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos – SNGR.

Robleto Molina, J. (2011). Metodología para la elaboración de mapas de amenaza por inundación. *Revista Científica*, 1(1), 1-9. Obtenido de <https://www.sica.int/download/?62729>

Salas, M. Jimenez, M. (2007). *Inundaciones*. México: Cenapred.

Sánchez Romero, F. (2014). *Criterios de seguridad en balsas de tierra para riego* (Tesis Doctoral ed.). Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. doi: <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/38448>

Sciortino, J. B. (2019). *Elementos de Hidrología*. UNSa.

Strahler, A. ( 1964). *Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks.*, *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw Hill, N. York: In: Chow, V., Ed., .

USGS. (14 de 09 de 2025). *USGS Services for Changing World*.  
Obtenido de <https://www.usgs.gov/>

Vázquez Rodríguez, A. (2015). SIG y realidad: Inundaciones en As Pontes de García Rodríguez (A Coruña). *SÉMATA, Ciencias Sociais e Humanidades*, vol. 27: 69-94. Obtenido de <https://revistas.usc.gal/index.php/semata/article/view/2448>

Wang, M., Zhu, H., Yao, J., Hu, L., Kang, H., & Qian, A. (2025). Evaluación de riesgos de inundaciones a gran escala: un enfoque basado en datos multifuente. *Sustainability*, 17(11), 1-24. doi:<https://doi.org/10.3390/su17115133>

worldwildlife.org. (27 de 09 de 2025). <https://www.worldwildlife.org>.  
Obtenido de <https://www.worldwildlife.org>:  
<https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/en-que-consisten-las-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-y-como-pueden-ayudarnos-a-enfrentar-el-cambio-climatico>



**Evaluación de la amenaza de inundación aproximaciones metodológicas a escala local, se publicó en el mes de diciembre de 2025.**

**ISBN: 978-9907-0-0496-0**

**Grupo Editorial BLR  
Ecuador  
Cel: +593 98 320 4362  
[https://grupobl.com/  
publicaciones@grupobl.com](https://grupobl.com/publicaciones@grupobl.com)**

# BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

---

## **José Abelardo Paucar Camacho:**

Profesor e Investigador en la Universidad Estatal de Bolívar, carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres, con 27 años de experiencia, director de carrera, director o coordinador de proyectos de investigación y vinculación, publicaciones científicas, ponente en congresos científicos y consultor en el área de gestión de riesgos de desastres, desarrollo local, ordenamiento territorial y ambiente.

## **María Tránsito Vallejo Ilijama:**

Profesor investigador en la Universidad Estatal de Bolívar, carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres, directora de proyectos de investigación y vinculación, publicaciones científicas, ponente en congresos científicos, facilitadora de talleres de capacitación en instituciones públicas y privadas en el área de recursos hídricos, medio ambiente y producción agropecuaria.

## **Numa Inain Gaibor Velasco:**

Magister En Gestión De Riesgos Mención Manejo De La Respuesta A Desastres, colaboró con el MSP en 2020 en el análisis de la COVID-19 mediante mapeo de contagios y evaluación de instalaciones para el GAD parroquial de Bilován. Actualmente, se desempeña como Profesor investigador en la Universidad Estatal de Bolívar, carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres, desarrollando proyectos de investigación y vinculación en gestión de riesgos y resiliencia comunitaria.

## **Luis Hernán Villacis Taco:**

Profesor e Investigador de pregrado y posgrado en la Universidad Estatal de Bolívar, en la parte académica ha participado como director de proyectos de investigación, publicaciones científicas, ponente en congresos científicos y en el ámbito privado consultor en el área de geomática, planificación y ordenamiento territorial.

# EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN. APROXIMACIONES METODOLÓGICAS A ESCALA LOCAL

---

**Estimado lector**, este libro aborda la evaluación precisa y oportuna de las amenazas de inundación en el contexto de la intensificación de fenómenos naturales y la vulnerabilidad de las comunidades, siendo una herramienta crucial para la gestión sostenible del territorio, especialmente en Ecuador, dada su diversidad climática y geográfica.

La obra ofrece una guía técnica rigurosa y aplicada que conduce a profesionales de hidrología y gestión de riesgos a través de metodologías innovadoras para la evaluación a escala local. Esto incluye la integración de fundamentos hidrológicos, análisis morfométricos de cuencas, modelación hidrológica y evaluación de vulnerabilidades.

Su enfoque es multidisciplinario y contextualizado, reconociendo la interacción entre factores naturales y humanos. La articulación de métodos técnicos con Sistemas de Información Geográfica (SIG) y software de modelación es vital para diseñar estrategias de mitigación que protejan vidas, bienes y ecosistemas. El libro se convierte así en un aporte significativo para la academia, gestores públicos y comunidades, motivando una gestión adaptativa, resiliente y responsable frente a este ineludible reto ambiental.

Agradecemos a todos los lectores que se acercan a esta obra con ánimo de aprender, aplicar y transformar.



Grupo Editorial BLR  
Ecuador  
Cel: +593 98 320 4362  
[https://grupobl.com/  
publicaciones@grupobl.com](https://grupobl.com/publicaciones@grupobl.com)

ISBN: 978-9907-0-0496-0



9 789907 004960