



Evaluación del riesgo de desastres (ERD) y cambio climático

Definición de obras de control y mitigación contra las inundaciones en el Valle del Sula, Honduras

Febrero 2024

iPresas Risk Analysis

Plaza Semana Santa Marinera 2, 3º pta. 3

46011 – Valencia

Tel.: (+34) 960 083 245

www.ipresas.com

ÍNDICE DEL DOCUMENTO

1.	Introducción y alcance de los trabajos	8
2.	Resumen de la información previa revisada.....	9
2.1.	Datos generales sobre amenaza de riesgos naturales.....	10
2.2.	Caracterización general de la zona de estudio	11
2.3.	Eventos ETA-IOTA (noviembre de 2020)	13
2.4.	Precipitación e hidrología	14
2.5.	Comportamiento hidráulico del sistema.....	17
2.6.	Visita técnica.....	20
3.	Resumen de los estudios realizados en el marco de la Operación	24
4.	Propuestas planteadas de obras de mitigación.....	31
4.1.	Ampliación del Canal Maya	31
4.2.	Ampliación del Canal Marimba.....	32
4.3.	Ampliación del Canal Campín.....	33
4.4.	Ampliación de la quebrada Chasnigua	33
4.5.	Dragado del río Chamelecón.....	34
5.	Contexto legislativo nacional en materia de riesgo de desastres	35
6.	Cumplimiento con el Marco de Política Ambiental y Social del BID (MPAS).....	37
7.	Evaluación cualitativa y cuantitativa del riesgo de desastres.....	39
7.1.	Paso 1. Amenazas naturales.....	39
7.2.	Paso 2. Criticidad y vulnerabilidad	39
7.3.	Clasificación obtenida tras Fase 1.....	41
7.4.	Paso 3. Evaluación cualitativa simplificada del riesgo (Narrativa)	41
7.5.	Paso 4. Evaluación cualitativa completa del riesgo	43
7.6.	Clasificación obtenida tras Fase 2.....	47
7.7.	Paso 5. Análisis cuantitativo	47
8.	Seguimiento de la MERDCC y conclusiones principales	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Longitud de los canales del sistema hidráulico del Valle de Sula.	19
Tabla 2. Resumen de las amenazas naturales identificadas para los canales de alivio. Fuente: Bases de datos públicas y publicaciones oficiales.	39
Tabla 3. Clasificación de Modos de Fallo para obras de protección frente a inundaciones en el Valle de Sula. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).	45
Tabla 4. Resumen y planning de propuestas de mejora realizadas a partir de los modos de fallo identificados. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).	46
Tabla 5. Resultados de riesgo para el caso base (sin obras) según predominancia hidrológica de ríos.	47
Tabla 6. Resultados de riesgo para el escenario con obras según predominancia hidrológica de ríos.	48
Tabla 7. Reducción porcentual del riesgo al ejecutar las obras respecto al escenario sin obras.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aspectos revisados durante la sesión de revisión de información.	9
Figura 2. Mapa de índice de riesgo por área. Fuente: Cambio climático y la gestión de desastres (BID, 2016).	10
Figura 3. Distribución por tipo de evento en Honduras. Fuente: Evaluación de daños y pérdidas causadas por las tormentas tropicales ETA e IOTA (CEPAL, 2021).	11
Figura 4. Municipios y Modelo Digital de Elevaciones del Valle de Sula.	12
Figura 5. Localización de las principales poblaciones y de los ríos Chamelecón y Ulúa en el Valle de Sula. ...	13
Figura 6. Imagen aérea de una colonia inundada durante los eventos de noviembre de 2020. Fuente: Diario “Diez” (Honduras).	14
Figura 7. Mapa de precipitación acumulada anual en Honduras.	15
Figura 8. Mapa de precipitación acumulada durante ETA. Fuente: CENAOS (COPECO, 2020).	15
Figura 9. Fotografía aérea de “El Cajón” desde aguas arriba. Fuente: Diario “La Prensa” (Honduras).	16
Figura 10. Mapa de Susceptibilidad a Inundaciones en el Municipio de San Pedro Sula. Fuente: COPECO, 2016.	17
Figura 11. Sistema hidráulico de ríos y canales del Valle de Sula.	18
Figura 12. Sistema hidráulico de ríos y canales del Valle de Sula. Fuente: Elaboración propia.	19
Figura 13. Canal Chotepe- Filopo.	20
Figura 14. Canal Maya.	21
Figura 15. Canal Marimba (izquierda) y Canal Campín (derecha).	21
Figura 16. Canal García.	22
Figura 17. Canal Martínez, aguas abajo de la confluencia del canal La Fragua y el canal García.	22
Figura 18. Canal Tibombo.	23
Figura 19. Canal La Fragua en su conexión con el río Ulúa.	23
Figura 20. Resultados de simulación de ETA en San Pedro Sula y La Lima. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).	24
Figura 21. Área afectada de La Lima para los diferentes escenarios en %. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).	25
Figura 22. Área afectada de El Progreso para los diferentes escenarios en %. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).	25
Figura 23. Levantamiento topográfico actualizado del canal Maya por parte de la UNAH. Fuente: Presentación de avance de trabajos N° 4.	26
Figura 24. Mapa de zonificación actualizado por parte de la UNAH. Fuente: Presentación de avance de trabajos N° 4.	27

Figura 25. Hidrogramas del río Chamelecón en la estación El Tablón para una tormenta de diseño de 72 horas de duración para diferentes períodos de retorno. Fuente: Producto 3.1. Actualización Modelización hidrológica e hidráulica (iPresas, 2023).	27
Figura 26. Mancha de inundación y mapa de amenaza en los municipios de La Lima y San Manuel para una recurrencia de 10 años.	28
Figura 27. Inundación y viviendas afectadas sin obras en el municipio del Progreso para una recurrencia de 10 años.	28
Figura 28. Inundación y viviendas afectadas sin obras en el municipio del Progreso para una recurrencia de 50 años con cambio climático.	29
Figura 29. Metodología general para estimar la pérdida de vidas por inundación. Fuente: Producto 3.2. Estimación de consecuencias y análisis de riesgo (iPresas, 2023).	29
Figura 30. Arquitectura del modelo de riesgo. Fuente: Producto 3.2. Estimación de consecuencias y análisis de riesgo (iPresas, 2023).	30
Figura 31. Alternativas de obras propuestas para la disminución del riesgo de inundación en el Valle de Sula.	31
Figura 32. Vista en corte de la Ampliación del Canal Maya.	32
Figura 33. Vista en corte de la Ampliación del Canal Marimba.	32
Figura 34 Localización de la obra de mejoramiento de la toma del canal Marimba.	33
Figura 35. Vista en corte de la Ampliación del Canal Campín.	33
Figura 36. Vista en corte de la Ampliación del quebrada Chasnigua.	34
Figura 37. Localización del tramo del río Chamelecón propuesto para su dragado.	34
Figura 38. Esquema general del Sistema Nacional de Inversión Pública de Honduras. Fuente: Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo de América Latina y el Caribe.	36
Figura 39. Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático (BID, 2019).	37
Figura 40. Cubo de criticidad para obras de agua y saneamiento. Fuente: Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastre y Cambio Climático para proyectos del BID (BID, 2019).	40
Figura 41. Resumen de modos de fallo identificados. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).	44
Figura 42. Resumen de clasificación de modos de fallo. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).	45
Figura 43. Arquitectura del modelo de riesgo.	47
Figura 7.44. Riesgo social en vidas/año para cada uno de los municipios en función de cada uno de los escenarios considerados.	48
Figura 7.45. Riesgo social en personas afectadas/año para cada uno de los municipios en función de cada uno de los escenarios considerados.	49
Figura 7.46. Riesgo económico en millones de \$USD/año para cada uno de los municipios en función de cada uno de los escenarios considerados.	49
Figura 7.47. Gráfico FN de población afectada para el escenario tendencial (cambio climático y proyección de población) con predominancia del río Ulua y el escenario actual. En ambos escenarios sin y con obras.	50

Figura 7.9. Gráfico FN de pérdida de vida para el escenario tendencial (cambio climático y proyección de población) con predominancia del río Ulua y el escenario actual. En ambos escenarios sin y con obras..... 50

Figura 7.49. Gráfico FD de consecuencias económicas para el escenario tendencial (cambio climático y proyección de población) con predominancia del río Ulua y el escenario actual. En ambos escenarios sin y con obras. 51

1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS

El presente proyecto denominado “Definición de obras de control y mitigación contra las inundaciones en el Valle del Sula, Honduras” se enmarca en el Contrato HO-T1424-P001 ejecutado por Ingeniería de Presas (iPresas) para el Banco Interamericano de Desarrollo, como parte de la cooperación técnica No. ATN/OC-20042-HO denominada “Apoyo a la recuperación resiliente de Honduras tras la tormenta tropical Julia”.

El **objetivo general** del proyecto consiste en definir soluciones definitivas de corto plazo para controlar y reducir el riesgo del efecto de inundaciones provocadas por eventos extremos en el Valle de Sula, Honduras. En especial, se estudiará la mitigación en las principales áreas urbanas e infraestructura crítica del Valle como San Pedro Sula, La Lima y El Progreso, además del Aeropuerto Internacional Ramón Villeda Morales.

En concreto, los **objetivos específicos** de la consultoría son:

- Actualización del estudio y la modelización hidráulica bidimensional del sistema compuesto por los ríos Ulúa y Chamelecón en el valle del sula, así como por los canales interconectados a los cauces naturales y las obras de protección contra inundación existentes.
- Análisis de la amenaza a partir de los mapas de inundación correspondientes a los escenarios actuales y futuros evaluados para el sistema, incluyendo resultados de calado, velocidad, tiempos de llegada y tiempos de permanencia de la lámina de agua.
- Estimación de las consecuencias sociales y económicas en la zona de estudio.
- Evaluación cuantitativa del riesgo de inundación a partir de un modelo de riesgo que integre toda la información analizada, combinando los resultados de amenaza, exposición y vulnerabilidad del sistema.
- Análisis costo-beneficio para la evaluación de alternativas y medidas de mitigación, para definir la solución final y la secuencia óptima de actuaciones a llevar a cabo para minimizar el riesgo.

El contrato establece las siguientes responsabilidades para la ejecución del proyecto:

- La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras será responsable de realizar el levantamiento de información de campo para esta consultoría y la elaboración de los presupuestos de las obras.
- La firma internacional deberá coordinarse con Universidad, que servirá como apoyo en el terreno a la firma internacional.
- La lista preliminar de las obras a modelar será propuesta por la Secretaría de Infraestructura y Transporte.

El presente documento tiene por objeto realizar la **evaluación de riesgos de desastre** de las obras de defensa contra inundaciones planteadas en el Valle de Sula, siguiendo para ello los lineamientos de la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático (BID, 2019). En caso de que en un futuro se planteen obras de tipología diferentes a las que se evalúan en el presente documento, sería necesario repetir el proceso con tal de evaluar los riesgos de manera simplificada de estas nuevas obras propuestas.

Antes de realizar la propia evaluación de riesgos de desastre de las obras planteadas (Apartado 7), se realiza un resumen de la información revisada (Apartado 2), un breve resumen de los estudios realizados dentro del marco de la Operación (Apartado 3) y también se detallan las obras de control frente a inundaciones que se han planteado dentro de la presente Operación (Apartado 4). A su vez, se resume el contexto legislativo nacional en materia de gestión de riesgo de desastres (Apartado 5) y se presenta la metodología seguida para la elaboración de la presente evaluación de riesgo (Apartado 6).

2. RESUMEN DE LA INFORMACIÓN PREVIA REVISADA

La revisión de la información disponible permite conocer detalles vitales de cara a la propia evaluación de riesgos naturales en la zona de actuación, el análisis de la precipitación e hidrología, el funcionamiento hidráulico del sistema y la descripción de las obras planteadas. De manera complementaria, antes de finalizar esta sección se realizó un recorrido virtual por el cauce de los ríos Ulúa y Chamelecón donde se visualizaron imágenes con los daños reportados y ubicados por parte del equipo de ingenieros de la CCIVS. Esta revisión detallada se realizó durante la sesión del día 16 de febrero de 2021 y se dividió en diferentes apartados, tal y como se muestra en la Figura 1. En el siguiente apartado se detalla la principal información revisada para cada uno de estos aspectos.

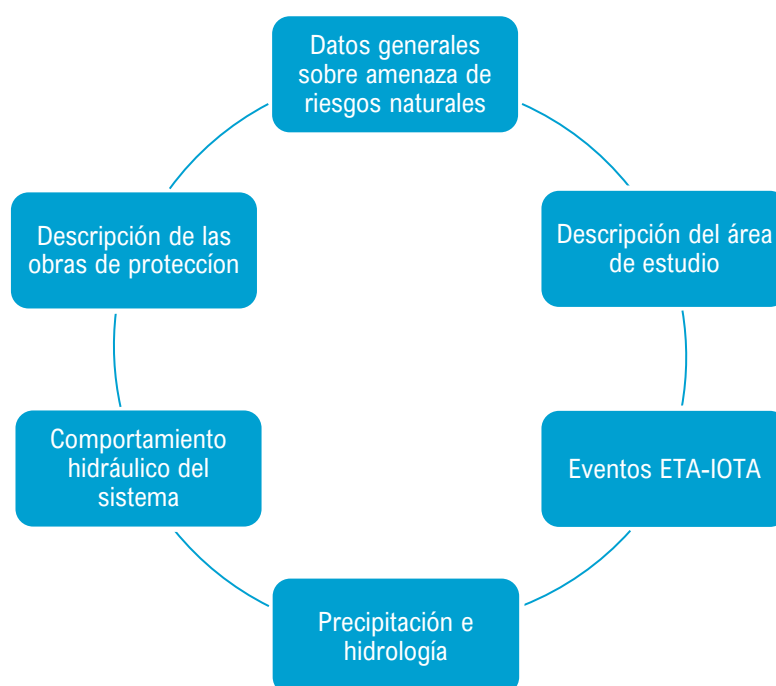


Figura 1. Aspectos revisados durante la sesión de revisión de información.

Los principales documentos consultados durante la revisión de la información son los siguientes:

- CCIVS (2021) – Informe de daños a la infraestructura hidráulica del Valle de Sula causado por el paso de los huracanes ETA-IOTA.
- CCIVS (2021) – Propuestas proyectos.
- CCIVS (2021) – Especificaciones y funcionamiento de canales de alivio.
- COPECO (2016) – Estudios hidrológico-hidráulicos de los municipios de El Progreso, La Lima, Morazán, Pimienta, Santa Rita y San Pedro Sula.
- UNAH (2019) – Actualización preliminar de los umbrales de alerta por inundación de río Chamelecón en ciudad La Lima, Cortés, para el período de observación 2010-2018.
- CEPAL (2021) – Evaluación de daños y pérdidas causadas por las tormentas tropicales ETA e IOTA.
- BID (2019) – Perfil de Riesgo de Desastres por Sequía: El Salvador, Guatemala y Honduras.
- BID (2012) – Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos de Honduras.

- FHIS (2000) – Manual de Referencias Hidrológicas para el Diseño de Obras de Drenaje Menor.
- ENEE (2020) – Comunicados por parte de la Comisión Interventora de la ENEE y publicaciones en medios oficiales sobre la gestión de la central hidroeléctrica Francisco Morazán (“El Cajón”).

2.1. Datos generales sobre amenaza de riesgos naturales

Honduras es un país ubicado en América Central con una población de alrededor de 9.4 millones de habitantes y un PIB de aproximadamente 25 mil millones de dólares (2019). El país se encuentra en una zona de alto riesgo de desastres naturales (Figura 2).



Figura 2. Mapa de índice de riesgo por área. Fuente: Cambio climático y la gestión de desastres (BID, 2016).

Honduras enfrenta múltiples amenazas naturales, como sequías, inundaciones, descargas eléctricas, tornados, tormentas tropicales y terremotos (Figura 3). El terremoto se considera la amenaza más grave debido a su baja probabilidad de ocurrencia pero alto impacto. Las inundaciones y tormentas afectan a gran parte del territorio debido a las lluvias intensas, especialmente en áreas montañosas y costeras.

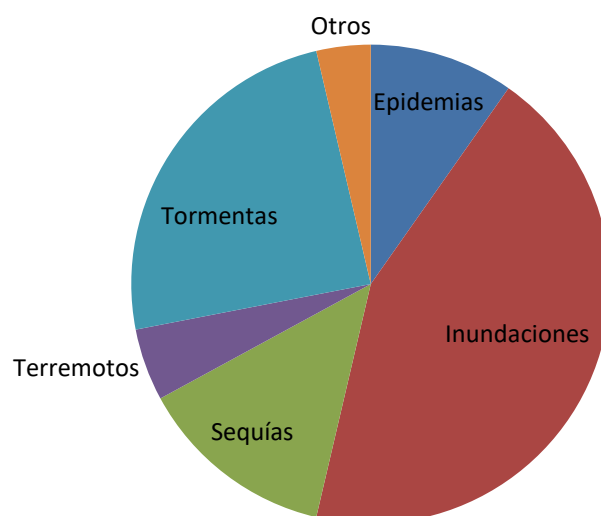


Figura 3. Distribución por tipo de evento en Honduras. Fuente: Evaluación de daños y pérdidas causadas por las tormentas tropicales ETA e IOTA (CEPAL, 2021).

El país también enfrenta un alto riesgo económico ante desastres, con un Índice de Déficit por Desastre (DDI) que muestra una brecha financiera significativa en caso de eventos catastróficos. De hecho tiene la mayor brecha financiera entre los países latinoamericanos estudiados en un evento de desastre natural que ocurre en promedio cada 100 años.

En resumen, Honduras enfrenta amenazas naturales graves y recurrentes, lo que ha resultado en pérdidas significativas en términos humanos y económicos. Estos riesgos podrían intensificarse con el cambio climático si no se toman medidas adecuadas para abordar la vulnerabilidad del país.

2.2. Caracterización general de la zona de estudio

El área de estudio comprende la extensión del **Valle de Sula**, con una superficie aproximada de 2 400 Km², localizado al noroeste de Honduras, en la cual se desarrolla la parte baja de las cuencas del **río Chamelecón y del río Ulúa**, cuyos cauces desembocan al Mar Caribe.

El Valle de Sula abarca territorio de tres departamentos: Cortés, Yoro y Atlántida, formando parte de los municipios de Puerto Cortés, Tela, Choloma, El Negrito, El Progreso, La Lima, Pimienta, Potrerillos, San Manuel, San Pedro Sula, Villanueva, San Antonio de Cortés, Santa Cruz de Yojoa, San Francisco de Yojoa y Santa Rita, tal como se detalla en la Figura 4.

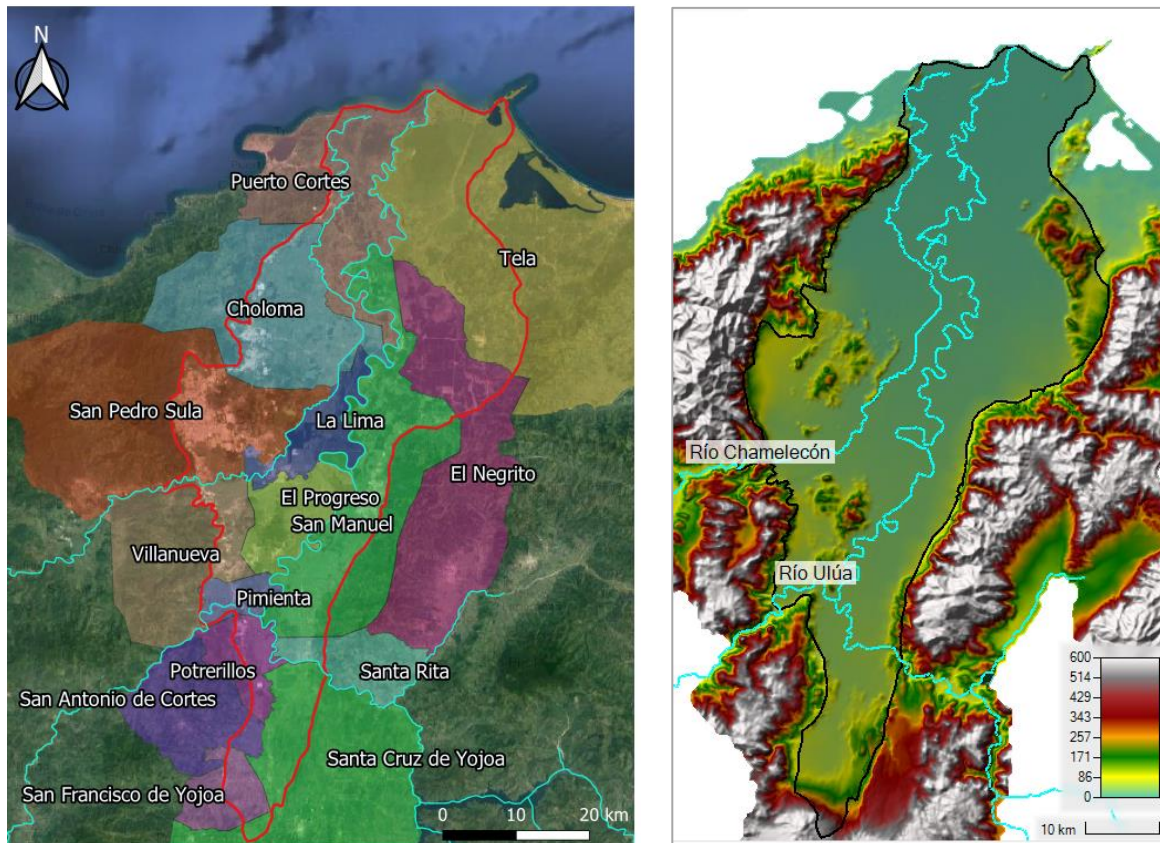


Figura 4. Municipios y Modelo Digital de Elevaciones del Valle de Sula.

El área de estudio se trata de un **área susceptible a continuas inundaciones**, especialmente en la época lluviosa que abarca el período de junio a septiembre, debido principalmente a su plana orografía.

Los ríos Ulúa y Chamelecón forman parte de la red hídrica principal de Honduras, siendo parte de las corrientes más importantes del país tanto en extensión y área de influencia como en caudal y volumen. La cuenca del río Ulúa se extiende en una superficie de 21 725 Km², mientras que la cuenca del río Chamelecón comprende una superficie de 4 435 Km². Ambas cuencas poseen en conjunto un área de 26 456 Km², lo que representa de manera estimada un 23,5% de la superficie total del país. La Figura 5 muestra el recorrido de ambos ríos durante su transcurso por el Valle de Sula, resaltando además los principales centros poblados.

Desde el punto de vista económico, el Valle de Sula se reconoce como el “motor” del país generándose en su territorio aproximadamente el **60 % del Producto Interior Bruto (PIB)** de Honduras y representando el 50% de las exportaciones a nivel nacional. Este desarrollo económico viene fuertemente marcado por la actividad agrícola, siendo sus rubros más representativos el cultivo de banano, caña de azúcar, palma africana (o palma aceitera) y granos básicos.

Desde el prisma social, el Valle cuenta con algunos de los municipios y localidades más poblados de Honduras, habitando en él un total estimado de **2 millones de personas**, más del 20 % de la población total del país. Entre las localidades más habitadas¹ e importantes se encuentran San Pedro Sula (Cortés) con 777,877, Choloma (Cortés) con 262,186, El Progreso (Yoro) con 196,884, Puerto Cortés (Cortés) con

¹ Datos extraídos de los “Indicadores Municipales” de 2018 del INE.

131,981 y La Lima (Cortés) con 80,404. En la Figura 5 se muestra la ubicación de estas localidades y de aquellos núcleos poblados con más de 10,000 habitantes.



Figura 5. Localización de las principales poblaciones y de los ríos Chamelecón y Ulúa en el Valle de Sula.

2.3.Eventos ETA-IOTA (noviembre de 2020)

La temporada de huracanes en 2020 fue la más activa registrada en la región, con un total de 30 tormentas con nombre, incluyendo 13 huracanes y 6 huracanes de mayor intensidad que el promedio anual.

El huracán ETA se formó el 31 de octubre y se disipó el 13 de noviembre. Tuvo un comportamiento errático con variaciones en su intensidad y se llegó a considerar de Categoría 4, causando lluvias torrenciales en Honduras y Nicaragua. Se declaró el Estado de Emergencia en varios departamentos y luego se extendió a nivel nacional hasta el 31 de diciembre.

ETA generó precipitaciones continuas durante 8 días, acumulando hasta 823 mm en algunas zonas de Honduras. Hubo discrepancias en los informes sobre las defunciones, con cifras que oscilaron entre 60 y 125 personas muertas, afectando a cerca de 3 millones de personas. También causó daños significativos en viviendas, carreteras, escuelas y puentes.

El huracán IOTA se originó el 13 de noviembre y se disipó el 18 de noviembre. Se consideró de Categoría 5 con fuertes vientos y lluvias concentradas en Nicaragua y Honduras. IOTA causó al menos 14 muertes y dañó miles de viviendas, carreteras y puentes, con acumulados de precipitación de hasta 312 mm.

En conjunto, ETA e IOTA afectaron a más de 4 millones de personas, causaron alrededor de 100 muertes y daños económicos por 52,099 millones de Lempiras (aproximadamente 2,137 millones de dólares

estadounidenses a febrero de 2021). Se destaca un cambio en la gestión de riesgos en Honduras después del huracán Mitch, con mejoras en ética, conciencia y preparativos para emergencias.



Figura 6. Imagen aérea de una colonia inundada durante los eventos de noviembre de 2020. Fuente: Diario “Diez” (Honduras)².

2.4. Precipitación e hidrología

La **pluviometría** de Honduras varía significativamente debido a su topografía montañosa. Las áreas costeras en el Caribe y el Pacífico experimentan lluvias cuantiosas, mientras que las zonas centrales del país tienen una disminución drástica de la lluvia. La estacionalidad de las lluvias en Honduras se divide en la estación lluviosa de junio a septiembre y el período seco de octubre a mayo.

El mapa de precipitación anual () muestra acumulaciones máximas de alrededor de 3,000 mm en el sur del país, mientras que la costa caribeña y el norte tienen precipitaciones importantes de alrededor de 2,000-2,200 mm. En el centro y oeste del país, las precipitaciones anuales promedian alrededor de 1,200 mm.

Los mapas de precipitación mensual acumulada muestran que las cuencas Ulúa y Chamelecón registran precipitaciones de alrededor de 210 mm y 230 mm, respectivamente, durante el mes más lluvioso.

Durante los huracanes ETA e IOTA, se registraron lluvias significativas en diferentes partes del país. ETA generó lluvias acumuladas de hasta 823 mm en la estación de Tela, mientras que IOTA alcanzó un máximo de 312 mm en la estación de La Ceiba.

¹³ <https://www.diez.hn/fotogalerias/1423352-499/iota-honduras-destruccion-fotografias-valle-de-sula-lalima-chamelecon-planeta?i=7>

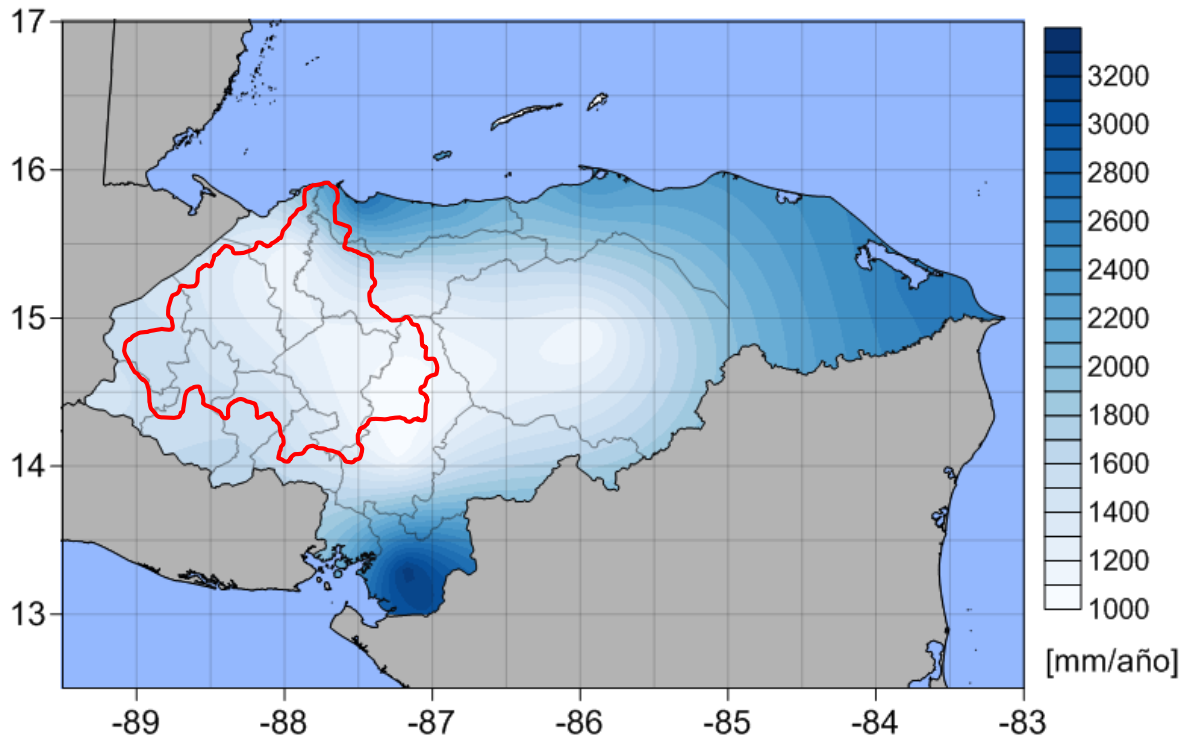


Figura 7. Mapa de precipitación acumulada anual en Honduras.

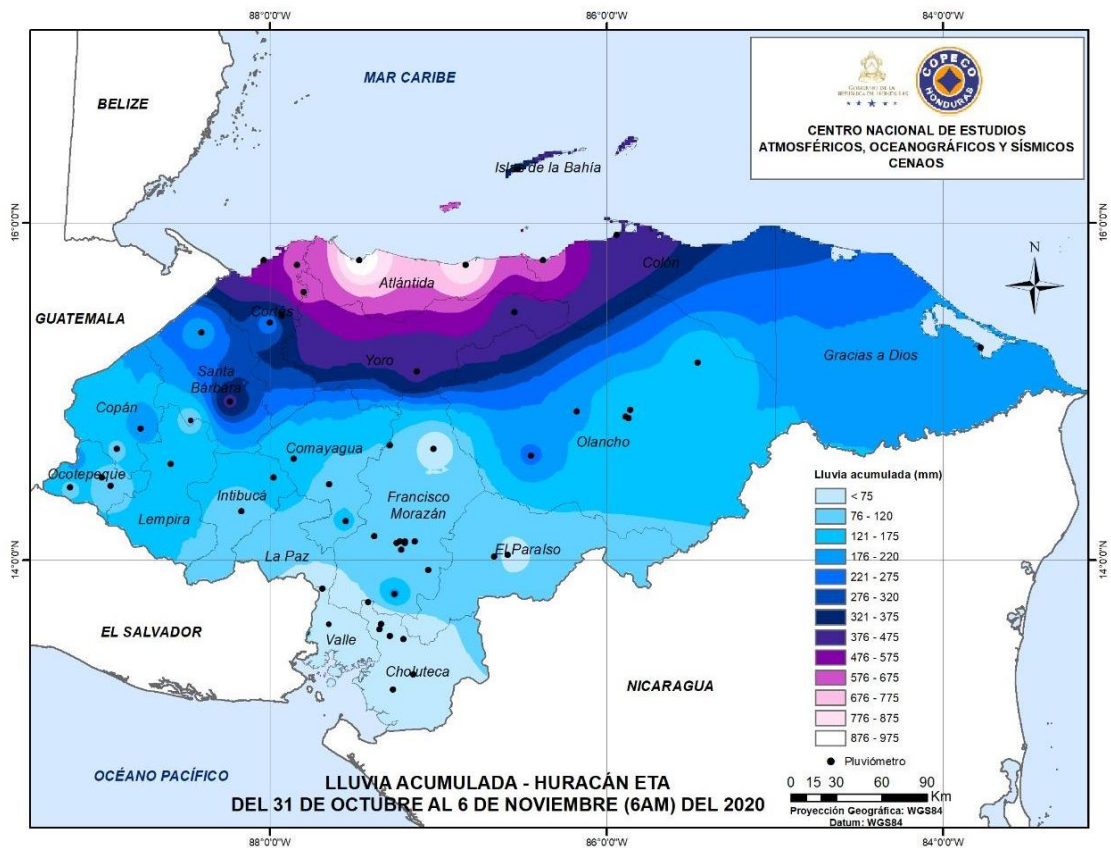


Figura 8. Mapa de precipitación acumulada durante ETA. Fuente: CENAOS (COPECO, 2020).

En términos de porcentaje, ETA contribuyó en gran medida a las precipitaciones mensuales y anuales en las cuencas Ulúa y Chamelecón, superando el mes más lluvioso y representando más del 15% de las precipitaciones anuales en la cuenca del Ulúa. IOTA, aunque también significativo, contribuyó menos en términos de porcentaje. Se observa que la cuenca del río Chamelecón experimentó valores más altos de precipitación que la cuenca del río Ulúa durante ambos huracanes.

La **Central Hidroeléctrica Francisco Morazán** (Figura 9), también conocida como "El Cajón", se ubica en el noroeste de Honduras en el interior de la cuenca media del río Ulúa. El embalse creado por la presa se extiende sobre una superficie de 94 km², con una capacidad de almacenamiento total de 5,700 Hm³ y una capacidad útil de 4,200 Hm³. Tiene su propósito, entre otros, en el control de inundaciones aguas abajo, especialmente en el Valle de Sula.



Figura 9. Fotografía aérea de "El Cajón" desde aguas arriba. Fuente: Diario "La Prensa" (Honduras)³.

En 2016, COPECO realizó diversos **estudios hidrológicos-hidráulicos** para varios municipios del Valle de Sula, que tenían como objetivo principal proporcionar herramientas para el ordenamiento territorial y la mitigación del impacto económico y social causado por inundaciones.

Estos estudios incluyeron la definición de las áreas propensas a inundaciones y estimaciones hidrológicas-hidráulicas para eventos con períodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Los municipios estudiados incluyeron El Progreso, La Lima, San Pedro Sula, Pimienta y Santa Rita.

- Municipio de El Progreso: El mapa de susceptibilidad a inundaciones muestra que la mayor parte del territorio de El Progreso es susceptible a inundaciones con alta frecuencia.

³ <https://www.laprensa.hn/economia/933025-410/p%C3%A9rdidas-en-el-caj%C3%B3n-se-reducen-en-10-millones-de-lempiras>

- Municipio de La Lima: Al igual que El Progreso, La Lima también tiene una alta susceptibilidad a inundaciones en la mayoría de su territorio.
- Municipio de San Pedro Sula: San Pedro Sula, la ciudad más grande del Valle de Sula, también es altamente susceptible a inundaciones en gran parte de su área (Figura 10).

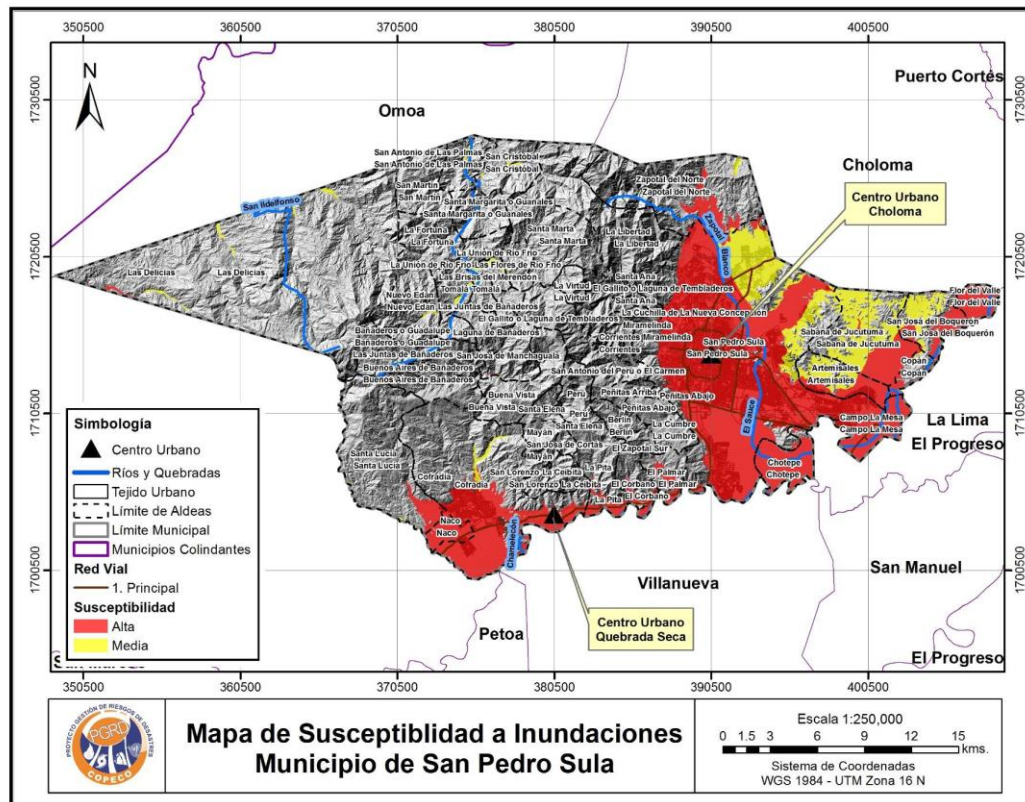


Figura 10. Mapa de Susceptibilidad a Inundaciones en el Municipio de San Pedro Sula. Fuente: COPECO, 2016.

Los mapas indican que el Valle de Sula en su conjunto es una región con alta susceptibilidad a inundaciones debido a su ubicación geográfica y características topográficas. Además, se proporcionan antecedentes históricos de inundaciones en estos municipios, lo que revela que las inundaciones son eventos recurrentes en la región. En promedio, El Progreso experimenta inundaciones cada 5 años, La Lima cada 2 años y San Pedro Sula cada 2.5 años, lo que respalda la consideración de estas áreas como propensas a inundaciones.

2.5. Comportamiento hidráulico del sistema

El sistema hidráulico del Valle de Sula resulta ser **extenso, complejo, dinámico y con un alto componente de antropización**. Como se ha mencionado en el apartado anterior, está regido principalmente por el curso de dos cauces naturales, el río Ulúa y el río Chamelecón que discurren por el Valle por 190 Km y 110 Km de longitud respectivamente, con una escasa pendiente promedio de 0.4% aproximadamente. Pese a que estos cauces no confluyen naturalmente en ningún punto del Valle y desembocan en dos puntos distanciados 9 Km en la costa del Mar Caribe, están interconectados por una amplia red de canales artificiales, como se observa en la Figura 11, cuyo funcionamiento hidráulico y dirección de flujo varía en función de los niveles de los ríos, lo que complejiza el análisis del sistema y la simulación de su respuesta frente a las crecidas que puedan transitar por uno o ambos ríos principales.

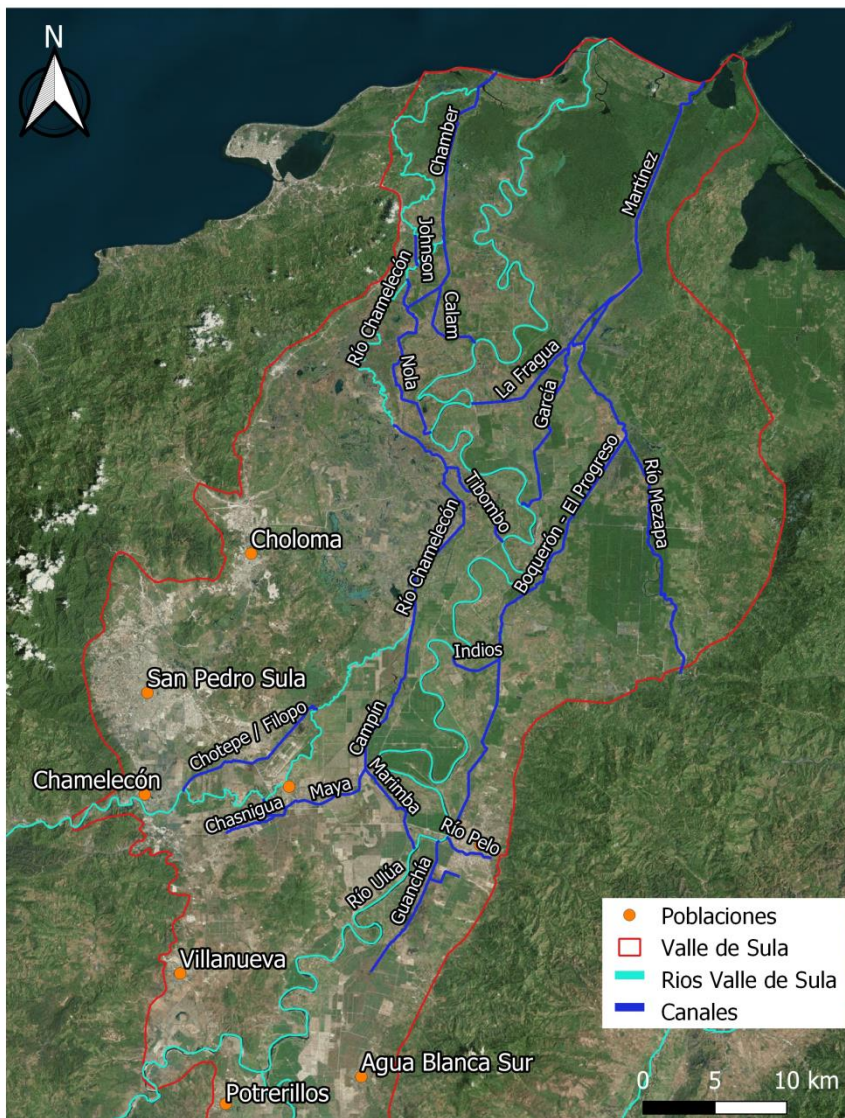


Figura 11. Sistema hidráulico de ríos y canales del Valle de Sula.

El sistema de canales abarca una longitud aproximada de 225 Km, distribuidos de acuerdo con la Tabla 1, siendo los más importantes para el alivio del río Chamelecón los canales Maya y Chotepe, y para el río Uluá los canales Marimba y Boquerón-El Progreso.

Canal	Longitud (Km)
Chotepe / Filopo	12.3
Maya	10.2
Chasnigua	3.96
Marimba	7.1
Campín	11.4
Los Indios	3.8
Canal Martínez	28.3
Canal Nola	14.8
Gualiqueme	6.4
Tibombo	8.6
Boquerón - El Progreso	32.6
Calam	6.2
Chamber	13.3
Johnson	2
La Fragua	8.4
García	13.4
Río Mezapa	27.6
Canal Guanchías	10.7
Río Pelo	3.7

Tabla 1. Longitud de los canales del sistema hidráulico del Valle de Sula.

Para entender el funcionamiento hidráulico del sistema y su incidencia en las principales poblaciones del Valle, se presenta a continuación un esquema con las conexiones existentes entre los cauces principales mediante los canales y su dirección preferente de flujo, de acuerdo con la pendiente topográfica del sistema. Es importante resaltar que algunos canales generan un alivio temporal, a manera de bypass o desvío provisional que devuelve el caudal detrás de aguas abajo del punto de toma y que la dirección de flujo de los canales puede variar en función de los caudales, causando remansos que modifican significativamente el funcionamiento esperado del sistema.

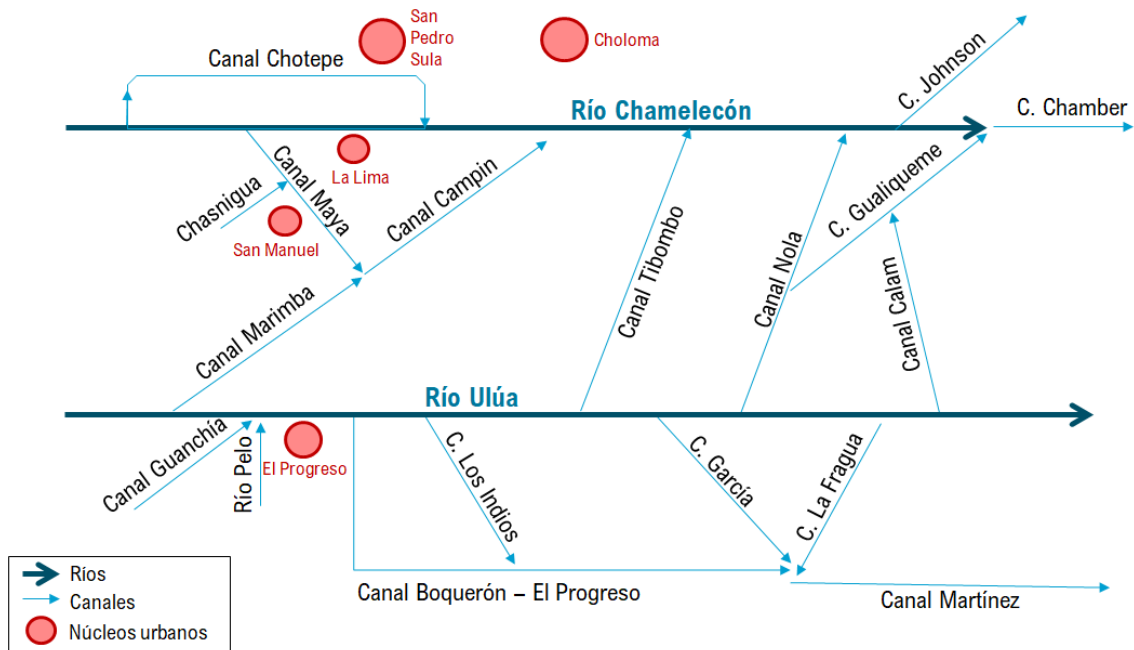


Figura 12. Sistema hidráulico de ríos y canales del Valle de Sula. Fuente: Elaboración propia.

Las recurrentes inundaciones que tienen lugar en la extensa planicie que conforma el Valle de Sula han motivado a lo largo de décadas la ejecución de diferentes obras en busca de protección de la zona frente a dichas inundaciones. Entre las infraestructuras hidráulicas que se construyeron destaca un extenso sistema de bordos de protección (diques longitudinales), con aproximadamente 900 Km distribuidos a lo largo de los cauces y canales.

2.6. Visita técnica

De acuerdo con la visita de campo realizada entre los días **24 y 28 de julio de 2023**, se pudo observar el estado actual de los canales artificiales del sistema, resaltando la falta de mantenimiento de la infraestructura hidráulica, evidenciada por la vegetación excesiva y el estado de sedimentación, que reduce la sección hidráulica disponible, obstruye y modifica las condiciones de flujo. A continuación se presenta el registro fotográfico y la descripción del estado de los principales canales visitados.

En la Figura 13 se observa el canal Chotepe-Filopo, a la izquierda la vista aguas arriba desde un puente localizado a 150 m de la toma desde el río Chamelecón y a la derecha la vista aguas abajo, donde se evidencia el tramo que está con un revestimiento en concreto en 1.7 Km aproximadamente de los 12.3 Km totales del canal. Existe algo de vegetación en las juntas del concreto que debería ser retirado, pero en general este tramo presenta una sección uniforme en buen estado.



Figura 13. Canal Chotepe- Filopo.

En la Figura 14 se muestra el canal Maya, a la izquierda una vista aguas abajo del canal desde un puente localizado 250 m aguas abajo de la toma desde el río Chamelecón y la fotografía de la derecha muestra el tramo medio del canal localizado a la altura de la zona industrial del municipio de La Lima, en ambas resalta el alto grado de vegetación de las bancas del canal y el estancamiento de las aguas, dada la baja pendiente del mismo.

La misma condición de alta vegetación en el lecho y bancas del canal se observa en la Figura 15 que muestra los canales Marimba y Campín, y en la Figura 16, en la cual se observa el canal García desde un puente localizado 1.2 Km aguas abajo de su conexión con el río Ulúa.



Figura 14. Canal Maya.



Figura 15. Canal Marimba (izquierda) y Canal Campín (derecha).



Figura 16. Canal García.

Algunas de las consecuencias de eventos de creciete pasadas se evidencian por ejemplo en la infraestructura de los puentes, en la Figura 17 se observa en la fotografía de la derecha el fallo de la estructura del puente sobre el canal Martínez, localizado 250 m aguas abajo de la confluencia de los canales La Fragua y García, y en la fotografía de la izquierda, la vista aguas abajo del puente, en la cual se observan algunos procesos erosivos.



Figura 17. Canal Martínez, aguas abajo de la confluencia del canal La Fragua y el canal García.

En la Figura 18 se presenta el estado de la toma del canal Tibombo desde el río Ulúa, en este caso se observa un amplio vertedero de derivación con revestimiento en concreto localizado en el bordo, que conecta el río al canal. En la fotografía de la derecha se observa el canal aguas abajo que presenta un alto grado de vegetación, inclusive arbórea, que reduce el área de la sección hidráulica y dificulta significativamente el avance del flujo.



Figura 18. Canal Tibombo.

La toma del canal La Fragua, tal como se observa en la Figura 19, consiste en una estructura de disipación escalonada con dientes deflectores y un cuenco de amortiguación al final, que permite una transición controlada del caudal derivado del río Ulúa al canal, disminuyendo su energía hidráulica, para entregar un flujo laminar con menor velocidad y capacidad erosiva, como se observa en la fotografía de la derecha.



Figura 19. Canal La Fragua en su conexión con el río Ulúa.

3. RESUMEN DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN

Durante el año **2021**, la consultora iPresas desarrolló un **estudio hidrológico** de las cuencas de los ríos Ulúa y Chamelecón, que se complementó con un **estudio hidráulico bidimensional** extendido por todo el Valle de Sula. A través de estas modelizaciones se lograron varios objetivos:

- Se caracterizó la precipitación en las cuencas y se entendió el comportamiento hidrológico y estadístico de estas, incluyendo la influencia y operación de la presa El Cajón.
- Se reprodujeron los eventos ETA e IOTA a nivel hidrológico e hidráulico (Figura 20), verificándose los resultados del modelo hidráulico con fotos y mediciones de los eventos.
- Se comprendió el funcionamiento hidráulico del sistema del Valle de Sula.
- Se generaron mapas de inundaciones para distintas recurrencias y escenarios en el Valle de Sula. Se estudiaron tres escenarios según el estado de las principales infraestructuras hidráulicas de la zona: bordos dañados y canales colmatados (situación tras ETA e IOTA), bordos reparados y canales colmatados, y bordos reparados y canales dragados. Los resultados mostraron que el dragado de los canales siempre ofrecía una reducción de las inundaciones (o efecto neutro en algunos casos), mientras que la reparación de bordos no siempre generaba una situación beneficiosa en algunas áreas (Figura 21 y Figura 22).

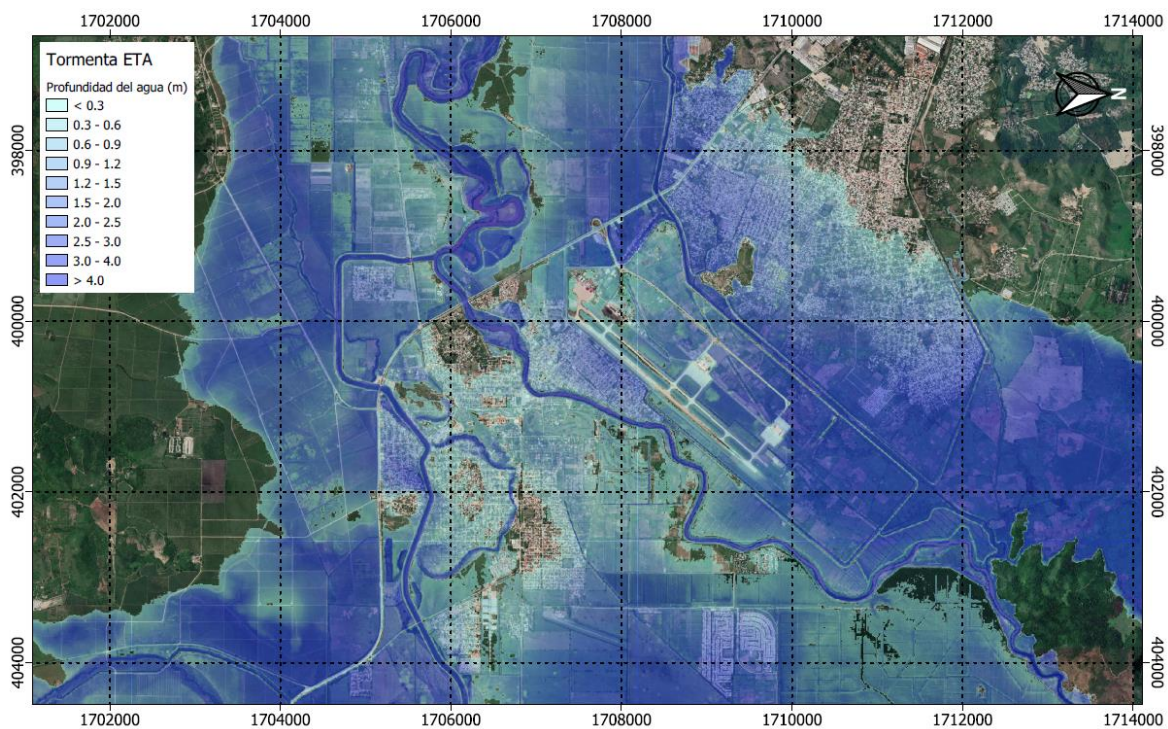


Figura 20. Resultados de simulación de ETA en San Pedro Sula y La Lima. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).

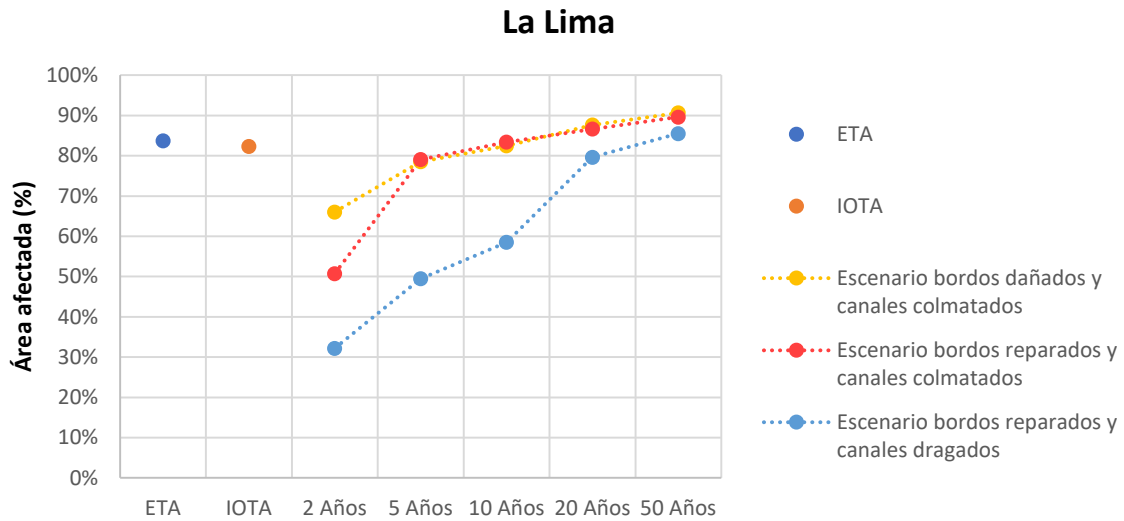


Figura 21. Área afectada de La Lima para los diferentes escenarios en %. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).

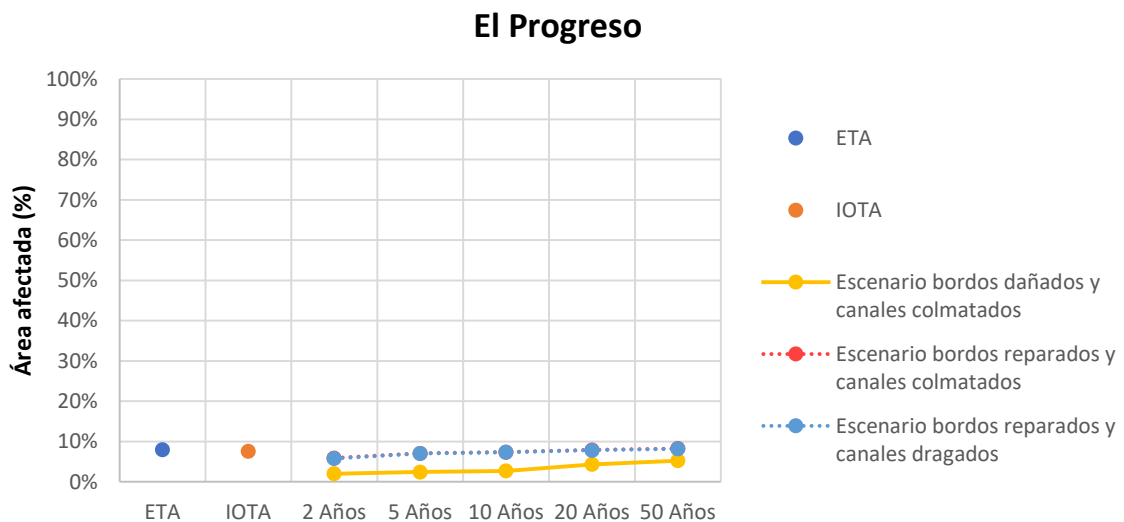


Figura 22. Área afectada de El Progreso para los diferentes escenarios en %. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).

A lo largo de **2023**, se firmó un nuevo contrato, continuista del anterior (2021) consistente en generar nueva información, partiendo de la base ya adquirida, que permitiera actualizar los estudios a fin de poder definir algunas obras de control de inundaciones que se pudiesen ejecutar en el corto plazo y cuya eficiencia en materia de reducción del riesgo de inundación en los municipios quedase plenamente justificada, sin aumentar las afectaciones a terceros.

Como se ha mencionado en la *Introducción* del presente documento, esta segunda fase reúne, además del BID, a tres instituciones que operan de manera simultánea y coordinada:

- La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) será responsable de realizar el levantamiento de información de campo para esta consultoría y la elaboración de los presupuestos de las obras (Figura 23 y Figura 24).
- La Secretaría de Infraestructura y Transporte propondrá la lista preliminar de obras a modelar (Apartado 4).
- iPresas, en coordinación con las anteriores instituciones, será responsable de modelizar hidráulicamente el efecto de las obras planteadas con anterioridad (modelización hidráulica bidimensional actualizada respecto a las del 2021) y de cuantificar dicho efecto en términos de riesgo, incluyendo la estimación de consecuencias (de la Figura 25 a la Figura 30) a través de un modelo de riesgo cuantitativo.

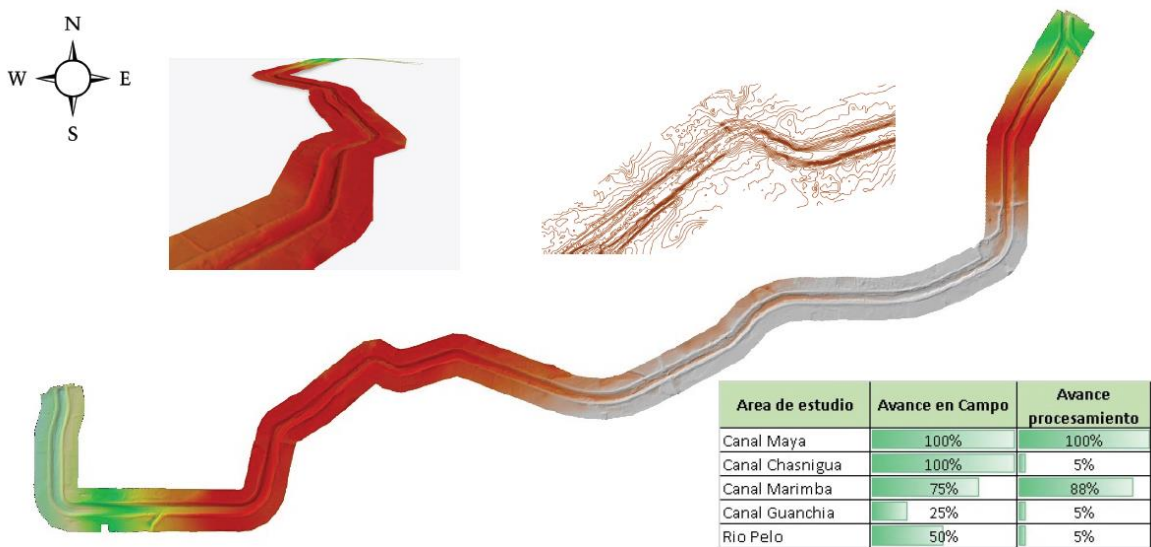


Figura 23. Levantamiento topográfico actualizado del canal Maya por parte de la UNAH. Fuente: Presentación de avance de trabajos N° 4.

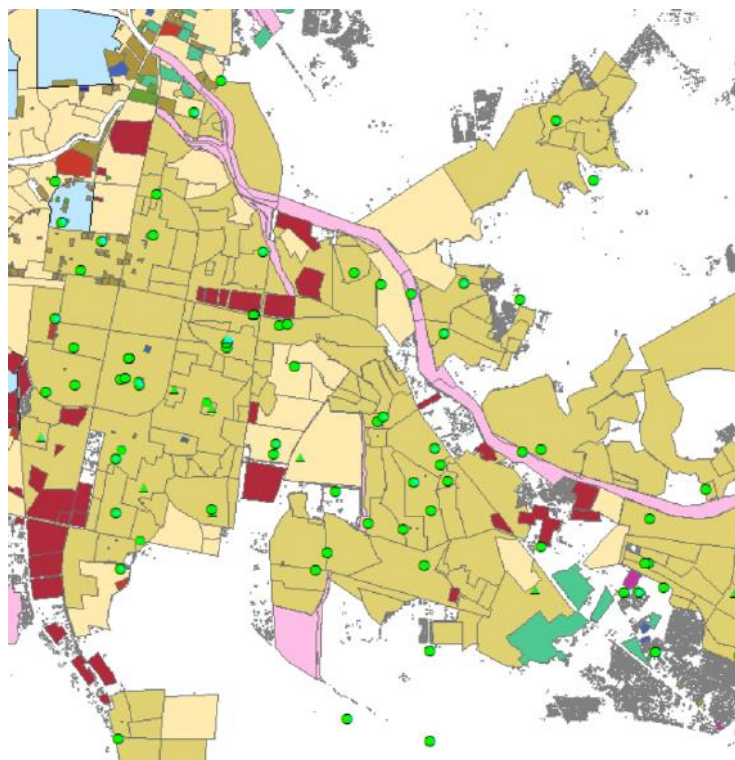


Figura 24. Mapa de zonificación actualizado por parte de la UNAH. Fuente: Presentación de avance de trabajos N° 4.

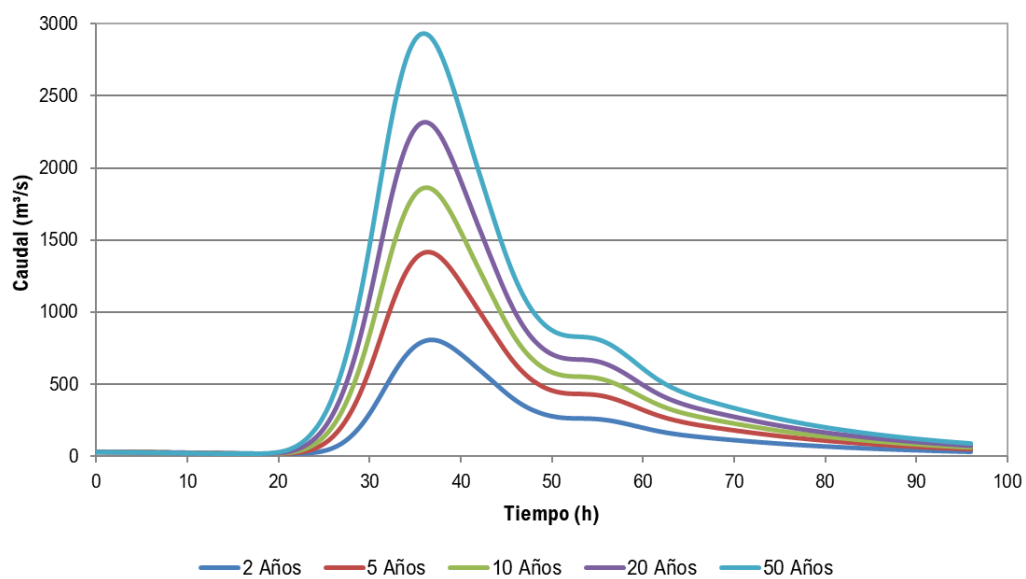


Figura 25. Hidrogramas del río Chamelecón en la estación El Tablón para una tormenta de diseño de 72 horas de duración para diferentes períodos de retorno. Fuente: Producto 3.1. Actualización Modelización hidrológica e hidráulica (iPresas, 2023).

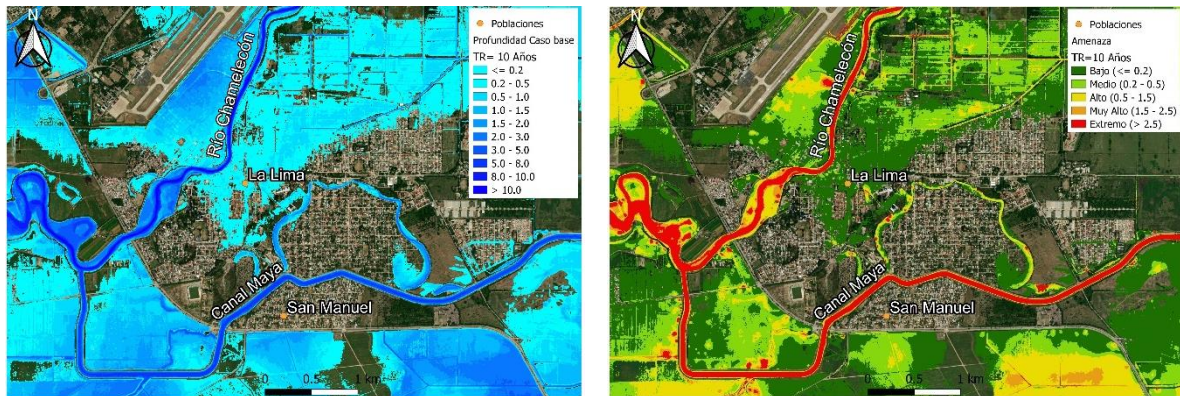


Figura 26. Mancha de inundación y mapa de amenaza en los municipios de La Lima y San Manuel para una recurrencia de 10 años.

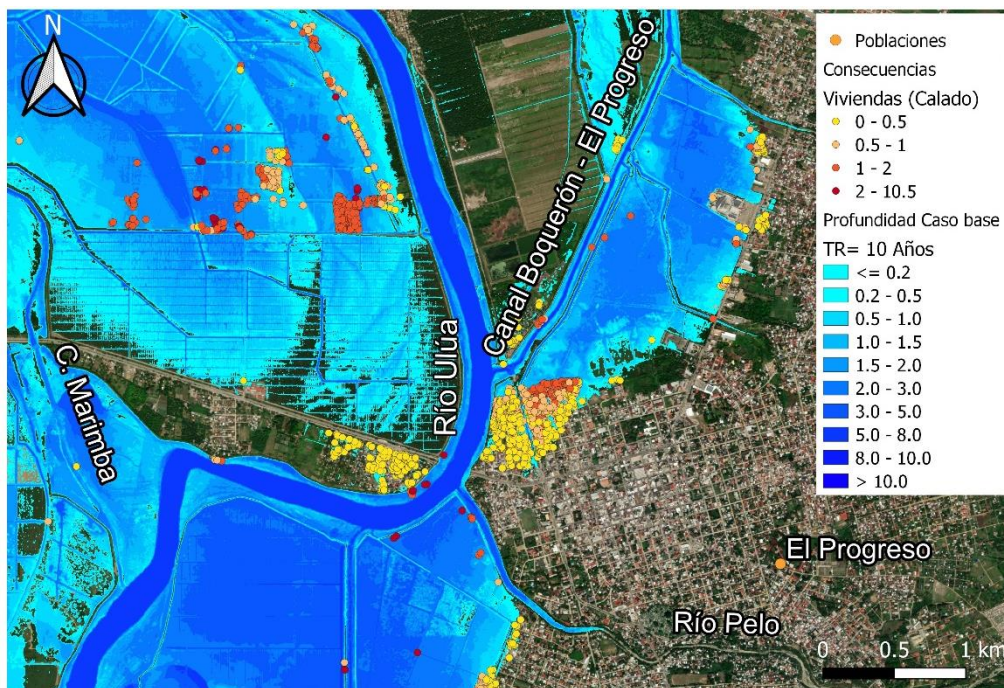


Figura 27. Inundación y viviendas afectadas sin obras en el municipio del Progreso para una recurrencia de 10 años.

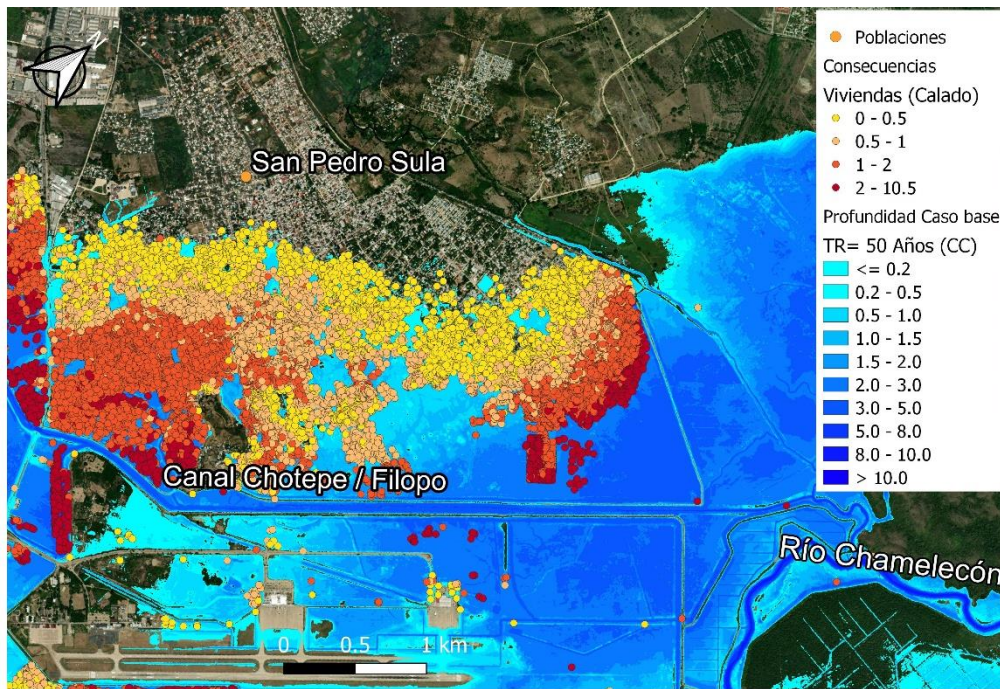


Figura 28. Inundación y viviendas afectadas sin obras en el municipio del Progreso para una recurrencia de 50 años con cambio climático.

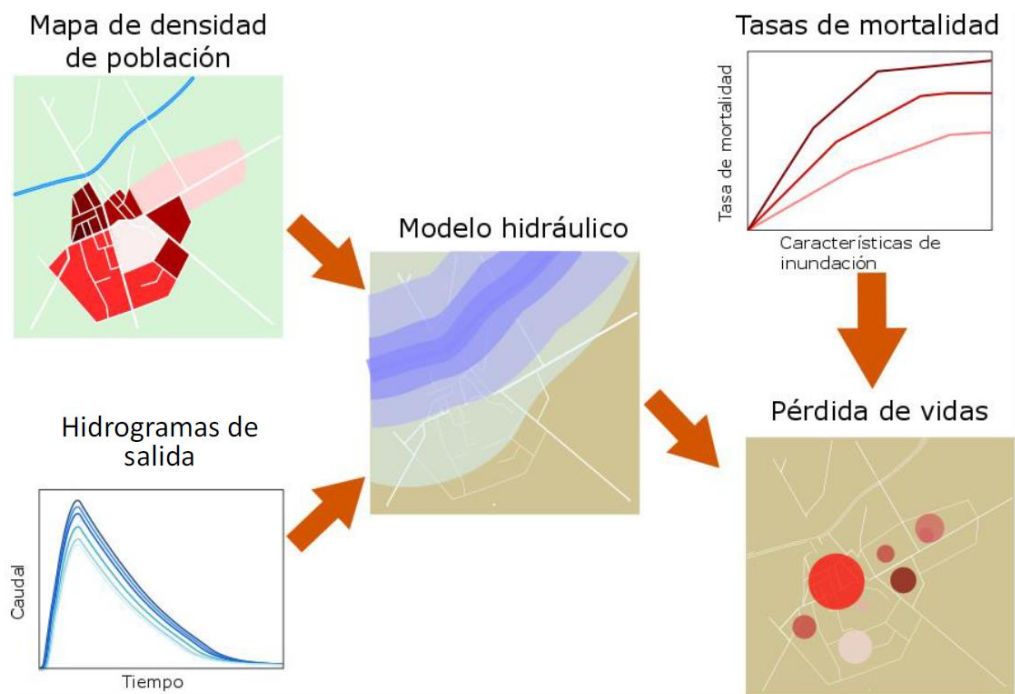


Figura 29. Metodología general para estimar la pérdida de vidas por inundación. Fuente: Producto 3.2. Estimación de consecuencias y análisis de riesgo (iPresas, 2023).

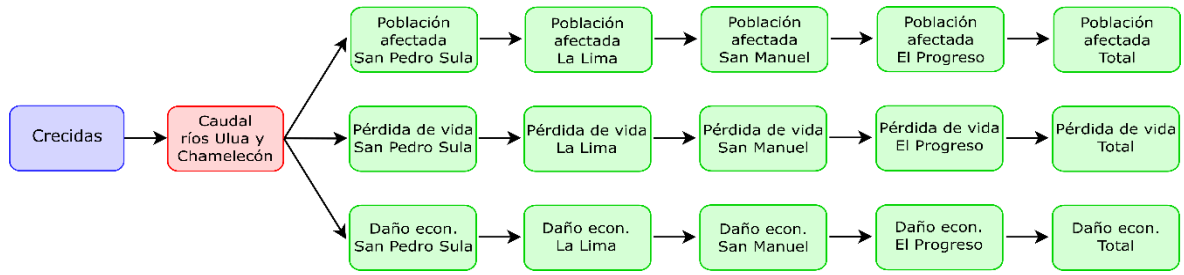


Figura 30. Arquitectura del modelo de riesgo. Fuente: Producto 3.2. Estimación de consecuencias y análisis de riesgo (iPresas, 2023).

4. PROPUESTAS PLANTEADAS DE OBRAS DE MITIGACIÓN

De acuerdo con lo expuesto en el *Producto 3.1. Actualización del estudio hidráulico y mapas de inundación*, a partir del análisis hidráulico del desarrollo espacial y temporal de la inundación por los ríos Chamelecón y Ulúa, con miras a la disminución del riesgo en las poblaciones de La Lima, San Manuel, San Pedro Sula y El Progreso, se han propuesto desde la SIT las alternativas de intervención localizadas en la Figura 31 y descritas a continuación.

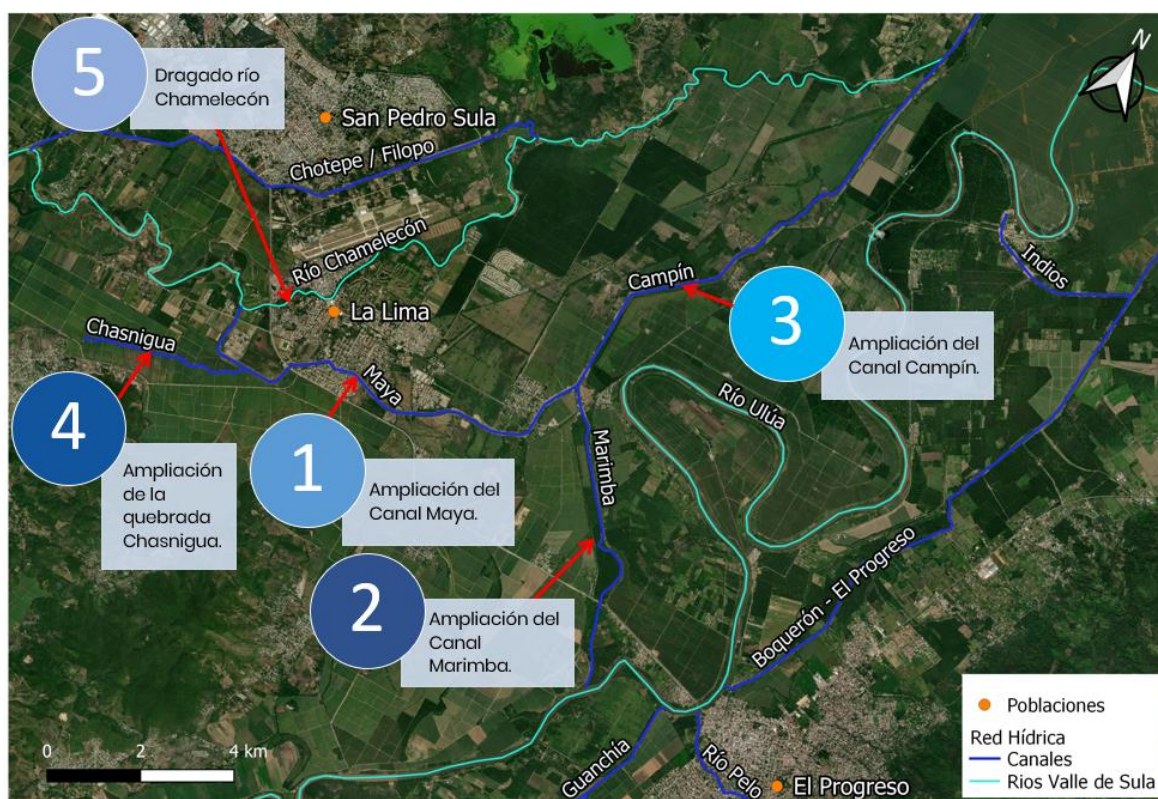


Figura 31. Alternativas de obras propuestas para la disminución del riesgo de inundación en el Valle de Sula.

El conjunto de obras está diseñado para que su funcionamiento sistémico permita detraer caudal de los cauces principales, aguas arriba de los centros poblados principales del Valle de Sula, disminuyendo así la probabilidad de desbordamiento de los ríos Ulúa y Chamelecón en cercanías a las zonas más densamente pobladas de la zona de estudio.

4.1. Ampliación del Canal Maya

Consiste en ampliar la sección transversal del canal Maya, para aumentar su capacidad de desagüe, que actualmente está alrededor de $370\text{m}^3/\text{s}$, mientras que su diseño original es de $750\text{m}^3/\text{s}$. Se propone la adecuación de 10 Km de canal, ampliando la sección actual, que se observa en color naranja en la Figura 32, conformando una sección trapezoidal de 25 m de base, con taludes de pendiente 3:1 y una profundidad de 8 m, conservando así la localización de los bordos actuales y su cota corona. La intervención considera tanto la ampliación de la sección hidráulica del canal, como el mejoramiento de la pendiente longitudinal del mismo, lo que permite reducir las irregularidades y obstrucciones al flujo en el canal. Además se proyecta un revestimiento del canal en concreto, lo que incide directamente en el mejoramiento de las condiciones de flujo, por la reducción del coeficiente de rugosidad.

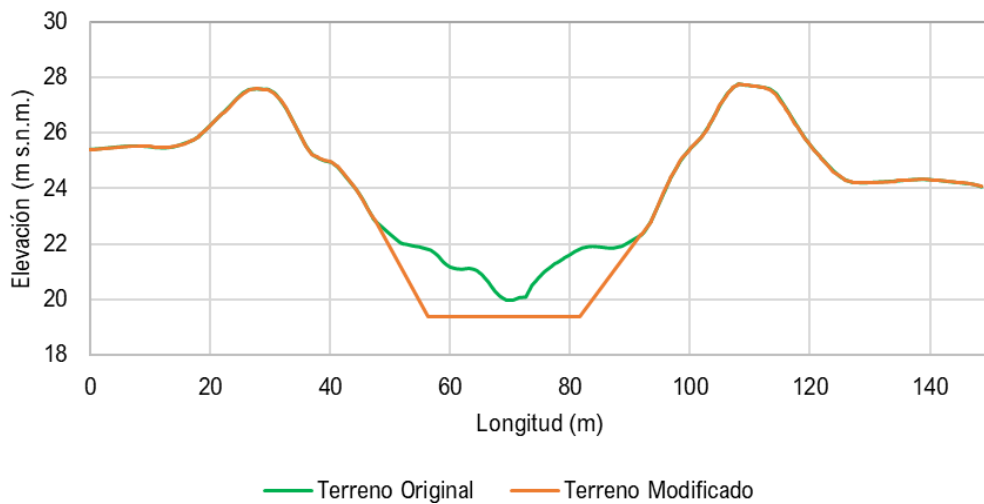


Figura 32. Vista en corte de la Ampliación del Canal Maya.

4.2. Ampliación del Canal Marimba

Consiste en la limpieza y la recuperación de la sección hidráulica del canal, estableciendo una pendiente longitudinal más uniforme hasta su conexión con el canal Campín. Se proyecta la adecuación de 7 Km de canal, ampliando la sección actual, que se observa en color naranja en la Figura 33, conformando una sección trapezoidal de 15 m de base, con taludes de pendiente 3:1 y una profundidad variable entre 4 y 8 m, conservando así la localización de los bordos actuales y su cota corona.

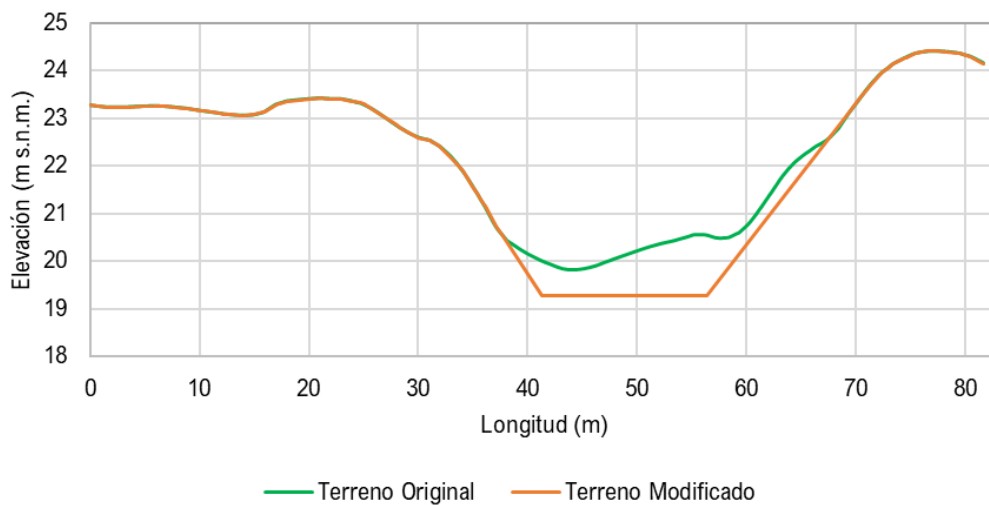


Figura 33. Vista en corte de la Ampliación del Canal Marimba.

Se propone además mejorar la conexión desde el río Ulúa al canal Marimba, rebajando la cota del terreno al inicio del canal, para facilitar su activación y generar una continuidad homogénea hasta su confluencia con el canal Maya. Tal como se observa en la Figura 34, el adecuado funcionamiento hidráulico del canal Marimba es fundamental para la reducción del caudal del río Ulúa durante un evento de creciente, atenuando la afectación potencial aguas abajo, en su paso por el centro poblado del Progreso.

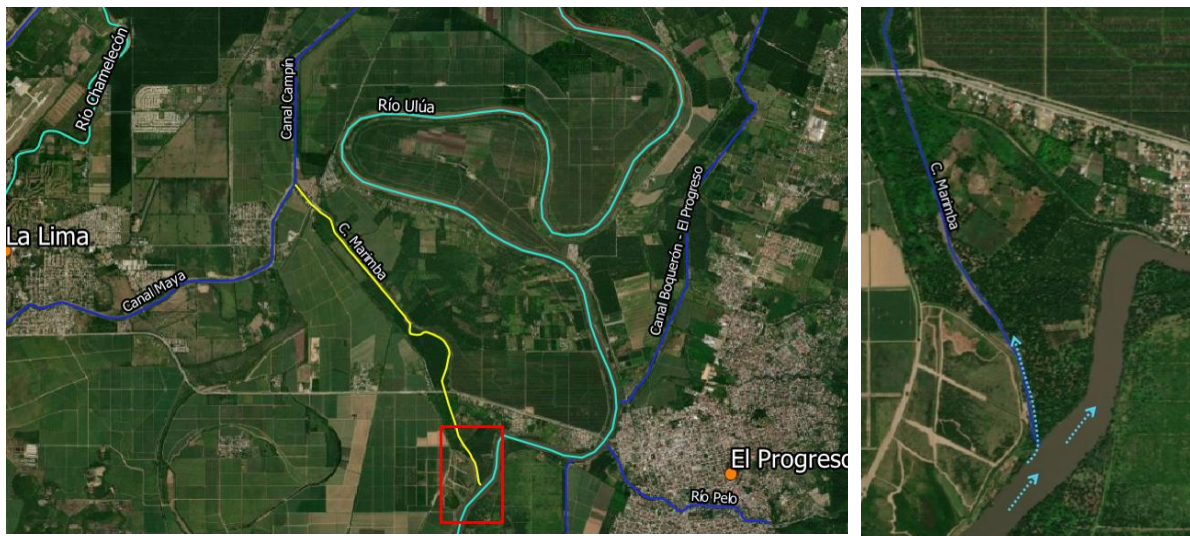


Figura 34 Localización de la obra de mejoramiento de la toma del canal Marimba.

4.3. Ampliación del Canal Campín

Consiste en ampliar la sección transversal del canal Campín, que recibe los caudales derivados del río Chamelecón mediante el canal Maya y del río Ulúa a través del canal Marimba, esto en coherencia con las obras de ampliación propuestas para estos canales, lo que en consecuencia aumentará el caudal de creciente por el canal Campín. Por ello, se propone la adecuación de los 11 Km del canal, ampliando la sección actual, que se observa en color naranja en la Figura 35, conformando una sección trapezoidal de 20 m de base, con taludes de pendiente 4:1 para empalmar con la sección actual y una profundidad variable entre 8 y 9 m, conservando así la localización de los bordos actuales y su cota corona.

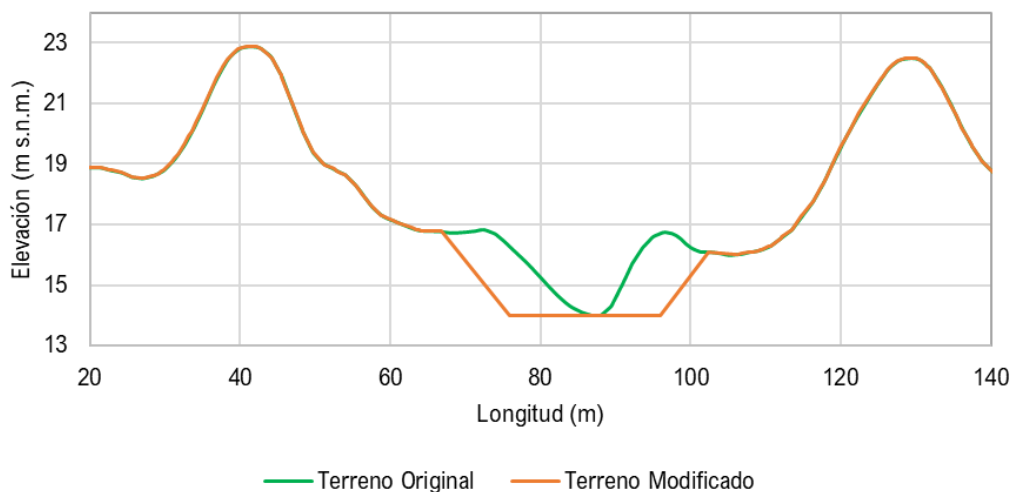


Figura 35. Vista en corte de la Ampliación del Canal Campín.

4.4. Ampliación de la quebrada Chasnigua

Consiste en la limpieza y la recuperación de la sección hidráulica del canal, estableciendo una pendiente longitudinal más uniforme hasta su conexión con el canal Campín. Se proyecta la adecuación de 4 Km de canal, ampliando la sección actual, que se observa en color naranja en la Figura 36, conformando una sección trapezoidal de 25 m de base, con taludes de pendiente 3:1 que empalman con la sección actual y una

profundidad variable entre 3.5 y 4.5 m, conservando así la localización de los bordos actuales y su cota corona.

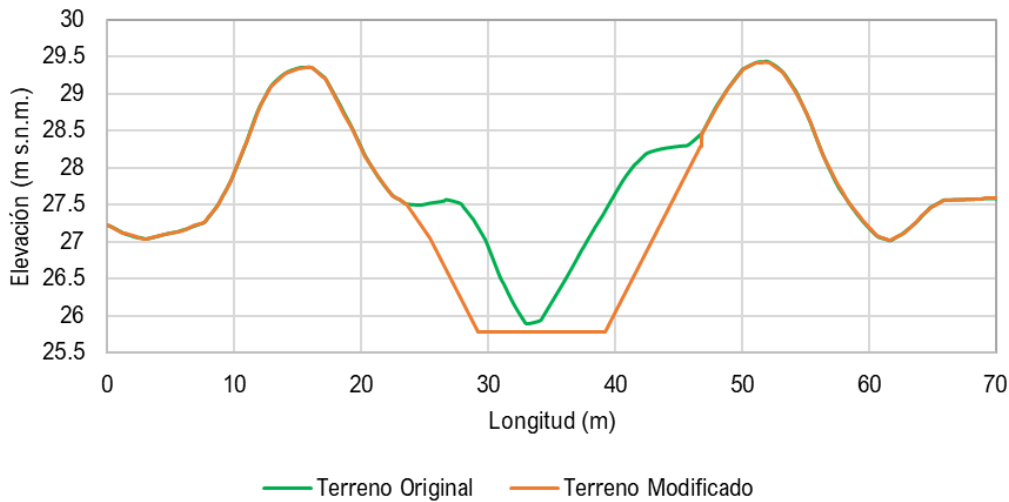


Figura 36. Vista en corte de la Ampliación del quebrada Chasnigua.

4.5. Dragado del río Chamelecón

Dada la dinámica fluvial del cauce, se evidencian zonas de sedimentación a lo largo del cauce, que han contribuido a la reducción de la sección hidráulica disponible y consecuentemente a la respuesta del sistema para el tránsito de avenidas, aumentando el riesgo de desbordamiento. Por tanto se propone la limpieza del cauce y el mejoramiento de la sección hidráulica en aproximadamente 3.5 Km del río, de acuerdo con la localización (línea punteada) en la Figura 37, que inicia en la toma del canal Maya y se extiende hasta el límite del casco urbano de La Lima.

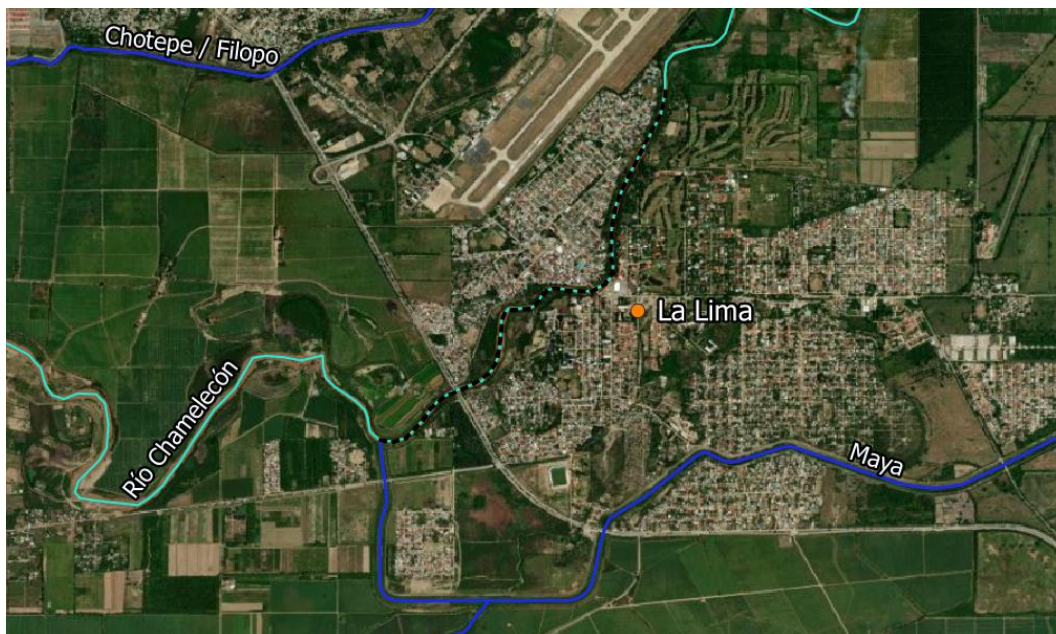


Figura 37. Localización del tramo del río Chamelecón propuesto para su dragado.

5. CONTEXTO LEGISLATIVO NACIONAL EN MATERIA DE RIESGO DE DESASTRES

Honduras, presenta un alto grado de vulnerabilidad y riesgo ante diversas amenazas naturales y antropogénicas. De hecho, en las últimas décadas, ha sido el país más afectado a nivel global por fenómenos producidos por el clima de acuerdo con la publicación de “Global Climate Risk” (INDEX, 2017).

A nivel normativo, la Constitución de la República de Honduras de 1982 determina en sus artículos 61, 62, 65 y 68 el asidero jurídico de la Gestión de Riesgos, que cita el derecho a la integridad física, a la vida y el derecho a la seguridad, como de manera conceptual el bien común, velando y salvaguardando a sus ciudadanos.

En el marco institucional se crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo (SINAGER) mediante Decreto número 151-2009, que abarca todos los sectores de la sociedad hondureña, las instituciones existentes y futuras sin exclusión. Este marco legal busca orientar a que el país cuente y desarrolle la capacidad de prevenir y disminuir los riesgos potenciales desastres, además preparación, respuesta y recuperación de los daños reales provocados por los fenómenos naturales.

La Ley SINAGER representa un avance importante ya que ha permitido a Honduras avanzar del enfoque exclusivo de la gestión de riesgos y de la preparación para emergencias a un enfoque de Gestión de Riesgo de Desastres integrado, incorporando la reducción del riesgo a desastres. Por tanto, la ley en su artículo 4 define la reducción de riesgo como un proceso social, y señala, en sus artículos 24 y 28, que la evaluación de riesgo es una actividad obligatoria en cualquier proceso de inversión público y de planificación del desarrollo.

Al respecto, Honduras cuenta con un Sistema Nacional de Inversión pública de Honduras (SNIPH), el cual se rige por la Ley de Administración Pública. Esta ley faculta a la Secretaría de Finanzas como entidad responsable de la programación de la inversión pública a través de la Dirección General de Inversión Pública (DGIP). La Ley Orgánica de Presupuesto detalla la estructura del SNIPH, determina las características del Programa Plurianual de Inversiones y el Plan Anual de Inversión Pública, y mandata los procesos que deben de cumplir las instituciones que presentan proyectos de inversión (Figura 38). Como apoyo de estas leyes destacan las Normas Técnicas de Inversión Pública, y las Normas de Ejecución Presupuestarias.

Con la finalidad de estandarizar la formulación y evaluación de los proyectos de inversión, la DGIP ha desarrollado la "Guía Metodológica General para la Formulación y Evaluación de Programas y Proyectos de Inversión Pública". Esta metodología permite formular y evaluar los proyectos de inversión a partir del análisis de Costo Eficiencia y de Costo Beneficio de las alternativas de solución al problema que se pretende atender. Cabe destacar que se incorpora la evaluación de riesgo de desastres en las evaluaciones ex ante mediante el uso del “Método de Blindaje de Proyectos de Infraestructura”. Esta metodología permite la identificación de riesgos ante desastres de los proyectos de inversión y la elaboración de un plan de acciones que permitan mitigar estos riesgos, así como el cálculo costo-beneficio de las medidas de mitigación.

También dentro del marco normativo nacional se incluye la Ley de Contingencias Nacionales, donde se establece que al presentarse situaciones de emergencia en el país, que afecten la totalidad o parte del territorio de la República, es indispensable contar con un organismo especializado que coordine los esfuerzos de los sectores públicos y privados para prevenir, planificar, dirigir y ejecutar labores de ayuda, salvamento, rehabilitación y otros similares, que sean necesarias realizar de manera expedita, siendo responsabilidad del gobierno tomar aquellas medidas que estén encaminadas a asegurar el bienestar del pueblo, la conservación de los recursos naturales y la economía de la nación.

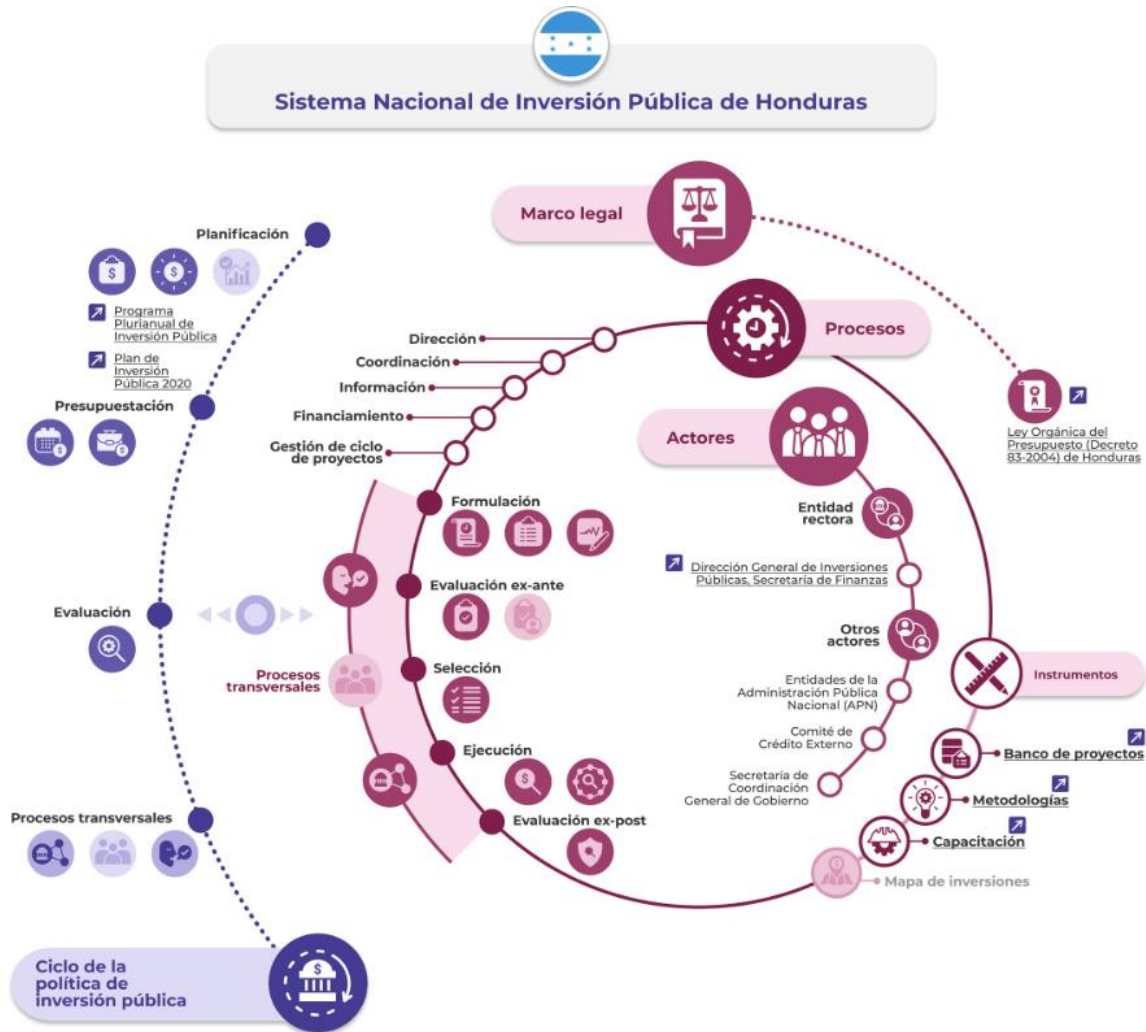


Figura 38. Esquema general del Sistema Nacional de Inversión Pública de Honduras. Fuente: Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo de América Latina y el Caribe⁴.

La Ley de Contingencias Nacionales creó la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO) que tiene como objetivo fundamental la adopción de políticas y medidas orientadas a atender a la población, promover la rehabilitación y reconstrucción de las áreas dañadas por la incidencia de fenómenos naturales que afecten la actividad económica y el bienestar de la población. La misma norma describe las funciones de COPECO, incluyendo organizar y dirigir acciones que sean necesarias en casos de emergencia o desastre, adoptando medidas preventivas tendentes a contar con los recursos y mecanismos apropiados para afrontar situaciones críticas, promover la asistencia y ayuda internacional, gestionar, recibir y administrar la ayuda internacional de organismo y gobiernos amigos.

⁴ <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/sistemas-planificacion/sistema-nacional-de-inversion-publica-de-honduras>

6. CUMPLIMIENTO CON EL MARCO DE POLÍTICA AMBIENTAL Y SOCIAL DEL BID (MPAS)

El nuevo Marco de Política Ambiental y Social (MPAS) del BID entró en vigor el 1 de noviembre del 2021 y establece 10 Normas de Desempeño Ambiental y Social (NDAS) específicas concebidas para evitar, minimizar, reducir o mitigar los riesgos e impactos ambientales y sociales adversos de operaciones financiadas por el BID.

La NDAS 4 hace referencia a la Seguridad y Salud de la Comunidad, donde se incluyen en mayor medida los requerimientos de identificación y manejo del riesgo de desastre abordados mediante la Metodología para la Evaluación del Riesgo de Desastre y Cambio Climático (MERDCC) para Proyectos del BID (Figura 39). Dicha Metodología ha sido aplicada durante la presente consultoría.

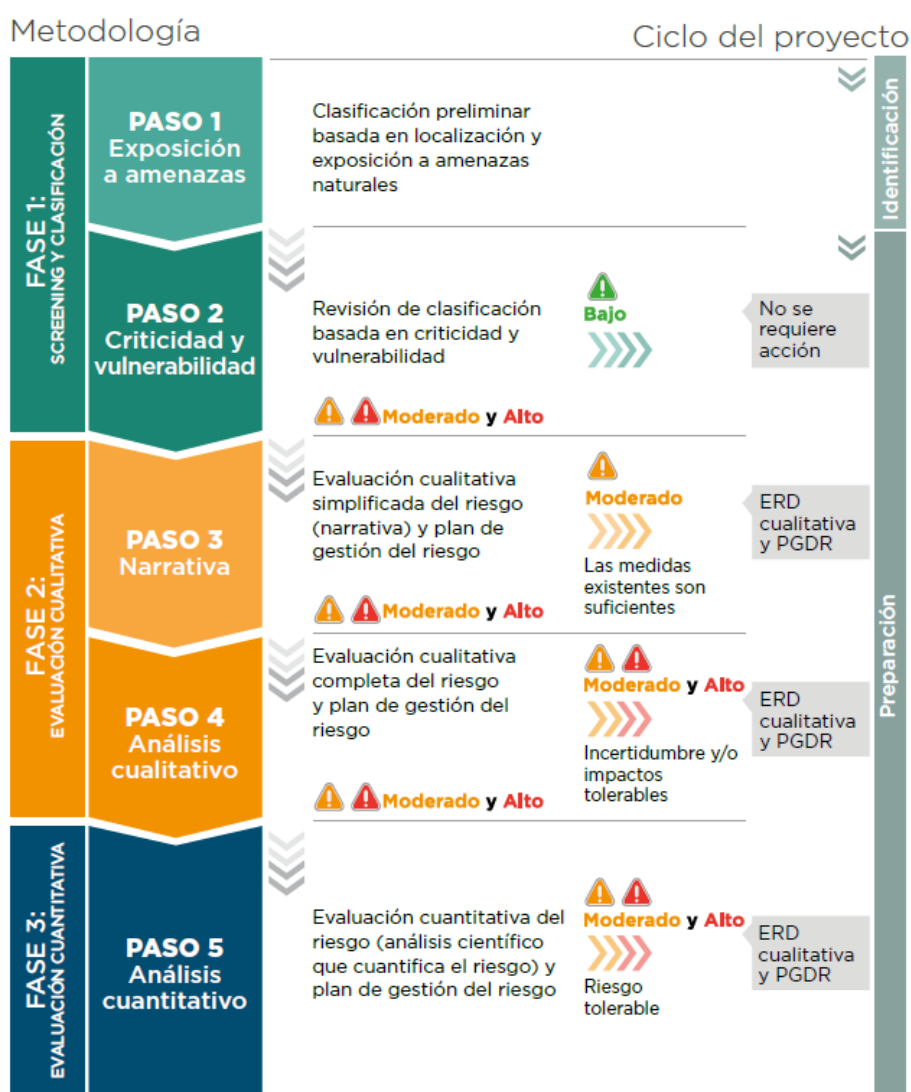


Figura 39. Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático (BID, 2019).

La MERDCC está diseñada como una secuencia de pasos que permite salidas del proceso a medida que se cumple con ciertos mínimos. Lo anterior busca escalar esfuerzos y asegurarse que los requerimientos para un proyecto sean verdaderamente acordes con su nivel de riesgo. Dentro de esta Metodología al proyecto se le asigna una clasificación del riesgo (riesgo Bajo, Moderado o Alto). Si la clasificación es de riesgo Alto

entonces es obligatorio realizar una Evaluación de Riesgo de Desastres (ERD), para la clasificación de riesgo Moderado la realización de una ERD es opcional y generalmente se recomienda como un valor agregado, y para la clasificación de riesgo Bajo no es necesaria su realización.

Por otro lado, esta Metodología apoya la incorporación de esfuerzos orientados a cumplir con la NDAS 4 y a **aumentar la resiliencia de los proyectos**, en especial para aquellos de mediana a gran escala, tanto estructuras individuales como sistemas, y en intervenciones en entornos tanto urbanos como rurales. Los proyectos pueden ser de diversa índole, como son escuelas, centros de salud, agua y saneamiento, presas, infraestructura turística, barrios de viviendas, infraestructuras de energía o transporte, entre otros.

Adicionalmente, las Guías para la aplicación del MPAS establecen para el desarrollo de la NDAS 4, en sus epígrafes GL63 a GL78, los requisitos, principios y consideraciones sobre **seguridad de presas** aplicables a las operaciones del BID relacionadas tanto presas de nueva planta como existentes, así como presas que se encuentren en fases de construcción o rehabilitación.

En el subapartado 7.3 del presente documento se presentan las conclusiones obtenidas al aplicar la MERDCC en su Fase 1: Screening y Clasificación. Esta fase permite discriminar entre operaciones con clasificación de riesgo Bajo que concluyen en el proceso en este punto, y de riesgo Moderado y Alto que pasan a la Fase 2.

En el subapartado 7.6 se presentan el resultado de aplicar la Fase 2 de la MERDCC (Paso 3: Narrativa y Paso 4: Análisis cualitativo). Este paso permite identificar si el conocimiento sobre el riesgo de desastres y cambio climático y su gestión en la operación es adecuado, o si por contra es necesario profundizar en su tratamiento, avanzando al siguiente paso.

En el subapartado 7.7 se presenta el Paso 5: Análisis cuantitativo, el último paso de la MERDCC. En este sentido se ha desarrollado un modelo de riesgo cuantitativo que permite cuantificar el riesgo y justificar las inversiones propuestas.

Por último, en el Apartado 8 se hace un seguimiento de la MERDCC y se exponen las principales conclusiones obtenidas a lo largo de todo el proceso de análisis.

7. EVALUACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DEL RIESGO DE DESASTRES

7.1.Paso 1. Amenazas naturales

El primer paso de la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático del BID (BID, 2019) para desarrollar una ERD es clasificar los proyectos según su ubicación y las amenazas a las que pueden estar sometidos. A continuación, en la Tabla 2, se definen las amenazas naturales que pueden afectar a las obras planteadas en el Valle de Sula, indicando si su probabilidad de ocurrencia es baja (verde), media (naranja) o alta (rojo). Para la clasificación de probabilidad se han empleado principalmente mapas de amenazas naturales de frecuencia e intensidad obtenidos de bases de datos públicas y publicaciones oficiales.

Obras de protección	Baja	Media	Alta	CC Inc. Prob.
Inundación			✓	Sí
Terremoto		✓		
Deslizamiento	✓			
Erupción volcánica	✓			
Tsunami	✓			
Viento huracanado			✓	
Sequía		✓		Sí
Incendio	✓			

Tabla 2. Resumen de las amenazas naturales identificadas para los canales de alivio. Fuente: Bases de datos públicas y publicaciones oficiales.

De acuerdo con la **MERDCC** del **BID**, la presencia de amenazas naturales y su probabilidad de ocurrencia en el ámbito de la operación correspondiente es **ALTA**.

7.2.Paso 2. Criticidad y vulnerabilidad

El segundo paso consiste en una reflexión sobre la **criticidad** y los niveles de vulnerabilidad de los proyectos para, complementando el apartado anterior, determinar si es necesaria una evaluación cualitativa simplificada de riesgos de desastre (o narrativa).

Las obras de control de inundaciones planteadas para la zona de estudio persiguen el mismo fin: reducir la frecuencia y magnitud de las inundaciones en un área determinada. Por tanto, a nivel conceptual, **las obras disminuirían el riesgo** actual frente a inundaciones en el Valle de Sula.

Por otro lado, dadas las características orográficas y de exposición frente a inundaciones existente en la zona de estudio, es conveniente destacar el **carácter sistémico** de estas obras en la extensión del Valle de Sula, y la necesidad de contemplar estas obras de manera conjunta como un sistema de obras. Bajo el anterior enfoque, la criticidad del conjunto de obras de control de inundaciones se puede valorar en virtud de las consecuencias que un fallo de estas podría producir en términos de **impacto en población y pérdida de servicios** en los distritos municipales de la zona.

De acuerdo con lo citado anteriormente, para analizar la criticidad de estas obras resulta coherente hacer una analogía con el **gráfico de criticidad** para infraestructura de drenaje, suministro de agua y gestión de aguas residuales contenido en la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático (BID, 2019), expuesto en la Figura 40.

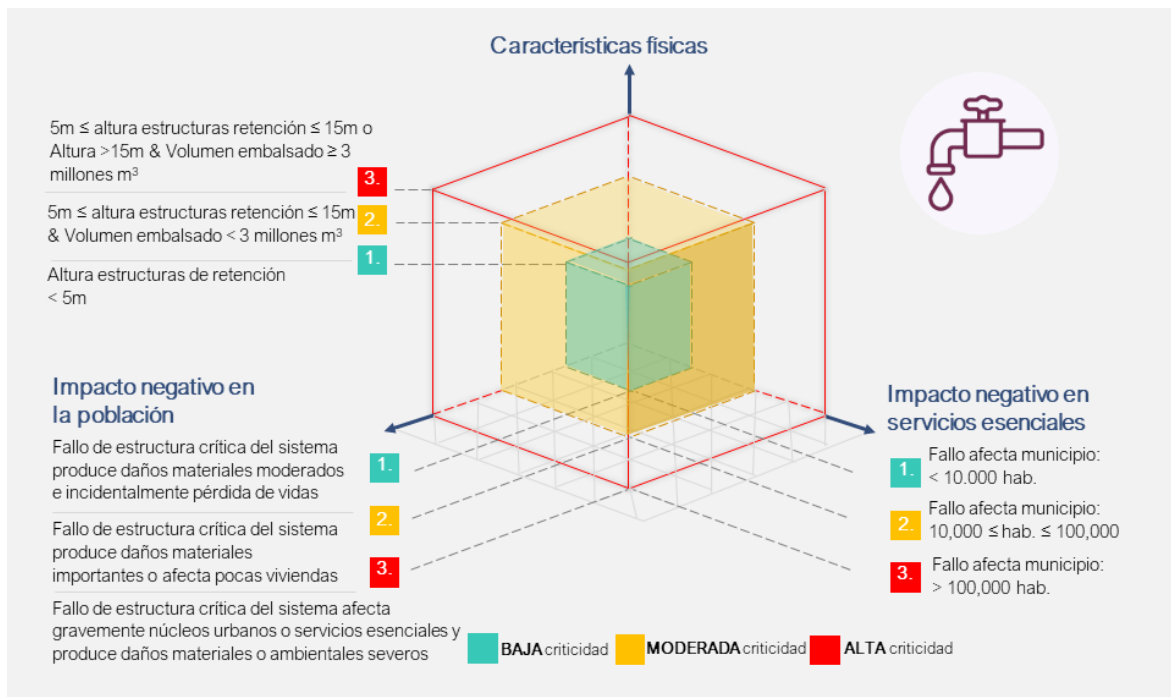


Figura 40. Cubo de criticidad para obras de agua y saneamiento. Fuente: Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastre y Cambio Climático para proyectos del BID (BID, 2019).

Respecto al **impacto negativo en servicios esenciales**, según los “Indicadores Municipales” (INE, 2018), varios de los distritos municipales de la zona superan los 10,000 habitantes. De este modo, el impacto negativo de pérdida de servicios en caso de fallo de las obras planteadas tendría un grado de criticidad **ALTO**.

Continuando al siguiente eje, el **impacto negativo en la población** del fallo de estas obras podría suponer daños materiales importantes y afección a viviendas por lo que el grado de criticidad al respecto de estas obras se puede catalogar como **ALTO**.

Debido a que las obras planteadas no están directamente atadas a ninguna estructura de retención, no se evalúa en este caso el tercer eje de características físicas de la obra atendiendo al cubo de agua y saneamiento. No obstante, merece la pena apuntar que las obras podrían modificar dinámicas fluviales alterando la física de la zona. Este aspecto está contemplado como uno de los ejes en lo que a obras de intervención y mejoramiento de barrios se refiere (“interacción con el medio natural y antrópico”), pudiéndose catalogar al respecto como **ALTO**.

De acuerdo con la **MERDCC** del **BID**, la criticidad global de la operación corresponde con la categoría de **ALTA CRITICIDAD**.

7.3. Clasificación obtenida tras Fase 1

Teniendo en cuenta las principales amenazas, vulnerabilidades y criticidad de las obras identificadas, se concluye que las obras de protección, en conjunto, se corresponden con una clasificación de **RIESGO ALTO** de acuerdo con la MERDCC del BID (BID, 2019).

Debido a lo anteriormente expuesto, se considera que el conjunto de obras planteadas amerita el desarrollo de una narrativa de riesgo (**ERD**) y un **PGRD**.

7.4. Paso 3. Evaluación cualitativa simplificada del riesgo (Narrativa)

Sobre la base de la información recopilada, estructurada y/o evaluada en los puntos anteriores, y teniendo en cuenta las características de las infraestructuras y sus afecciones, se procede a continuación a evaluar de forma simplificada, el proyecto desde la perspectiva de la gestión de riesgos de desastres y adaptación al cambio climático. Además, en esta fase no se estimará probabilidad de ocurrencia a los modos de fallo identificados, pues se entiende más coherente la estimación de estas probabilidades durante la sesión de modos de fallo (Paso 4 de la MERDCC).

Es importante destacar que el enfoque de esta evaluación de riesgos se desarrolla desde el punto de vista del **fallo** de la infraestructura, descartando por tanto amenazas como los períodos de sequía, ya que, si bien pueden suponer una fuente de riesgo para la economía de la región, no supone el fallo de la infraestructura.

Bajo una visión conjunta y global de las obras planteadas, el principal indicador que aumenta la criticidad del proyecto se corresponde con el **impacto negativo en la población**. Además, debido a la gran población de los municipios el **impacto negativo en servicios esenciales** también juega un papel importante a la hora de declarar como “críticas” (grado alto o moderado) estas intervenciones. Por lo que se considera oportuna realizar esta ERD simplificada desde ambos puntos de vista.

Adecuación de los canales de alivio

Los principales modos de fallo identificados para este tipo de actuaciones son:

- Condicionar o adecuar las condiciones hidráulicas de los canales en cercanía a las zonas urbanas tienen por fin mejorar la capacidad de este y con ello aumentar el nivel de protección frente a inundaciones centrándose en un aumento de la sección hidráulica pero también de la velocidad del flujo por disminución de los valores de rugosidad. En este contexto, este incremento de la velocidad de flujo podría generar mayores procesos de erosión con la posibilidad de **DESLIZAMIENTO** de algún talud que conforme las **MÁRGENES DEL CANAL O DEL RÍO EN SU RESTITUCIÓN AGUAS ABAJO**. Esto podría conllevar un represamiento de las aguas al dificultarse el drenaje que proporciona el mismo canal o río y elevar los niveles de este, provocando inundaciones en las áreas urbanas en casos de crecida. Si bien se desconocen las propiedades y características geotécnicas de los materiales en las zonas de restitución, en algunas de las obras se piensa en realizar un revestimiento del canal, aspecto que disminuiría la probabilidad de fallo.
- Las obras propuestas implican actuar sobre los canales manteniendo los bordos en ubicación, dimensión, cota y estado actual. Al respecto, y relacionado con el punto anterior, en el caso de que el revestimiento del canal Maya no se de en toda la altitud del canal, sino que se haga una diferenciación en altura entre canal (revestido) y bordos (sin revestir), en caso de crecida y niveles altos, el fenómeno de erosión se podría generar incluyendo **SOCAVACIÓN DEL TALUD DE TIERRA** (plano de contacto entre materiales de diferente rigidez), **PÉRDIDA DE SOPORTE Y DESLIZAMIENTO**, con posibilidad de obstaculizar el flujo y generar represamientos e inundaciones. Se desconoce si el revestimiento se dará a todo el perímetro hidráulico de la sección.

- También motivado por el aumento de la capacidad de los canales de alivio, se podría originar un modo de falla de la infraestructura que tiene que ver con que el incremento de los caudales circulantes hacia aguas abajo motivase un desbordamiento e **INUNDACIÓN EN ZONAS POBLADAS DE AGUAS ABAJO**. Al respecto, el posible desbordamiento se podría originar presumiblemente en la zona de restitución de los canales. En este sentido, los canales que se pretenden intervenir se restituyen al río (o a otro canal) en zonas no muy pobladas, aunque existe el caso de la confluencia Marimba-Maya o Campín-Chamelecón donde convendría tener en cuenta estas condiciones por la ubicación de algunos sectores poblados en las cercanías.
- Otro modo de fallo relacionado con este tipo de infraestructura podría ser que, fruto del aumento de la velocidad de flujo se inicien nuevos procesos de erosión y sedimentación que, a largo plazo, motive **CAMBIOS EN EL TRAZADO DEL RÍO AGUAS ABAJO**. En caso de que el nuevo trazado se acerque a zonas pobladas podría aumentar la probabilidad de inundación, así como la frecuencia y magnitud de las inundaciones en esta área poblada. El río ha mostrado históricamente tener una gran actividad geomorfológica. Además, existen diversos sectores rurales a lo largo y ancho de todo el Valle.
- Aunque la idea es mantener el esquema de bordos, se podría dar el caso que al aumentar la sección hidráulica de los canales se ocupe terreno que en la actualidad estén siendo utilizados para residir o para otros usos humanos. El modo de fallo más inmediato es que los moradores sigan **OCUPANDO ZONAS DE FLUJO PREFERENTE** tras la actuación y fruto de una crecida se vean afectados.
- En relación con el punto anterior, la actuación sobre los canales podría conllevar que **EL NUEVO TRAZADO AMPLIADO SE APROXIME A VIVIENDAS EXISTENTES** en las áreas colindantes, reduciéndose la zona de servidumbre y aumentando por tanto la exposición a una posible inundación tras desbordamiento. No obstante a lo anterior, la idea es mantener la configuración en planta y el ancho entre bordos, por lo que se reduciría la probabilidad de ocurrencia de este modo de fallo.
- En este contexto, el aumento del nivel de protección se puede ver como una oportunidad de **DESARROLLO POBLACIONAL**, incrementado por la aparente sensación de seguridad tras obras, que provoque mayores daños a los iniciales en caso de desbordamiento e inundación. Al respecto existen planes municipales de gestión de riesgo y propuesta de zonificación territorial para evitar estas prácticas.

Teniendo en cuenta los principales riesgos, vulnerabilidades, amenazas y modos de fallo identificados en el proyecto, los cuales se tratarán con más detalle en el Plan de Gestión de Riesgos de Desastre (PGRD), se concluye que las actuaciones en sí corresponden con la clasificación de **RIESGO MODERADO** de acuerdo con la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático (BID, 2019). Puesto que son obras que tratan de conseguir un mejor comportamiento hidráulico con mejora en las condiciones de drenaje de canales ya existentes, la aplicación del PGRD asociado se considera necesaria debido a la ubicación de estas en zonas muy expuestas a inundaciones.

Dragado del río Chamelecón

Los principales modos de fallo identificados para esta actuación son:

- El río Chamelecón, por propia naturaleza, transporta un volumen considerable de sedimentos desde la parte alta de la cuenca hasta su desembocadura. En ese contexto, se podría dar nuevamente una **ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS** a lo largo del tiempo (o tras evento climático importante) **EN EL TRAMO INTERVENIDO**, devolviendo al cauce a un estado hidráulico similar al de antes de la intervención. Al respecto existe una amenaza alta frente a inundaciones en la zona, posible aumento en frecuencia y magnitud de estas por efecto del cambio climático, procesos de deforestación en la

cuenca alta y una problemática generalizada de conservación y mantenimiento de infraestructuras ya existentes.

- La intervención sobre el perfil longitudinal de río Chamelecón podría generar problemas a nivel dinámico y geomorfológico iniciando fenómenos como **EROSIÓN REMONTANTE** (erosión hacia aguas arriba del tramo dragado), **INCISIÓN** (hundimiento del cauce), **IRREGULARIZACIÓN DE LOS FONDOS, DESCENSO DE LA CAPA FREÁTICA** (y por tanto desecación de pozos de riego), **DESCALZAMIENTO DE PUENTES Y ESCOLLERAS** y **COLAPSOS** si hay simas bajo la capa aluvial... Esta problemática relacionada con la alteración de la dinámica fluvial es en ocasiones difícil de prevenir, identificar, cuantificar y, en ocasiones, imposible de remediar.
- La intervención sobre el río Chamelecón podría conllevar una serie de **IMPACTOS NEGATIVOS TAMBIÉN A NIVEL AMBIENTAL** en lo que respecta al propio dragado y también a la descarga del material dragado. Entre los cuales destacan impactos sobre la calidad del agua (cambios físicos y químicos), suspensión y distribución de sedimentos contaminados, potenciales impactos sobre peces, flora y otros organismos vivos, así como cambios físicos del fondo acuático.

Teniendo en cuenta los principales riesgos, vulnerabilidades, amenazas y modos de fallo identificados en el proyecto, los cuales se tratarán con más detalle en el Plan de Gestión de Riesgos de Desastre (PGRD), se concluye que este proyecto atiende a una clasificación de **RIESGO MODERADO** de acuerdo con la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático (BID, 2019). El dragado de un tramo del río busca conseguir una mayor capacidad hidráulica aunque existen incertidumbres asociadas al comportamiento fluvial del tramo intervenido, así como también en los tramos inmediatos aguas arriba y aguas abajo.

Como ya se ha comentado previamente, las obras planteadas, por su propia definición, tienen por objetivo conseguir un aumento de la protección frente a inundaciones mediante la mitigación de estas. Por lo anterior, son obras que van a ayudar a reducir el riesgo existente en la situación actual.

No obstante lo anterior, las obras alteran la respuesta física del sistema respecto a la situación previa. Además, a lo largo del Valle de Sula se dan unas dinámicas de desarrollo poblacional muy activas y, en ocasiones, sin control. Debido a ello, se entiende que las actuaciones en el Valle, entendidas a nivel sistémico, se clasificarían de **RIESGO ALTO**.

Debido a la clasificación de riesgo de las obras propuestas, se entiende necesario seguir avanzando en el esquema de la MERDCC hacia el siguiente paso (**Paso 4. Evaluación cualitativa completa**) a fin de poder dirigir, enfocar y definir el componente de gestión del riesgos de desastres del proyecto.

7.5.Paso 4. Evaluación cualitativa completa del riesgo

Durante el estudio de iPresas llevado a cabo a lo largo de 2021, se realizó un **taller de identificación de modos de fallo** (mediados del mes de febrero), técnica de análisis de riesgo cualitativa, donde se intercambiaron y se puso en común el conocimiento entre todos los actores principales en materia de riesgo de inundaciones del Valle de Sula. Esta sesión de modos de fallo se cerró posteriormente con un informe, donde se recogieron todos los resultados, en lo que supuso, por tanto, una evaluación cualitativa completa del riesgo.

En este caso, se entiende como **evaluación completa**, en contraposición de lo realizado en la evaluación cualitativa simplificada del apartado anterior, por el hecho de que en un mismo foro participaran múltiples actores con experiencia en diferentes áreas originándose consensos y conclusiones más informadas. Además de que se evaluaron diversas obras de control de inundaciones que hacen parte, o podrían formar parte, del Valle de Sula.

En dicha sesión se identificaron un total de 21 modos de fallo (Figura 41) relacionados con el riesgo de inundación en el área de estudio. Estos modos de fallo representan secuencias de eventos que pueden conducir a un funcionamiento inadecuado del sistema de protección frente a inundaciones o de sus componentes. Estos modos de fallo se agruparon según la situación actual (con el foco en obras históricas en el valle como es el caso de los canales de alivio y los bordos longitudinales), obras de retención aguas arriba y del sistema de gestión del riesgo.

SITUACIÓN ACTUAL CON BORDOS Y CANALES		OBRAS DE RETENCIÓN AGUAS ARRIBA	SISTEMA DE GESTIÓN DEL RIESGO
MF1: Desbordamiento de bordos e inundación	MF7: Asolvamiento de cauces e inundación	MF13: Incorrecta gestión de embalse y sueltas aguas abajo	MF16: Deconfianza en pronóstico y medidas no efectivas
MF2: Erosión pie de bordos, deslizamiento e inundación	MF8: Sedimentación reduce capacidad de cauces y sobrepaso	MF14: Sedimentación y pérdida de capacidad del embalse	MF17: Aumento de población en zonas inundables
MF3: Inundación de origen pluvial en áreas estancas	MF9: Espigones provocan erosión en bordos	MF15: Sismo, fallo de presa y descargas no controladas	MF18: Desvío del río por explotaciones mineras e inundación
MF4: Debilitamiento de bordos y fallos en zonas débiles	MF10: Daño en muro de gaviones y vuelco		MF19: Sedimentación por explotación minera y sobrepaso de cauces
MF5: Tubificación, rotura de bordos e inundación	MF11: Subida nivel de río impide drenaje pluvial		MF20: Tala de árboles y deslizamientos de tierra
MF6: Asolvamiento zona baja e inundación	MF12: Subida nivel en canales y sobrepaso		MF21: Alta humedad en el suelo y deslizamientos de tierra

Figura 41. Resumen de modos de fallo identificados. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).

Posteriormente, los modos de fallo se clasificaron de acuerdo con la probabilidad de fallo asociada y las consecuencias que tendrían lugar de originarse el fallo (Figura 42). La Tabla 3 muestra la clasificación grupal asignada a cada uno de los modos de fallo.

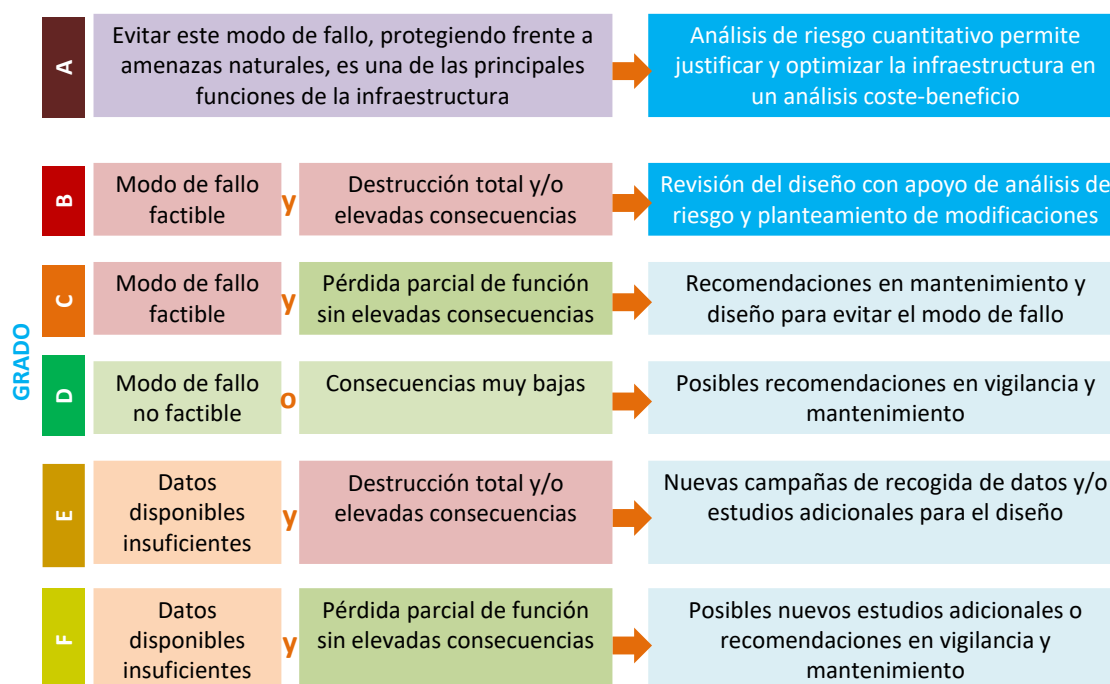


Figura 42. Resumen de clasificación de modos de fallo. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).

	Modo de fallo	Grado
1	Desbordamiento de bordos e inundación	A
2	Erosión pie de bordos, deslizamiento e inundación	A
3	Inundación pluvial en áreas estancas	B-C
4	Debilitamiento de bordos y fallos en zonas débiles	A
5	Tubificación, rotura de bordos e inundación	A
6	Colmatación zona baja e inundación	A-C
7	Colmatación de cauces e inundación	A
8	Sedimentación reduce capacidad y sobrepaso	A-E
9	Espigones provocan erosión en bordos	B
10	Daño en muro de gaviones y vuelco	B
11	Subida de nivel en río impide drenaje pluvial	A-C
12	Subida de nivel en canales y sobrepaso	A
13	Incorrecta gestión del embalse y descargas aguas abajo	B-C
14	Sedimentación y pérdida de capacidad embalse	B-C
15	Sismo, fallo de presas y descargas no controladas	D-B
16	Desconfianza en el pronóstico y acciones no efectivas	B-C
17	Aumento de población en zonas inundables	A
18	Explotación minera desvía el río e inundación	B-A
19	Explotación minera genera sedimentación y sobrepaso	B-A
20	Tala de árboles provoca deslizamientos de tierra	B-A
21	Alta humedad de suelo provoca deslizamientos de tierra	B-C

Tabla 3. Clasificación de Modos de Fallo para obras de protección frente a inundaciones en el Valle de Sula. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).

Estos resultados muestran varios modos de fallo con grado A y B, siendo **modos de fallo que ya han tenido lugar o con una gran probabilidad de ocurrencia y generando unas consecuencias elevadas**. En este sentido, la prevalencia de modos de fallo de grado A da buena cuenta de la gran problemática de

inundaciones existente en la zona y su complejidad, indicando la necesidad de realizar actuaciones que permitan reducir el riesgo mediante medidas estructurales y no estructurales. Estos resultados, además son acordes a las principales conclusiones alcanzadas durante la narrativa de riesgo (Subpartado 7.4).

Consecuentemente, dentro del mismo taller se identificaron un total de 10 recomendaciones directas que ayuden al objetivo de reducir el riesgo en el Valle. Con el fin de organizar estas propuestas y planificar su implementación a lo largo del tiempo, estas se dividieron en cuatro grupos tal y como se muestra en la Tabla 4:

- **Acciones a corto plazo:** Acciones para ser realizadas lo antes posible para disminuir la actual situación crítica de riesgo de inundación en el Valle y permitir el desarrollo del resto de acciones.
- **Acciones a medio plazo:** Mejoras a implementar entre los próximos meses y 2 años para reforzar la respuesta frente a inundaciones de la comunidad.
- **Acciones a largo plazo:** Mejoras que deben analizarse en detalle e implementarse si es conveniente durante los próximos 5/10 años para reducir el riesgo de inundación en la cuenca.
- **Acciones que permiten una gestión sostenible:** Mejoras que deben iniciarse lo antes posible y ponerse en práctica de forma continua a lo largo del tiempo para garantizar una gestión apropiada del riesgo de inundación en este sistema.

	Propuesta de mejora	Modos de fallo
Corto plazo	1. Diagnóstico de bordos y estudio sobre la necesidad de reconstrucción de los mismos	MF1, MF2, MF3, MF4, MF5, MF8 y MF9
	2. Inventario de infraestructuras hidráulicas	MF1, MF2, MF3, MF4, MF5, MF6, MF7, MF8, MF9, MF10, MF11, MF12, MF18 y MF19
Medio plazo	3. Refuerzo de Sistema de Alerta Temprana	MF16 y MF17
	4. Fortalecimiento de respuesta comunitaria	MF16, MF17 y MF18
Largo plazo	5. Análisis y recuperación de drenaje	MF3, MF6, MF7, MF8, MF11, MF18 y MF19
	6. Estudio de viabilidad de obras de retención	MF13, MF14 y MF15
	7. Plan de mantenimiento y vigilancia	MF2, MF4, MF5, MF6, MF7, MF8, MF9, MF10, MF14, MF15, MF17, MF18, MF19, MF20 y MF21
Gestión sostenible del sistema	8. Plan de gestión de cuencas	Todos
	9. Plan de Ordenamiento Territorial	MF3, MF4, MF17, MF18, MF19 y MF20
	10. Promover construcciones más resilientes	Todos

Tabla 4. Resumen y planning de propuestas de mejora realizadas a partir de los modos de fallo identificados. Fuente: Modelización hidráulica e informe de modos de fallo del Valle de Sula (iPresas, 2021).

7.6. Clasificación obtenida tras Fase 2

Teniendo en cuenta los resultados del taller de identificación de modos de fallo, varios de ellos clasificados con grado A y B y, además, cierto grado de incertidumbre en relación con muchos de ellos, se entiende necesario avanzar al **Paso 5. Análisis cuantitativo de riesgo** de la MERDCC.

Con el desarrollo de un modelo de riesgo no solo se busca poder cuantificar el riesgo de inundaciones existente en el Valle, sino que en este caso se presenta como una herramienta útil y necesaria para poder apoyar y justificar (o no) las obras propuestas en el Apartado 4 (siguiente apartado). Estas obras propuestas se ubicarían dentro de la recomendación número 5 de acuerdo con la Tabla 4.

7.7. Paso 5. Análisis cuantitativo

En el presente estudio se ha desarrollado un **modelo de riesgo cuantitativo** (Figura 43) a fin de cuantificar el riesgo en situación actual en el Valle de Sula y poder justificar la viabilidad de la inversión en las obras de control de inundaciones propuestas por la SIT y explicadas en el Apartado 4.

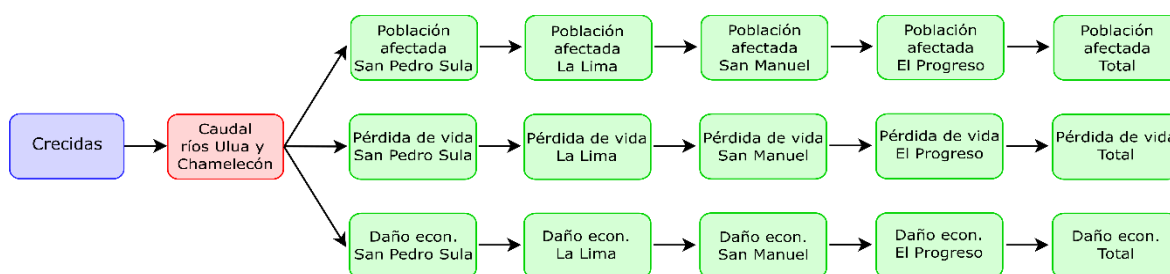


Figura 43. Arquitectura del modelo de riesgo.

Los resultados numéricos de riesgo se muestran en la Tabla 5 (caso sin obras) y la Tabla 6 (caso con obras). La Tabla 7 muestra la reducción porcentual en términos de riesgo social y económico que se consiguen tras la ejecución de las obras (todas las obras propuestas en conjunto). Cada uno de los escenarios particulares (Chamelecón, Ulúa y Ambos) hace referencia a hipótesis que se han considerado de cara a poder abarcar diferentes condiciones hidrológicas en la cuenca de cada uno de los ríos (como se explica en el Producto 3.2. Estimación de consecuencias y análisis de riesgo cuantitativo):

- Chamelecón: Considera que no ocurren crecidas simultáneas asociadas al mismo período de retorno por los dos cauces principales del sistema, en este caso la cuenca predominante es la del río Chamelecón.
- Ulúa: Considera que no ocurren crecidas simultáneas asociadas al mismo período de retorno por los dos cauces principales del sistema, en este caso la cuenca predominante es la del río Ulúa.
- Ambos ríos Base: Considera que ocurren crecidas simultáneas asociadas al mismo período de retorno por los dos cauces principales del sistema, aplicando un factor de reducción areal.

Escenario Base	Riesgo social (vidas/año)	Riesgo social (afectados/año)	Riesgo económico (M\$USD/año)
Chamelecón	2.5	25269	44.7
Ulúa	2.4	23696	47.3
Ambos	1.4	13943	22.4

Tabla 5. Resultados de riesgo para el caso base (sin obras) según predominancia hidrológica de ríos.

Escenario con Obras	Riesgo social (vidas/año)	Riesgo social (afectados/año)	Riesgo económico (M\$USD/año)
Chamelecón	1.7	16859	30.2
Ulúa	1.6	15442	33.4
Ambos	0.9	8649	14.1

Tabla 6. Resultados de riesgo para el escenario con obras según predominancia hidrológica de ríos.

Diferencia de riesgo porcentual entre crecientes			
Escenario con Obras	Pérdida de vidas (%)	Personas afectadas (%)	Riesgo económico (%)
Chamelecón	33%	33%	32%
Ulúa	35%	35%	29%
Ambos	38%	38%	37%

Tabla 7. Reducción porcentual del riesgo al ejecutar las obras respecto al escenario sin obras.

Como se puede observar por comparación con los valores de riesgo para la situación actual, y así se refleja en la Tabla 7, la ejecución de las obras ayuda a reducir el riesgo alrededor de un 35% respecto al escenario actual. Estos valores permiten justificar que **la ejecución en bloque de las obras propuestas consigue reducir el riesgo actual de inundaciones existente en el Valle de Sula.**

A partir del análisis de resultados del análisis cuantitativo del riesgo, se obtiene que en la condición proyectada con las obras de mitigación, el **beneficio social** en términos del número de personas que en promedio no se afectarán por inundación es de alrededor de **8,400 personas al año**. Por su parte el **beneficio económico** previsto en promedio es de aproximadamente **14.5 millones de dólares al año**, valor teórico que se ahorrará de las pérdidas económicas estimadas en un escenario actual, sin la implantación de obras.

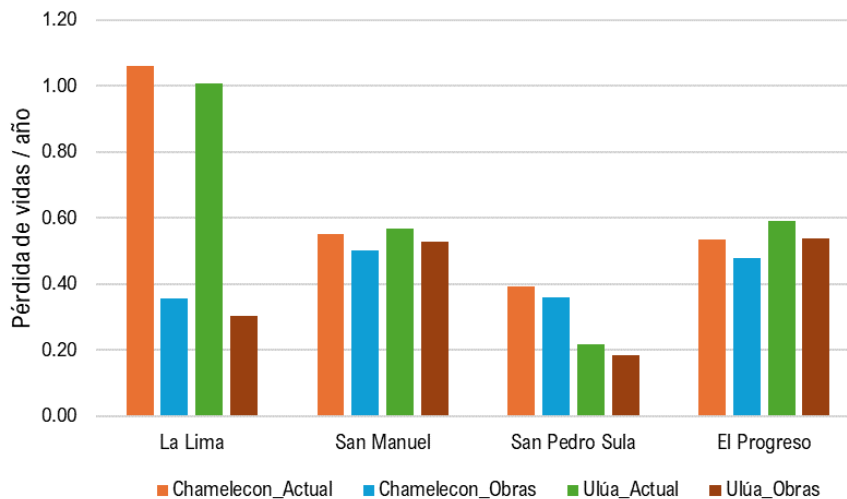


Figura 7.44. Riesgo social en vidas/año para cada uno de los municipios en función de cada uno de los escenarios considerados.

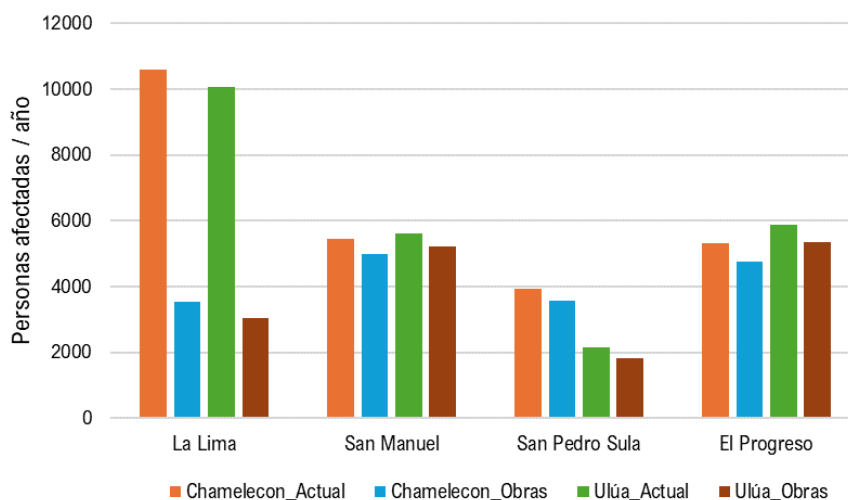


Figura 7.45. Riesgo social en personas afectadas/año para cada uno de los municipios en función de cada uno de los escenarios considerados.

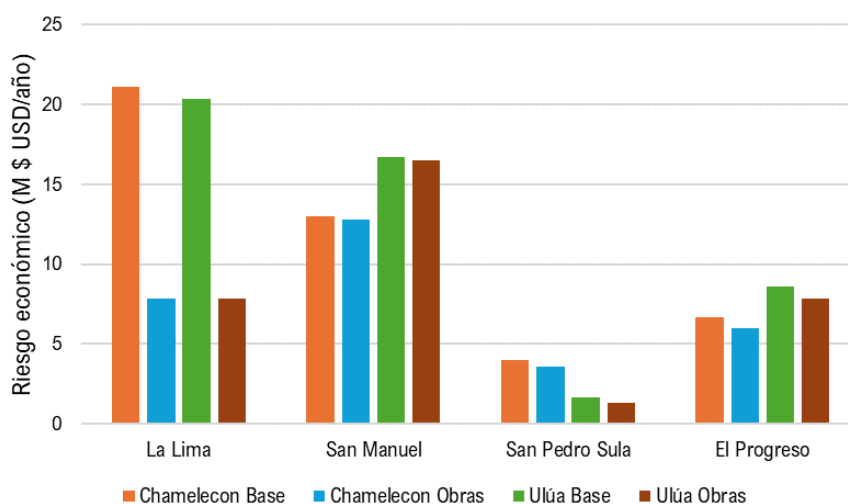


Figura 7.46. Riesgo económico en millones de \$USD/año para cada uno de los municipios en función de cada uno de los escenarios considerados.

Adicionalmente, en los gráficos anteriores se muestra que **las obras ayudan a reducir el riesgo social (en sus dos componentes) así como el riesgo económico en los cuatro municipios**. El caso donde más se reduce el riesgo es en La Lima (se reduce alrededor de un 65%), que es a su vez el municipio que presenta mayor riesgo en situación actual. La reducción del riesgo que ofrecen las obras de protección se cuantifica de alrededor de un 35%.

Por último, para el caso hidrológico donde predomina la cuenca del río Ulua, se ha realizado un análisis extra para considerar un escenario tendencial a largo plazo (2100) de acuerdo con el escenario RCP 8.5. El mismo tiene en cuenta un aumento de las solicitaciones hidrológicas (efecto del cambio climático) y también una estimación a futuro de la población (la misma se prevé que aumentará en el tiempo de acuerdo con las tendencias demográficas actuales de cada municipio). Los gráficos desde la Figura 7.47 a la Figura 7.49 muestran los gráficos FN y FD del escenario tendencial evaluado en contraste con el escenario actual, en ambos casos sin y con obras. Se muestra que **en escenarios futuros el riesgo tenderá a incrementarse,**

aunque las obras seguirán siendo importantes de cara a conseguir reducir el riesgo de inundaciones en las áreas pobladas evaluadas.

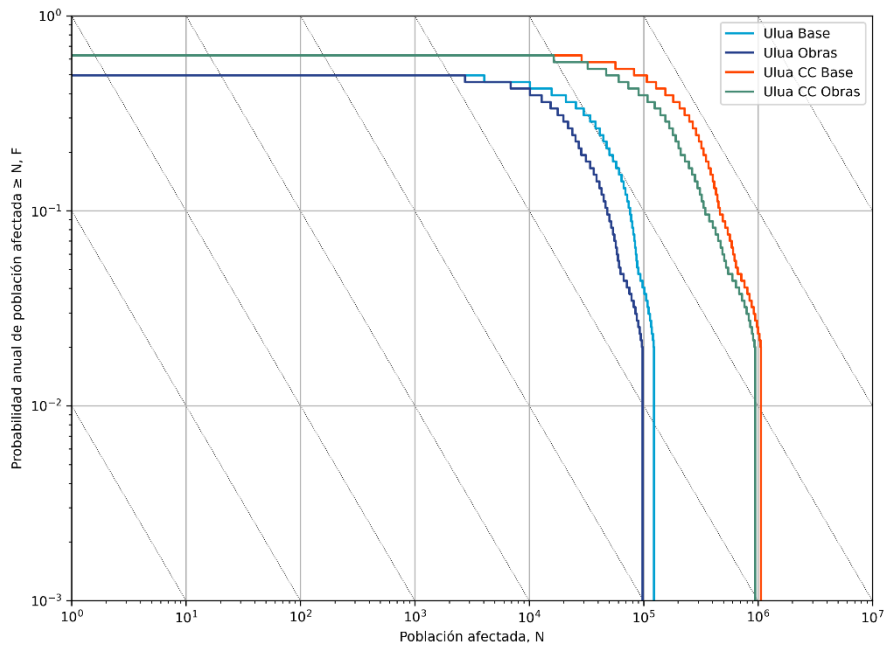


Figura 7.47. Gráfico FN de población afectada para el escenario tendencial (cambio climático y proyección de población) con predominancia del río Ulua y el escenario actual. En ambos escenarios sin y con obras.

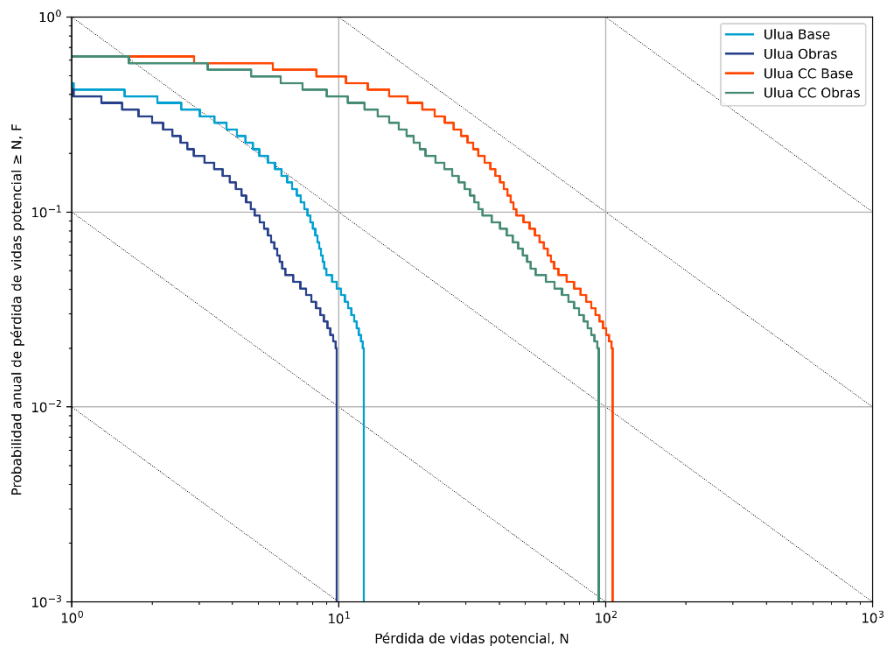


Figura 7.9. Gráfico FN de pérdida de vida para el escenario tendencial (cambio climático y proyección de población) con predominancia del río Ulua y el escenario actual. En ambos escenarios sin y con obras.

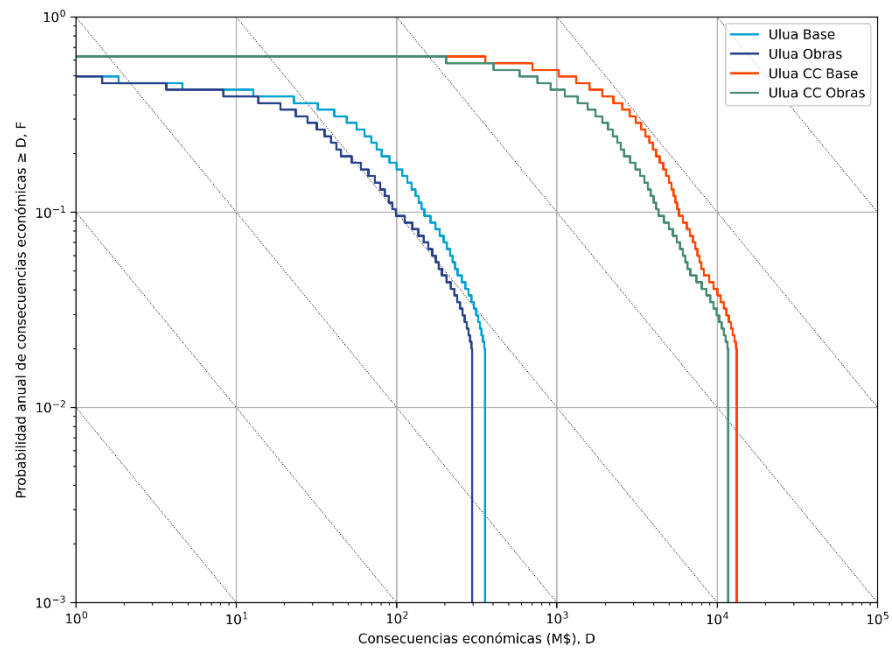


Figura 7.49. Gráfico FD de consecuencias económicas para el escenario tendencial (cambio climático y proyección de población) con predominancia del río Ulua y el escenario actual. En ambos escenarios sin y con obras.

8. SEGUIMIENTO DE LA MERDCC Y CONCLUSIONES PRINCIPALES

Una vez concluida esta fase, se detalla el estado actual de acuerdo con la aplicación de la MERDCC (BID, 2019):

- Status Pasos 1 y 2: **Completo**.
- Status Paso 3: **Completo**.
- Status Paso 4: **Completo**.
- Status Paso 5: **Completo**.
- Plan de Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio Climático (PGRD): El PGRD incluye medidas específicas para reducir el riesgo que se ha identificado en la presente ERD. El PGRD, aún a expensas de poder ser actualizado, incluye recomendaciones para cada una de las obras de control de inundaciones planteadas, y para las diferentes fases de operación de esta (preinversión y diseño, construcción y operación y mantenimiento). Asimismo, se identifican los responsables de ejecutar cada una de las medidas. **Completo**.

Tras la aplicación de todos los pasos de la MERDCC durante el proyecto, se resumen a continuación la **principales conclusiones** obtenidas:

- El modelo de riesgo permitió conocer el riesgo actual en términos sociales y económicos. Además se presentó como una herramienta útil para reducir las incertidumbres detectadas para cada una de las obras planteadas.
- De acuerdo con los resultados de riesgo obtenidos y teniendo en cuenta las hipótesis adoptadas en la definición de los escenarios hidrológicos explicadas en el *Producto 3.2*, **no existe una condición hidrológica crítica clara**. Pues a pesar de que la cuenca del río Ulua es capaz de introducir al Valle un volumen superior de agua respecto a la cuenca del río Chamelecón, para el mismo período de retorno, la mayor exposición de la población en la cuenca baja del río Chamelecón respecto a la cuenca baja del río Ulúa compensa esta diferencia hasta prácticamente obtener valores de riesgo muy similares entre ambos escenarios.
- Los valores de riesgo indican que en **situación actual** la pérdida potencial de vida es de alrededor de **2.5 personas al año**, con una población afectada promedio de alrededor de unas **25,000 personas anualmente**. Por último, el riesgo económico en situación actual, teniendo en cuenta únicamente las afecciones a las viviendas, asciende hasta aproximadamente **46 millones de \$USD al año**.
- La ejecución de las obras de mitigación propuestas contribuye a reducir el riesgo social y económico alrededor de un 35% respecto al escenario actual. El valor de pérdida de vidas se reduce a **1.6 personas al año**, con una población afectada promedio de alrededor de unas **16,000 personas anualmente**, mientras que el riesgo económico se reduce a un valor aproximado de **32 millones de \$USD al año**.
- **Estas obras han resultado ser beneficiosas, en términos de reducción de riesgo, en cada una de las poblaciones** que han sido analizadas con mayor detalle. Teniendo en algunos casos un efecto limitado, pero nunca adverso.
- De los escenarios con **cambio climático** se concluye que el riesgo a largo plazo (año 2100) aumentará considerablemente respecto a la situación actual (año 2023), esto se debe a que aumentarán las precipitaciones máximas en la zona de estudio y además, aumentará la exposición a las inundaciones, producido por el ascenso demográfico. Las obras propuestas, también en escenario futuro, ayudan a **reducir el riesgo en un 28% respecto al escenario tendencial sin obras**.

A partir del análisis de resultados del análisis cuantitativo del riesgo, en la condición proyectada con las obras de mitigación, el **beneficio social** en términos del número de personas que en promedio no se afectarán por inundación es de alrededor de **8400 personas al año**. Por su parte el **beneficio económico** previsto en promedio es de aproximadamente **14.5 millones de dólares al año**, valor teórico que se ahorrará de las pérdidas económicas estimadas en un escenario actual, sin la implantación de obras. Dichos resultados permiten justificar que **la ejecución en bloque de las obras propuestas consigue reducir significativamente el riesgo actual de inundaciones existente en el Valle de Sula**. No obstante, y atado a la anterior conclusión, se debe asegurar el cumplimiento del PGRD para cada una de las obras, y para cada fase de estas.

Es importante señalar que los resultados y conclusiones expuestas en el presente informe constituyen un resultado preliminar del avance y desarrollo del proyecto, que será actualizado con el modelo de elevación digital del terreno actual (2023), así como con la debida caracterización socioeconómica del área de estudio para consolidar la Base de Datos Espacial, que permita mejorar la estimación de las consecuencias en cada uno de los escenarios comparados. Aun así, los resultados expuestos en el presente informe constituyen una aproximación técnicamente apropiada y relevante para la justificación y priorización de obras de mitigación de la amenaza por inundación en el sistema hidráulico del Valle de Sula.