

Adaptación al Cambio Climático y Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en La Ceiba, Honduras



Alberto Vega y Roberto Jiménez
Fernando Miralles-Wilhelm y Raúl Muñoz Castillo



Esta monografía forma parte de los productos de conocimiento de la División de Agua y Saneamiento (WSA) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), efectuada bajo la dirección del Jefe de División Sergio I. Campos G. Dicha monografía forma parte de una serie de casos de estudios de adaptación al cambio climático dirigidos por Fernando Miralles Wilhelm apoyado por Raúl Muñoz Castillo, que contó con comentarios de los miembros de la División, destacándose especialmente los de Jorge Ducci. Anamaría Núñez ha apoyado en la edición y proceso de publicación.

El BID quisiera agradecer al Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF, por sus siglas en inglés) por el apoyo financiero brindado para este estudio.

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Adaptación al cambio climático y manejo integrado de los recursos hídricos en La Ceiba, Honduras / Alberto Vega, Roberto Jiménez, Fernando Miralles-Wilhelm, Raúl Muñoz Castillo.

p. cm. — (Monografía del BID ; 360)
Incluye referencias bibliográficas.

1. Water-supply—Honduras. 2. Water resources development—Honduras. 3. Climate change mitigation—Honduras. 4. Environmental protection—Honduras. I. Vega, Alberto. II. Jiménez Roberto. III. Miralles Wilhelm, Fernando. IV. Muñoz Castillo, Raúl. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. VI. Serie.

IDB-MG-360

JEL code: Q01; Q25; Q53; Q54; Q56; Q57; F63; F64

Palabras clave: Desarrollo sostenible, agua, cambio climático, adaptación, desarrollo económico, BID, Banco Interamericano de Desarrollo, medio ambiente, Honduras, América Latina y el Caribe, gestión de recursos hídricos, Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF)

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2015 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa .



Contenido

Acrónimos.....	5
Prefacio	7
1.0 Introducción	8
1.1 Objetivo de este caso de estudio	9
1.2 Alcance del proyecto de adaptación.....	9
1.3 Participación de las partes interesadas.....	10
1.4 Organización de este informe.....	10
2.0 Enfoque metodológico	12
3.0 Perfil del peligro: impactos del cambio climático en la ceiba	15
3.1 Peligros relacionados con la inundación	16
3.2 Intrusión salina.....	25
3.3 Efectos en la comunidad debido a los riesgos naturales.....	26
4.0 Evaluación de la vulnerabilidad	32
4.1 Capacidad protectora.....	35
4.2 Capacidad de respuesta	37
4.3 Capacidad de recuperación.....	39
4.4 Capacidad de adaptación.....	40
5.0 Evaluación de futuros impactos del cambio climático	42
5.1 Metodología	43
5.2 Usos del suelo y proyecciones del cambio climático.....	53
5.3 Resultados técnicos.....	55
5.4 Evaluación de las opciones propuestas por las partes interesadas	64
5.5 Conclusiones.....	71
6.0 Principales recomendaciones y conclusiones	74
6.1 Principales recomendaciones.....	75
6.2 Análisis costo-beneficios	77
6.3 Aspectos ambientales y sociales.....	79
7.0 Referencias	80
Anexos	
a Escenario proyectado del uso del suelo para el 2050.....	82
b Selección del escenario para el cambio climático para el 2050.....	96

Lista de tablas

Tabla 3-1: Costo promedio estimado de daños estructurales en las hogares (uss).....	27
Tabla 4-1: Capacidades que determinan la vulnerabilidad	35
Tabla 5-1: Características hidrológicas de la cuenca del río cangrejal.....	45
Tabla 5-2: Estimados de precipitación para tres períodos de retorno.....	47
Tabla 5-3: Escenarios considerados en el análisis hidrológico e hidráulico	48
Tabla 5-4: Escenarios considerados para el análisis de inundaciones costeras	49
Tabla 5-5: Datos históricos del caudal de la estación de aforo las mangas	50



Tabla 5-6:	Escenarios considerados en el análisis hidrodinámico.....	52
Tabla 5-7:	Uso del suelo existente y proyectado para la cuenca del río cangrejal	54
Tabla 5-8:	VARIABLES seleccionadas para el cambio climático.....	54
Tabla 5-9:	Estimaciones del flujo máximo para el río cangrejal	55
Tabla 5-10:	Estimaciones de la profundidad de agua según hec-ras.....	57
Tabla 5-11:	Zonas de inundación según hec-georas	57
Tabla 5-12:	Efectividad de las intervenciones propuestas para un evento de tormenta a 100 años.....	70
Tabla 6-1:	Valor actual neto de los beneficios estimados por la reducción de riesgos de desastres.....	78
Tabla 6-2:	Tasa interna de retorno según el monto de inversión	79

Lista de figuras

Figura 2-1:	Enfoque en los procesos de adaptación	12
Figura 3-1:	El río cangrejal y sus afluentes (vista de la cuenca)	17
Figura 3-2:	Extensión prevista de las inundaciones bajo las condiciones existentes (período de retorno de 20-años)	19
Figura 3-3:	Incidencia de huracanes según la categoría de la tormenta (1970-2004)	
Figura 3-4:	Desarrollo expuesto a lo largo de la costa en la ceiba.....	22
Figura 3-5:	Áreas con riesgo de erosión costera y un evento de marejada ciclónica de 3-metros	23
Figura 3-6:	áreas con riesgo de inundaciones debido a un drenaje deficiente o inexistente	24
Figura 3-7:	casas en un asentamiento informal a lo largo del río cangrejal.....	28
Figura 3-8:	basura a lo largo del río cangrejal.....	30
Figura 3-9:	letrina en un hogar en un asentamiento informal a lo largo del río cangrejal.....	31
Figura 4-1:	factores y capacidades que determinan la vulnerabilidad	32
Figura 4-2:	ubicación de las comunidades incluidas en la evaluación de la vulnerabilidad	34
Figura 5-1:	modelo hec-hms para la cuenca del río cangrejal.....	44
Figura 5-2:	ubicación de las estaciones hidrométricas	46
Figura 5-3:	modelo del ciclo de marea para la ceiba	51
Figura 5-4:	condiciones fronterizas para el modelo hidrodinámico 2-d del río cangrejal.....	52
Figura 5-5:	escenario proyectado del uso del suelo para el 2050.....	53
Figura 5-6:	hidrogramas generados en un punto aguas abajo para tres períodos de retorno diferentes	56
Figura 5-7:	mapa de inundaciones mostrando las áreas bajo riesgo para un evento de tormenta a 100 años	58
Figura 5-8:	áreas bajo riesgo de inundación debido a las marejadas ciclónicas.....	59
Figura 5-9:	niveles máximos de salinidad a lo largo del río cangrejal (21 junio, 2013, estación seca).....	60
Figura 5-10:	series cronológicas de salinidad-wse para las condiciones existentes y futuras.....	61
Figura 5-11:	medida prevista de la cuña salina con respecto a las ubicaciones conocidas de los pozos de agua.....	62
Figura 5-12:	adaptación no. 1: diques adicionales a lo largo del río cangrejal.....	65
Figura 5-13:	adaptación no. 2: canal desde el río cangrejal hasta el mar caribe.....	66
Figura 5-14:	adaptación no. 3: ubicación de la presa para el control de flujo.....	68
Figura 5-15:	adaptación no. 4: ubicación del túnel artificial.....	69
Figura 5-16:	mapas de las inundaciones para los tres periodos de retorno.....	72
Figura 6-1:	ubicación y extensión estimada de los asentamientos a lo largo del río cangrejal	76



Acrónimos

BC	Boundary Conditions <i>Condiciones frontera</i>
CESAMOS	Centro de Salud Médico Odontológico <i>Medical and Dental Health Center</i>
CESAR	Centro de Salud Rural <i>Rural Health Center</i>
CODEL	Comité de Emergencia Local <i>Local Emergency Committee</i>
CODEM	Comité de Emergencia Municipal <i>Municipal Emergency Committee</i>
COPECO	Comisión Permanente de Contingencias <i>Permanent Contingency Commission</i>
CN	Curve Number <i>Número de curva</i>
CREDIA	Centro Regional de Documentación e Interpretación Ambiental <i>Regional Center for Environmental Education and Learning Repository</i>
DEM	Digital Elevation Model <i>Modelo de Elevación Digital</i>
ERM	Environmental Resources Management
GEMSS	Generalized Environmental Modeling System for Surfacewaters <i>Sistema Generalizado de Modelado Ambiental para Aguas Superficiales</i>
GHG	Greenhouse gases <i>Gases de efecto invernadero</i>
GIS	Geographic Information System <i>Sistema de Información Geográfica</i>
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System <i>Centro de Ingeniería Hidrológica – Sistema de Modelado Hidrológico</i>
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center – River Analysis System <i>Centro de Ingeniería Hidrológica – Sistema de Modelado Hidrológico</i>



IDB	Inter-American Development Bank <i>Banco Interamericano de Desarrollo</i>
NGO	Non-Government Organizations <i>Organizaciones no gubernamentales</i>
ENSO	El Niño-Southern Oscillation <i>Oscilación del Sur El Niño</i>
IDF	Intensidad-Duración-Frecuencia <i>Intensity-Duration-Frequency</i>
MAGICC	Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change <i>Modelo para la evaluación de cambio climático inducido por gases de efecto invernadero</i>
NASA	National Aeronautics and Space Administration <i>Administración Aeronáutica y Espacial de Estados Unidos</i>
NDF	Fondo Nórdico de Desarrollo <i>Nordic Development Fund</i>
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Administration <i>Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de Estados Unidos</i>
OMASAN	Oficina Municipal de Agua y Saneamiento (Municipalidad de La Ceiba) <i>Municipal Water and Sanitation Department</i>
SANAA	Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados <i>National Aqueduct and Sewer Autonomous Service</i>
SCENGEN	Spatial Climate-Change Scenario GENERator <i>Generador Espacial de Escenarios de Cambio Climático</i>
SERNA	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente <i>Ministry of Environment and Natural ReFuentes</i>
SINIT	Sistema Nacional de Información Territorial <i>Land Information National System</i>
USGS	United States Geological Survey <i>Servicio Geológico de Estados Unidos</i>
WSA	Water and Sanitation Sector <i>Sector Agua y Saneamiento</i>



Prefacio

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha reconocido que sus actividades en los países de América Latina y la Región del Caribe y tienen un gran potencial para ser impactados por los efectos del cambio climático. Este es particularmente el caso para proyectos de saneamiento y el sector hídrico (WSA, por sus siglas en inglés) que se encuentran actualmente en las etapas de planificación y ejecución en la región. La mayoría de las experiencias de adaptación en el sector de WSA se han desarrollado a una escala global, con limitada experiencia existente a nivel local (por ejemplo, a escala de cuencas). Esta brecha presenta un reto para desarrollar el conocimiento sobre el área que profundiza la experiencia del BID en materia de adaptación al cambio climático en el sector de WSA y ayuda a definir las políticas y mejores prácticas en la adaptación a nivel regional y del país. Esto es especialmente aplicable a los países de Centroamérica.

El objetivo de este proyecto de Cooperación Técnica es apoyar el proceso para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático en las comunidades en Centroamérica. Al tomar en cuenta la variedad de posibles riesgos y vulnerabilidades, los planes para futuras inversiones en infraestructuras hídricas y de saneamiento pueden integrar conceptos que reduzcan la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia a los riesgos climáticos, lo que llevaría a resultados de desarrollo más sostenibles.

Actualmente Honduras es considerada uno de los países más vulnerables al cambio climático en América Latina debido a su alta exposición a fenómenos meteorológicos extremos. Seis de los doce huracanes más fuertes del siglo 20 han impactado Honduras, incluido el huracán Mitch en 1998, que ha sido la tormenta más severa, que se sepa, que haya azotado la región. La tormenta provocó inundaciones repentinas y deslizamientos de tierra, lo que causó un estimado de 10.000 muertes, destruyendo el 70% de la infraestructura vial del país y la red de agua potable, y dio lugar a grandes pérdidas de cultivos.

Los pronósticos del cambio climático para Centroamérica sugieren un aumento en la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales y eventos de intensa pluviosidad. Además, las proyecciones climáticas sugieren también, que el nivel del mar podría subir hasta 60 cm para el año 2050, ejerciendo una mayor presión sobre las zonas costeras ya vulnerables. Estos peligros naturales son una preocupación particular en la ciudad costera de La Ceiba, Honduras.

Este caso de estudio es un ejemplo de un enfoque potencial para hacer frente a la adaptación y la reducción de la vulnerabilidad en una ciudad costera en desarrollo. Esta experiencia de adaptación ha dado lugar a una estrategia de adaptación de las partes interesadas, centrada en el sector de la WSA, que combina medidas de infraestructura y medidas basadas en políticas para reducir la vulnerabilidad a una serie de riesgos naturales, desde la elevación del nivel del mar a inundaciones de ríos y del litoral, a la contaminación de fuentes de agua potable.

Las lecciones aprendidas en La Ceiba es probable que sean aplicables a otros esfuerzos en la región donde se aborde la sensibilidad del litoral frente al cambio climático como una prioridad importante. De cara al futuro, los resultados de este Proyecto de Cooperación Técnica serán utilizados para informar el diseño de medidas de adaptación locales y específicas para abordar los impactos del cambio climático en el sector de la WSA.



1. Introducción

La empresa, *Environmental Resources Management* (ERM) fue seleccionada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para llevar a cabo un análisis de los posibles impactos que el cambio climático podría tener sobre los recursos hídricos y la infraestructura de la ciudad de La Ceiba, y para identificar las posibles medidas de adaptación. Este proceso se centró en:

- Entender los efectos potenciales que las variables inducidas los cambios climáticos (ej. aumento del nivel del mar, frecuencia e intensidad de las lluvias) puedan tener en el ciclo de agua, incluyendo el alcance y la recurrencia de las inundaciones costeras y fluviales.
- Evaluar el alcance de la intrusión de agua salada y el efecto que puede tener sobre las fuentes superficiales y subterráneas de agua potable;
- La caracterización y cartografía, en la medida posible, de la vulnerabilidad de la población, la economía y la infraestructura a los impactos provocados por el clima; y,
- Llevar a cabo, en consulta con las partes interesadas locales, un análisis y priorización de las medidas de adaptación que se pueden implementar para reducir la vulnerabilidad a los impactos.

El BID aprobó¹ el desarrollo de este caso de estudio bajo una cooperación técnica con miras a aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático en las comunidades en toda América Central, con un enfoque en la creación de resiliencia a través de inversiones en infraestructuras específicas en el sector de Saneamiento y el sector Hídrico (WSA).

La Ceiba es un ejemplo de una ciudad de América Latina ante el reto de la adaptación al aumento del nivel del mar y las inundaciones causadas por tormentas de mayor frecuencia e intensidad. Se espera que esta experiencia de adaptación pueda apoyar a los responsables de las políticas locales en entender y responder tanto a riesgos futuros como presentes.

El proceso de adaptación documentado en este estudio ofrece lecciones clave que pueden ser aprovechadas por los planificadores de la adaptación y los gobiernos estatales de la región para llevar a cabo procesos de adaptación similares. Este estudio proporciona mensajes clave en torno a las siguientes áreas: i) evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático, ii) la predicción de futuros peligros relacionados con el clima, iii) la identificación y evaluación de las medidas de adaptación viables y costo-efectivas, y iv) la priorización de las inversiones potenciales futuras para su aplicación.

¹ Este caso de estudio fue desarrollado de acuerdo con las tareas que se describen en el documento del Plan de Trabajo, que ERM presentó el 8 de marzo del 2013, y el cual fue posteriormente aprobado por el BID. En referencia a dicho Plan de Trabajo, este informe cumple con los requisitos enumerados en la Tarea 1: Desarrollo e Implementación del Caso de Estudio sobre la Adaptación para la Ciudad de La Ceiba, Honduras.

1.1 Objetivo de este caso de estudio

En consulta con un conjunto diverso de partes interesadas, y en coordinación con el BID, ERM se dispuso a emprender un proceso que cumpliera con los siguientes objetivos:

- Evaluar los impactos que el cambio climático puede tener en las comunidades, sus medios de vida, y los activos y recursos en el sector WSA, especialmente aquellos que podrían ser el resultado de las inundaciones y la intrusión salina;
- Caracterizar las zonas de mayor vulnerabilidad, considerando los aspectos físicos y climáticos (por ejemplo, la hidrología, los riesgos de inundación, la infraestructura existente) y las características socioeconómicas (por ejemplo, las tendencias demográficas, los ingresos);
- Formular posibles opciones de adaptación con miras a reducir los riesgos evaluados y/o vulnerabilidades;
- Seleccionar una opción de adaptación sobre la base de la retroalimentación de las partes interesadas y varios criterios, tales como, la efectividad, la capacidad institucional para la implementación, y la aceptación por parte de la comunidad, entre otras; y
- Promover la transferencia de conocimientos mediante la participación activa del gobierno y la sociedad civil de las partes interesadas (a través de dos talleres en in La Ceiba).

1.2 Alcance del proyecto de adaptación

El proceso de adaptación realizado en La Ceiba se centró en el diseño de una estrategia de adaptación, que comprende obras de infraestructura, las políticas y medidas, para asegurar la capacidad de recuperación en el sector hídrico y de saneamiento ante el cambio climático, incluyendo la variabilidad. El enfoque en los activos y recursos hídricos y de saneamiento definieron los límites del sistema de prioridad en estudio, y por lo tanto, el alcance de este proyecto.

La Ceiba se caracteriza por una alta vulnerabilidad a los diversos riesgos climáticos, no sólo en términos de infraestructura clave en riesgo, sino también en términos de la capacidad de la población para hacer frente y adaptarse al cambio climático. Como paso inicial, el personal del proyecto de ERM y del BID visitó La Ceiba para reunirse con las partes interesadas, recibiendo los inputs que ayudaron a centrarse aún más el proyecto sobre los siguientes temas:

- Las inundaciones urbanas causadas por el desbordamiento del Río Cangrejal y las deficiencias en el sistema de drenaje de aguas pluviales;
- Las inundaciones costeras resultantes de fenómenos meteorológicos extremos (ejemplo, tormentas tropicales, frentes fríos) y marejadas ciclónicas asociadas;
- La contaminación de fuentes de aguas subterráneas de agua potable causada por la intrusión salina en el acuífero; y
- La erosión costera debido a procesos morfológicos naturales, que pueden estar influenciados por el ascenso del nivel del mar y las marejadas ciclónicas, así como por las actividades humanas, tales como la construcción de estructuras a lo largo de la costa y la minería en el lecho del río Cangrejal.

La visita inicial al sitio arrojó un mejor entendimiento de las prioridades de las partes interesadas. La Alcaldía de La Ceiba, una de las partes clave en el proceso de adaptación, estaba particularmente preocupada por los impactos a las fuentes de agua potable, así como las inundaciones debido a eventos meteorológicos extremos. Un grupo diverso de partes interesadas - desde el sector público al sector académico - también expresó su preocupación por las inundaciones urbanas y la continua erosión de las zonas urbanas y áreas costeras cercanas urbanizables.



1.3 Participación de las partes interesadas

La participación de las partes interesadas durante todo el proyecto ha sido un componente clave para asegurar un entendimiento común de los problemas y para crear adaptaciones que sean viables en el contexto local. Acorde con este objetivo, el proyecto estableció un proceso de participación de las partes interesadas que incluía, una primera visita para el análisis preliminar, una reunión con un grupo de expertos sobre el uso del suelo, y dos talleres formales de un día con un amplio conjunto de partes interesadas.

La visita de análisis preliminar se celebró del 6 al 8 de febrero, 2013 e incluyó una serie de reuniones por separado con las partes interesadas locales clave. Estas reuniones ayudaron a identificar a las principales partes interesadas, que a su vez ayudaron a determinar el alcance del proyecto. La visita también fue fundamental en obtener una comprensión inicial de la región bajo estudio, y la recopilación de datos iniciales para la línea base del proyecto. Durante esta visita, la Alcaldía de La Ceiba se estableció como el principal beneficiario del estudio de adaptación, mientras que el SANAA fue identificado como un asociado en la ejecución potencial dada su función de supervisión técnica en el sector hídrico y de saneamiento.

En diciembre del 2013, se convocó un taller de medio día con expertos locales para discutir el uso del suelo y las tendencias de urbanización en la cuenca del Río Cangrejal. El entender cómo estas tendencias pueden dar forma a la utilización del suelo en el futuro, y cómo esos cambios afectarían el comportamiento hidrológico del río, fueron elementos importantes para el análisis. La reunión, a la que asistieron 16 expertos locales, se centró en la discusión y validación de los supuestos que propiciaron el escenario preliminar del 2050 sobre el uso del suelo que ERM desarrolló en colaboración con CREDIA. Los resultados de esta reunión y las proyecciones validadas, están documentados en el Anexo A.

En febrero del 2014, fue convocado, con las partes interesadas, un taller de transferencia de conocimientos y compromiso más amplio. El objetivo del taller fue fortalecer la capacidad local mediante la ilustración de la magnitud de los riesgos naturales existentes, dando a conocer la evolución potencial de estos riesgos en el futuro debido al cambio climático, y discutir las posibles opciones para la adaptación y la reducción de la vulnerabilidad. El input adquirido durante este taller, tanto en términos de un mejor entendimiento de la vulnerabilidad en La Ceiba y un intercambio de ideas de posibles opciones de adaptación, ha sido documentado en este caso de estudio.

En agosto del 2014, ERM realizó el último taller programado, que sirvió para presentar las principales conclusiones del caso de estudio y ofrecer nuestras recomendaciones sobre las posibles acciones de mitigación y de adaptación que se pueden emprender en respuesta a los riesgos evaluados. El objetivo principal de este taller se centró en obtener el aporte de los expertos locales y tomadores de decisiones sobre aspectos relacionados con la viabilidad y puesta en práctica de las medidas propuestas. En general, los talleres realizados durante este proceso, también sirvieron para crear una comunidad local de partes interesadas que están involucradas en el proceso de adaptación y quienes compartieron una visión de sostenibilidad a largo plazo para la ciudad.

1.4 Organización de este informe

Además de esta introducción, este caso de estudio incluye los siguientes Capítulos:

- Capítulo 2 Enfoque Metodológico:** presenta la metodología bajo la cual ERM ha desarrollado y coordinado esta experiencia de adaptación basada en el riesgo en La Ceiba.
- Capítulo 3 Perfil de Riesgos:** caracteriza a un alto nivel, la frecuencia, la magnitud y el alcance de los riesgos naturales relacionados con el clima que enfrenta La Ceiba, basados en literatura revisada y el input de los residentes y expertos locales.
- Capítulo 4 Evaluación de la Vulnerabilidad:** ofrece una visión general de los factores que se cree, conducen a la vulnerabilidad en el contexto local, e identifica las zonas propensas a los desastres naturales bajo estudio.

Capítulo 5 Evaluación de Futuros Impactos del Cambio Climático: presenta los resultados de los análisis técnicos realizados por ERM para estudiar cómo el cambio climático puede exacerbar los riesgos naturales que actualmente amenazan a La Ceiba. El Capítulo también evalúa las opciones para reducir el riesgo de inundaciones en las zonas adyacentes al Río Cangrejal.

Capítulo 6 Principales Recomendaciones: documenta nuestro análisis final y recomendaciones preliminares para abordar de la manera más efectiva las vulnerabilidades actuales y futuras en el sector hídrico (WSA) en La Ceiba. Estos análisis incluyeron aspectos tales como, costos, beneficios y otras consideraciones.

Los siguientes anexos proporcionan mayores detalles sobre el proceso y los resultados finales desarrollados como parte de este proceso de adaptación:

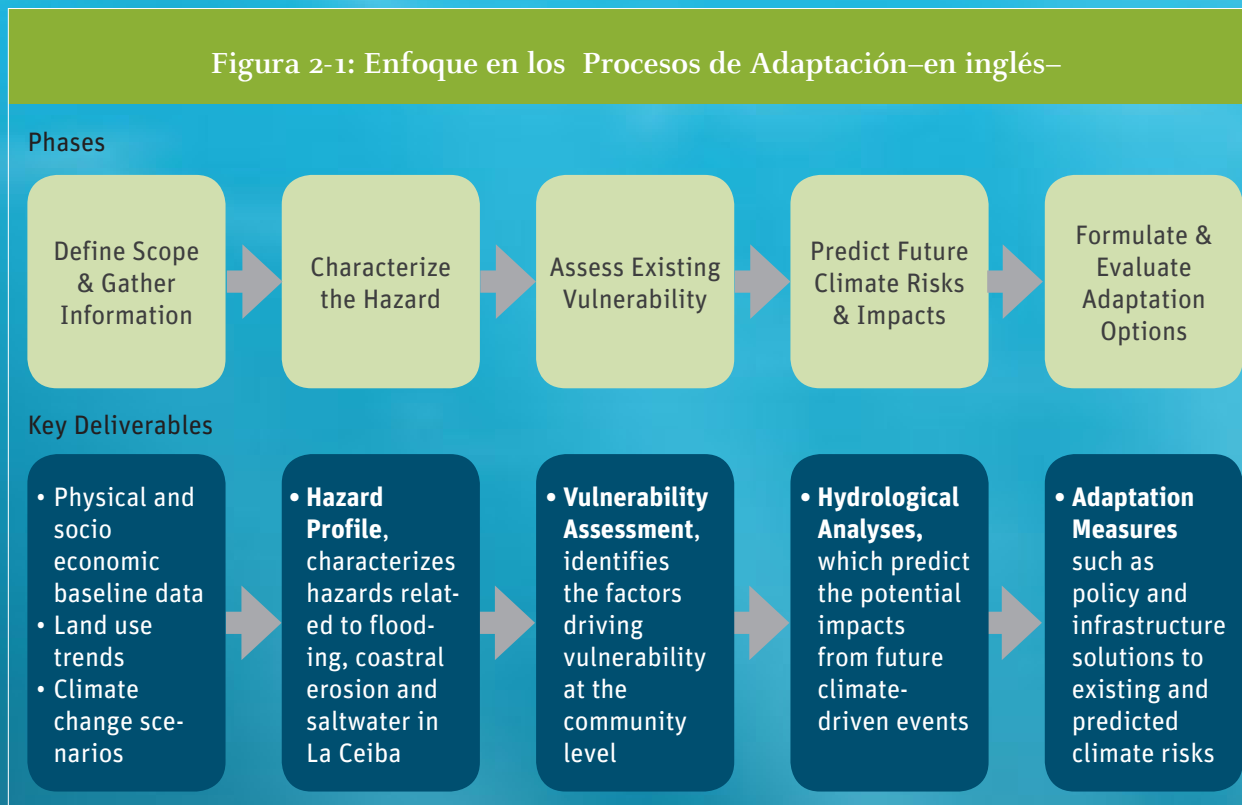
Anexo A Escenario sobre el Futuro Uso del Suelo (2050)

Anexo B Escenario del Cambio Climático para el 2050

2. Enfoque metodológico

En consonancia con los objetivos enunciados en el Capítulo 1, ERM ha desarrollado una metodología que permitiría identificar las respuestas a las medidas de adaptación proactivas y preventivas a los riesgos del cambio climático existentes y futuros. Esta metodología utiliza un enfoque basado en el riesgo para predecir los impactos potenciales y considera el input de las partes interesadas locales en todas las etapas del proceso. El resultado esperado es aumentar la capacidad de recuperación frente a una serie de posibles, pero inciertos escenarios futuros, y a la vez, garantizar que también se están abordando los problemas ya existentes.

La Figura 2-1 ilustra los pasos realizados durante el proceso de adaptación e indica los resultados clave asociados con cada paso secuencial.



Fuente: ERM, 2014.

Como se ilustra anteriormente, la metodología incluye los siguientes pasos:

Definir el Alcance y Recopilar la Información. En una etapa inicial, los grupos de trabajo de ERM y del BID se reunieron con varias de las partes interesadas locales, principalmente las agencias gubernamentales locales y organizaciones no gubernamentales (NGO) que juegan un papel en la planificación del desarrollo de la ciudad, el manejo de los recursos hídricos, o en la prevención o respuesta a los desastres naturales. Durante estas reuniones, se definió el alcance del proceso de adaptación y se establecieron relaciones clave para el intercambio de información.

ERM se centró en los esfuerzos de recopilación de datos para la obtención de los insumos pertinentes para el análisis hidrológico de la cuenca del Río Cangrejal. La información recopilada durante la fase inicial de línea base también incluyó aspectos geográficos, meteorológicos, hidrológicos, demográficos, socioeconómicos y del uso del suelo. Los resultados claves de esta etapa fueron:

- **Condiciones de línea base existentes** que proporcionaron información relacionada con las características físicas del área de estudio (por ejemplo, geología, topografía, uso del suelo/cobertura de la tierra, capacidad de infiltración del suelo, el clima y la hidrología), así como datos socioeconómicos (ejemplo, la demografía, actividades económicas, infraestructura pública). Estos datos han sido incorporados en varias partes de este informe, por ejemplo, como supuestos del modelo hidrológico (*Capítulo 5*), y los factores contextuales que apoyaron la caracterización de los peligros (*Capítulo 3*) y la vulnerabilidad (*Capítulo 4*);
- **Escenario del Uso Futuro del Suelo** para establecer, con el tiempo, la tasa de aumento de superficie impermeable en la cuenca del Río Cangrejal. ERM realizó un análisis de imágenes de satélite para obtener las tasas de cambio de uso de la tierra, y creó un modelo estadístico, geoespacial para proyectar el cambio del uso del suelo para el horizonte del 2050 (véase el *Anexo A*); y,
- **Escenario de Selección del Cambio Climático**, que proporciona las variables climáticas (por ejemplo, la temperatura, la frecuencia de la precipitación y la intensidad) y las proyecciones del nivel del mar, que en conjunto, constituyen un posible escenario del clima para el 2050. ERM revisó los informes disponibles y los datos relacionados con los escenarios de cambio climático para Honduras, lo que resultó en la selección de proyecciones reconocidas por las autoridades locales (Véase *Anexo B*).

Caracterizar los Peligros. ERM llevó a cabo una revisión de la literatura y entrevistas con informantes clave para caracterizar el riesgo asociado con los riesgos naturales asociados con el clima, la frecuencia en que estos han ocurrido en los últimos años, y los efectos que estos han tenido en la población, la economía y la infraestructura de la ciudad. El resultado principal en este paso fue:

- **Perfil de Riesgos (*Capítulo 3*)** que caracteriza los efectos de las inundaciones urbanas, fluviales y costeras, que varían desde, molestias leves en la vida diaria (por ejemplo, el tráfico lento) hasta graves riesgos para la vida humana (por ejemplo, el ahogamiento, la enfermedad) y los medios de vida (por ejemplo, destrucción de la propiedad, interrupción de las actividades empresariales, menor productividad). El perfil de riesgo también documenta una investigación secundaria sobre el riesgo existente relacionado con la intrusión de agua salina. La erosión costera ha sido analizada en la medida en que se refiere a las inundaciones provocadas por las marejadas ciclónicas y el aumento del nivel del mar.

Evaluar la Vulnerabilidad Existente. Basándose en las observaciones de campo y los grupos de enfoque realizados con los residentes locales, ERM ha desarrollado un análisis centrado en identificar los factores que impulsan la vulnerabilidad en La Ceiba. Entender el concepto de vulnerabilidad es importante para formular las opciones de adaptación adecuadas, y proporcionar una línea base para evaluar los avances en la reducción de la vulnerabilidad. El resultado principal en este paso fue:

- **Evaluación de la Vulnerabilidad (*Capítulo 4*)** que considera la posibilidad de exposición y sensibilidad de la población ante los peligros según se describe en el *Capítulo 3*. La evaluación está centrada en cuatro barrios específicos, conocidos como vulnerables a los diferentes peligros y por razones distintas.

Predecir Futuros Riesgos Climáticos e Impactos Futuros. Basados en el modelaje de las tormentas de mayor intensidad y las precipitaciones sobre la hidrología local, este Capítulo aborda el efecto potencial que el cambio climático tendría en el Río Cangrejal, mapeando las áreas potenciales de riesgo de inundación en diversos escenarios. El riesgo de las inundaciones

costeras se analizó mediante la comparación de la extensión de las zonas de baja altitud con el incremento pronosticado asociado con las marejadas ciclónicas (antes y después de considerar un escenario pesimista del ascenso del nivel del mar: de 0,6 metros).

ERM también modeló la extensión de la cuña salina que entraría por el río Cangreja aguas arriba. Los resultados ayudaron a describir cualitativamente la contribución de la elevación del nivel del mar con los problemas de intrusión salina existentes. El resultado clave relacionado con esta fase de análisis técnico incluye:

- **Análisis Hidrológico** (*Capítulo 5*) que caracteriza la posible extensión de las inundaciones asociadas con la precipitación de grandes tormentas, es decir, aquellas de 1:20, 1:50, o 1: 100, con probabilidades de ocurrir en cualquier año dado. Los resultados se expresaron en términos de los flujos máximos (por el río Cangrejal) y la visualización espacial de las zonas urbanas en riesgo de inundación. El análisis consideró una serie de escenarios para evaluar la contribución relativa del uso de la tierra y el cambio climático en el riesgo de inundaciones a futuro.

Formular y Evaluar Las Opciones de Adaptación. ERM promovió un taller, que se llevó a cabo en febrero del 2014, para presentar los resultados del análisis hidrológico e identificar con las partes interesadas las adaptaciones potenciales. Aprovechando los modelos que se habían configurado en el paso anterior, ERM también evaluó cuatro opciones propuestas por las partes interesadas para reducir el riesgo de inundación en el Río Cangrejal (*Sección 5.4*). Basado en los resultados y el análisis de otros peligros, el *Capítulo 6* documenta las recomendaciones de ERM relacionadas con los temas objeto de estudio.

3. Perfil del peligro: impactos del cambio climático en la ceiba

Los fenómenos meteorológicos extremos, como las sequías, las olas de calor, los huracanes y tormentas tropicales, afectan con frecuencia a Honduras², lo que hace que sea uno de los países más vulnerables de América Latina. La ciudad costera de La Ceiba, en la costa atlántica, es particularmente vulnerable a las tormentas tropicales y el ascenso gradual del nivel del mar. Este Capítulo describe la magnitud y frecuencia de los efectos causados por los fenómenos inducidos por el clima, como contexto para entender las vulnerabilidades más importantes y formular respuestas de adaptación adecuadas.

Debido a su geografía y clima, La Ceiba es particularmente susceptible a los peligros relacionados con las inundaciones. La ciudad está situada en la planicie aluvial del Río Cangrejal, enclavado en un área relativamente estrecha entre el Mar Caribe y la Cordillera Nombre de Dios. La proximidad de las montañas con el océano, no sólo crea las condiciones que favorecen las intensas lluvias, sino que también aumenta el riesgo de inundaciones aguas abajo.

El río Cangrejal se desborda con frecuencia durante los eventos de lluvias fuertes. Una de las razones es el enorme volumen de escorrentía que se acumula a través de los 560 km² de cuencas. Este volumen significativo fluye rápidamente hacia abajo debido al cambio abrupto en la elevación. Otra razón es el hecho de que varias de las salidas naturales del río hacia el mar, han sido colmadas por el desarrollo. Además, los diques que protegen la ciudad no son lo suficientemente altos cuando el río crece significativamente.

La Ceiba es también particularmente susceptible a las inundaciones costeras debido a las tormentas, que pueden causar que el nivel del mar ascienda temporalmente, inundando las zonas bajas a lo largo de la costa. En estos casos, el efecto combinado de las marejadas ciclónicas y el caudal alto de río puede aumentar el alcance de los impactos relacionados con las inundaciones, a lo largo de las orillas del río, el estuario y la costa.

Además de inundaciones fluviales y costeras, un tercer tipo de inundación en La Ceiba se puede vincular al sistema de drenaje de aguas pluviales deficiente. A menudo, los grandes volúmenes de lluvia que pueden caer en cuestión de horas (o durante muchos días saturando el suelo), sobrecargando la capacidad de la infraestructura de drenaje de aguas pluviales existente para contenerlas, y para que puedan eliminarse de manera efectiva. Esto provoca inundaciones localizadas en áreas urbanas específicas.

El ascenso gradual del nivel del mar también aumenta la vulnerabilidad de las zonas costeras. El ascenso del nivel del mar puede acelerar los procesos naturales como la erosión costera, y aumentar el alcance de las inundaciones a lo largo de la costa (debido al aumento de altura de la marejada relacionada con la tormenta). El ascenso del nivel del mar también aumenta el riesgo de contaminación del agua salada de la superficie y las fuentes de agua potable subterránea.

² SERNA (2010) Estrategia Nacional de Cambio Climático. Dirección de Cambio Climático

El resto de esta Sección está organizada de la siguiente manera: *Sección 3.1* describe los efectos asociados a los peligros relacionados con las inundaciones, incluida la amenaza de la erosión costera. La intrusión salina se describe en la *Sección 3.2*. La *Sección 3.3* resume los principales efectos adversos que sufre la población como consecuencia de estos riesgos

3.1 Peligros relacionados con la inundación

La Ceiba es altamente vulnerable a las inundaciones debido a su ubicación geográfica y la exposición a las tormentas frecuentes (por ejemplo, los frentes fríos, las tormentas tropicales). Por otra parte, la ciudad carece de la infraestructura que por lo demás, podría proporcionar una protección adecuada. Además, algunos de sus residentes más pobres no poseen los recursos socioeconómicos necesarios para protegerse y recuperarse de los efectos de los peligros actuales, ni para adaptarse a un clima cambiante.

Esta Sección analiza tres tipos principales de inundación que ocurren en La Ceiba:

- Las inundaciones causadas por el río Cangrejal, cuando sus aguas se elevan rápidamente durante las lluvias intensas que rompen las estructuras de contención existentes, construidas para proteger el área urbana;
- Las inundaciones menos frecuentes, pero más perjudiciales, asociadas a los ciclones tropicales, que producen las marejadas ciclónicas y afectan las zonas costeras y los recursos; y,
- La inundación de calles dentro del núcleo urbano debido a la falta de suficientes estructuras de drenaje para las aguas pluviales.

La descripción de los riesgos relacionados con las inundaciones incluidas en la siguiente sección, está basada en:

- Revisión de la literatura disponible y datos de instituciones académicas y profesionales, según citadas en este informe;
- Las entrevistas semi-estructuradas realizadas con expertos locales afiliados a las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales locales; y,
- Grupos de enfoque de las comunidades ubicados en zonas de alta exposición.

3.1.1 Inundaciones Fluviales

El riesgo de grandes inundaciones por el desbordamiento del río Cangrejal se ha convertido en una preocupación genuina para los residentes y las autoridades en La Ceiba. Según los expertos locales, el río no se desborda con frecuencia³, pero cuando lo hace, la extensión de la inundación puede ser significativa.

Varios factores contribuyen a la exposición actual de la ciudad a este riesgo. En primer lugar, la ciudad fue construida en la llanura aluvial del río Cangrejal y el desarrollo ha aumentado rápidamente a lo largo de sus márgenes, sin una zona de retroceso adecuada que tenga en cuenta su planicie aluvial. De hecho, el crecimiento anual de la población muestra un 4.7% promedio para el período comprendido entre 1988 al 2001⁴. Según los expertos locales, este crecimiento ha sido sin planificación ni control⁵, evidenciado por la aparición de asentamientos informales en zonas muy vulnerables a lo largo de las riberas de los ríos.

³ Boves, L. (Octubre 2013) Entrevista semi-estructurada con el representante de la Cruz Roja

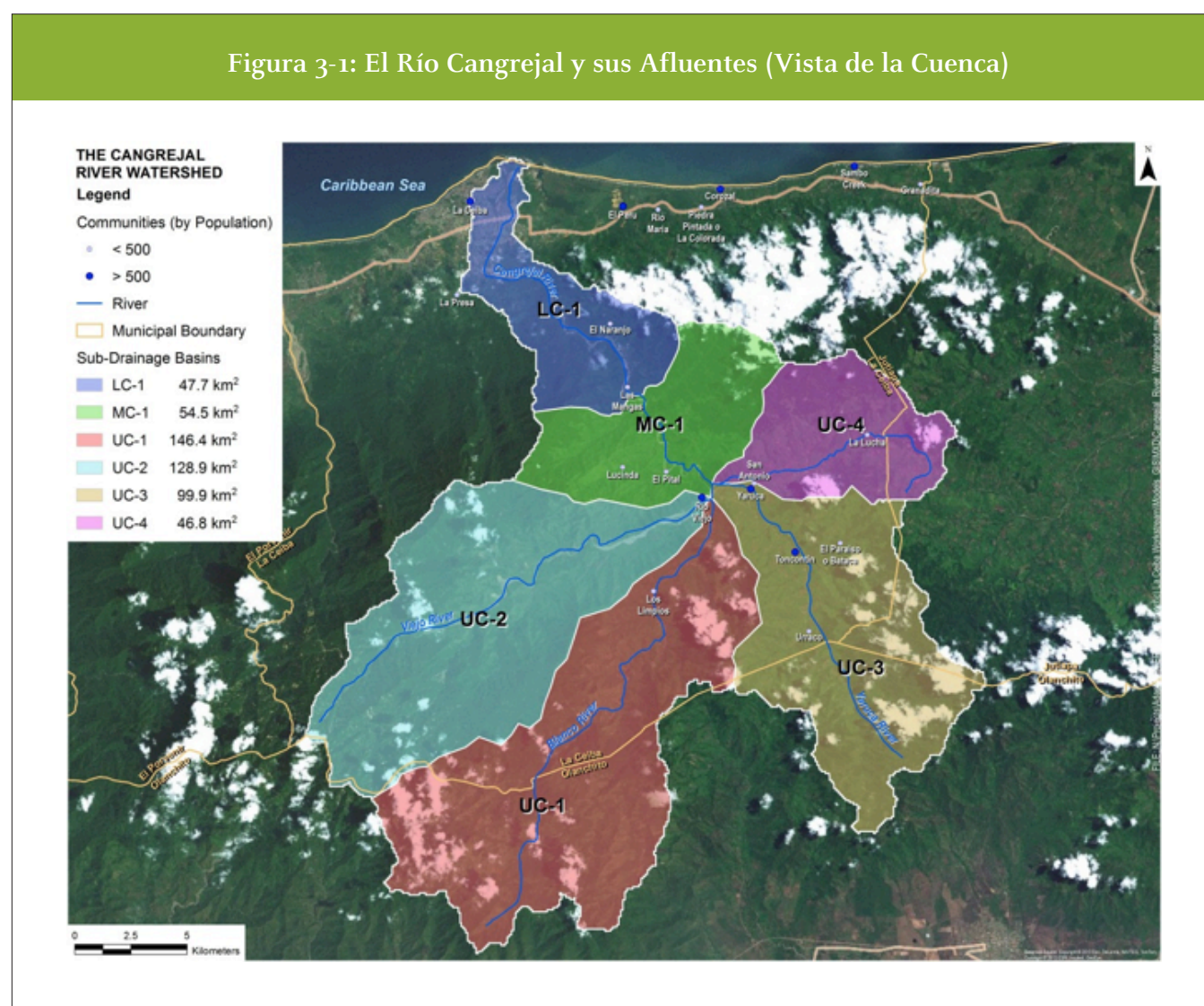
⁴ CREDIA (2013) Descripción de las condiciones existentes y escenario tendencial de cobertura vegetal y uso del suelo para el horizonte 2050

⁵ Castillo, O. (Octubre 2013) Entrevista semi-estructurada.

En segundo lugar, la ciudad carece de defensas naturales y artificiales adecuadas para prevenir o mitigar la magnitud de las inundaciones. Por ejemplo, los humedales y canales naturales que proporcionan al río con salidas adicionales para el océano han sido colmados por el desarrollo urbano, aumentando la propensión a las inundaciones⁶. Además, los diques que fueron pensados para proteger el área urbana contra inundaciones han sido reportados insuficientes, sobre todo durante los episodios de precipitaciones intensas o tormentas tropicales, como el huracán Mitch en 1998⁷.

En tercer lugar, el río Cangrejal es muy sensible a las precipitaciones y sus aguas pueden elevarse varios metros en cuestión de horas. Esto se debe al gran volumen de escorrentía que se acumula a través de la cuenca del Cangrejal, que cubre un área de 560 km². Como se ilustra en la Figura 3-1, el río Cangrejal está compuesto por varios afluentes ubicados en la región montañosa de la Cordillera Nombre de Dios. Estos afluentes convergen para formar el río Cangrejal, que corre a través de La Ceiba a una alta velocidad de flujo debido al cambio abrupto en la elevación.

Figura 3-1: El Río Cangrejal y sus Afluentes (Vista de la Cuenca)



Fuente: Mapa por ERM, 2014.

⁶ Smith et.al (2011)

⁷ Smith et.al (2011)

El riesgo de inundación fluvial aumenta en la temporada de lluvias, sobre todo debido al mal tiempo causado por los frentes fríos del norte. Los frentes fríos afectan a la costa norte de Honduras todos los años, y por lo general, se asocian a las fuertes lluvias, los fuertes vientos, y el descenso de las temperaturas. Los frentes fríos son más típicos en los meses de noviembre a enero, pero se ha informado que pueden ocurrir a finales de abril⁸.

La frecuencia de los frentes fríos se ve influenciada por la variabilidad climática asociada con las temperaturas fluctuantes del agua del océano, en el Océano Pacífico, también conocida como Oscilación del Sur-El Niño (ENSO). Según un estudio⁹ realizado en el 2010 por SERNA, en general, los episodios ENSO cálidos (años de El Niño) dan lugar a la disminución general de las precipitaciones, pero favorecen la entrada de frentes fríos durante los meses de noviembre a enero. Los episodios frescos ENSO (año de La Niña) crean condiciones favorables para la entrada de frentes fríos en diciembre.

Las tormentas tropicales y los huracanes también son cada vez más frecuentes. En el período 1998-2013, la actividad ciclónica condujo a una catástrofe particularmente excepcional, el huracán Mitch en 1998, pero también ha dado lugar a desastres de menor escala en por lo menos seis de los últimos 14 años. Se prevé que la frecuencia e intensidad de estas tormentas aumenten debido al cambio climático y la variabilidad¹⁰.

Los registros de precipitación medidos en la estación meteorológica en La Ceiba (Goloson) indican que los valores de precipitación más altos de 24 horas no correspondían con los huracanes o tormentas tropicales, sino a eventos de lluvias fuertes durante la temporada de lluvias, algunas de las cuales es probable que se hayan producido por los frentes fríos.

En resumen, las deliberaciones anteriores destacan, el papel de la geografía, el desarrollo urbano, la inversión en infraestructura y el clima como factores que determinan la posibilidad y magnitud de las inundaciones fluviales. La evolución de estos factores en el futuro va a influir directamente en el perfil de riesgo de la ciudad. Por ejemplo, la actividad humana y el desarrollo en las partes altas de la cuenca pueden tener consecuencias para los residentes aguas abajo. Además, la continua urbanización de zonas altamente expuestas a lo largo del río, incluyendo los asentamientos informales en su llanura de inundación, también magnifican los efectos de estas tormentas.

La Figura 3-2 ilustra la magnitud de las inundaciones en las condiciones existentes, asumiendo un evento de tormenta con una probabilidad de 1 en 20 años de existencia. La imagen es resultado de los análisis hidrológicos e hidráulicos, teniendo en cuenta las condiciones climáticas observadas y la instantánea del 2010 del uso del suelo a través de la cuenca del Río Cangrejal. La metodología y los outputs para las tormentas de mayor magnitud han sido documentados en el *Capítulo 5*.

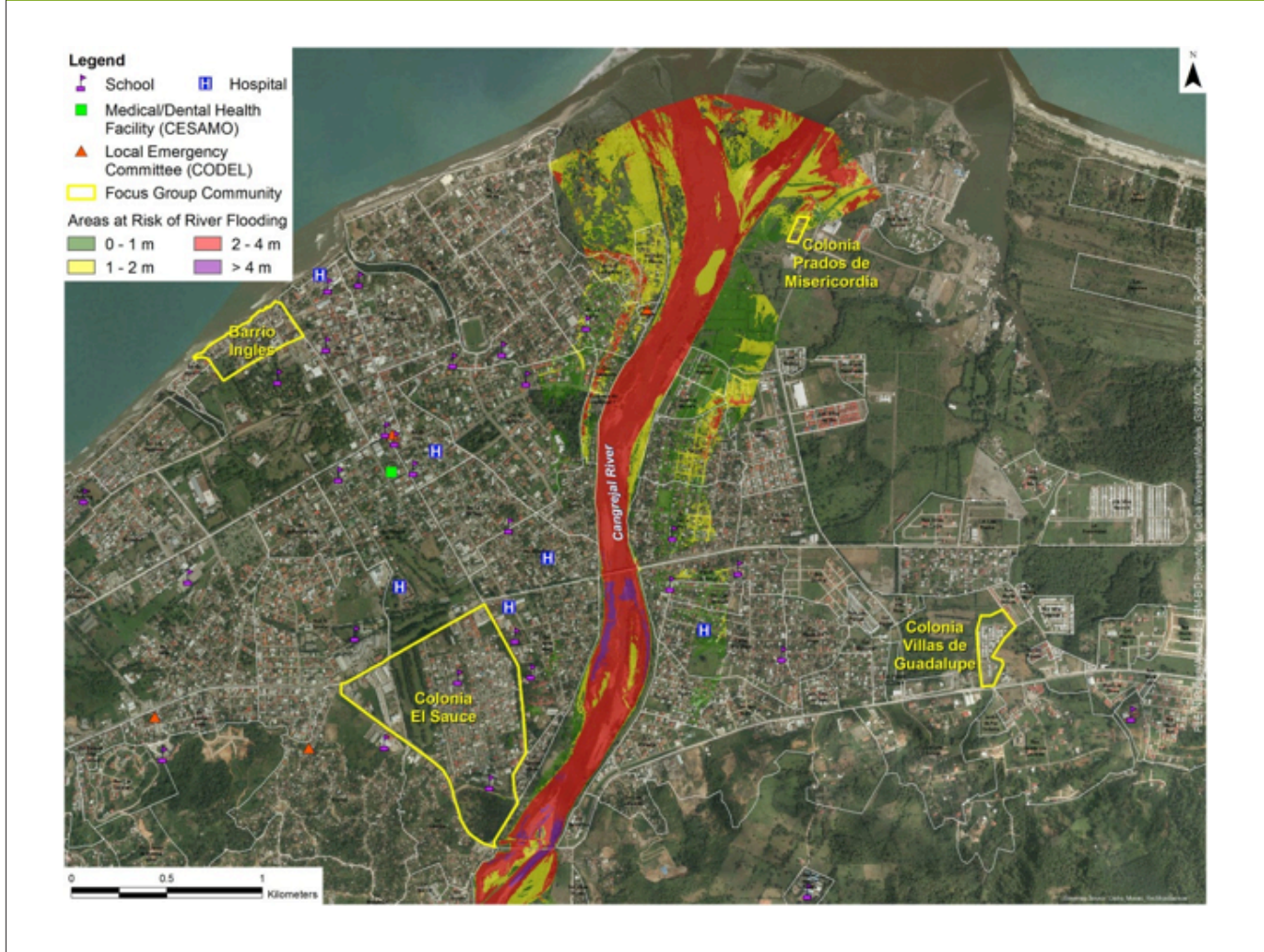
⁸. Boves, L. (October, 2013). Entrevista con el Coordinador Regional de Gestión de Riesgos de la Cruz Roja.

⁹. SERNA (2010). Estrategia Nacional de Cambio Climático.

¹⁰. SERNA (2010). Estrategia Nacional de Cambio Climático



Figura 3-2: Extensión prevista de las inundaciones bajo las condiciones existentes (Período de Retorno de 20-Años)–en inglés–



Fuente: ERM, 2014

Con el cambio climático, se pueden esperar inundaciones más frecuentes e intensas, lo que llevaría a tormentas más dañinas. A medida que la magnitud de los desastres aumenta, las posibilidades de que los resultados negativos correlacionados, como la pérdida de vidas, deterioro de la salud pública y las pérdidas económicas, también aumentarán¹¹. Un estudio muy específico para el río Cangrejal, sugiere que su flujo de agua podría aumentar en un tercio en los huracanes más intensos en el futuro¹².

¹¹ Kuhl, L. (2011) *From a culture of disaster to a cultures of adaptation*. Tesis de Maestría.

¹² Smith et al. (2011).

3.1.2 Inundaciones Costeras

La Ceiba es particularmente susceptible a las marejadas ciclónicas¹³ provocadas por las tormentas tropicales y huracanes, y, en menor medida, por los frentes fríos. Las marejadas ciclónicas son a menudo, la mayor amenaza para la vida y la propiedad, debido a estos fenómenos meteorológicos extremos¹⁴. Según un estudio reciente de las Naciones Unidas¹⁵, más de 12.000 hectáreas, que representan el 10,67% del área municipal, están bajo amenaza de inundaciones costeras.

La incidencia de marejadas ciclónicas está directamente relacionada con la aparición de tormentas capaces de producir una acción de oleaje significativa. En La Ceiba, los frentes fríos han producido olas de hasta 5 metros de altura, mientras que el Huracán Mitch en 1998 produjo olas que superaron los 6,5 metros¹⁶. La evidencia anecdótica sugiere también, que el Huracán Fifi en 1974 produjo una marejada ciclónica de unos 5 metros.

Las tormentas no tienen que tocar tierra para producir marejadas ciclónicas. En el 2004, el Huracán Iván generó olas que superaron los 9 metros durante su paso por el Caribe. La tormenta causó una marejada estimada entre 1,5 y 2 m en La Ceiba, inundando la zona urbana costera a pesar de que no tocó tierra en Honduras¹⁷.

Los tres factores interrelacionados que pueden influir en la frecuencia y magnitud de las inundaciones costeras en el futuro son: los ciclones más fuertes, el ascenso del nivel del mar y la erosión costera. En primer lugar, las tendencias observadas en la actividad ciclónica sugieren tormentas más intensas en el futuro. Se cree que esto está asociado con el aumento de las temperaturas promedio del agua superficial en el Caribe, que es un factor que determina la fuerza de los ciclones tropicales en el Atlántico.

Como se ilustra en la Figura 3-3, en los últimos 30 años, el porcentaje de huracanes categoría 4 y 5 que han afectado a la costa del Caribe de Belice, Guatemala, y Honduras, ha aumentado en relación a las tormentas de categoría 1-3¹⁸. Esto es consistente con las predicciones en cuanto a la fuerza creciente de estos fenómenos.

¹³ Una marejada ciclónica se define como el aumento anormal de agua generada por una tormenta, por encima de la marea astronómica normal, expresado en términos de altura por encima de los niveles de marea predichos o esperados

¹⁴ NOAA (Agosto 6, 2013) *Defining Storm Surge, Storm Tide and Inundation*

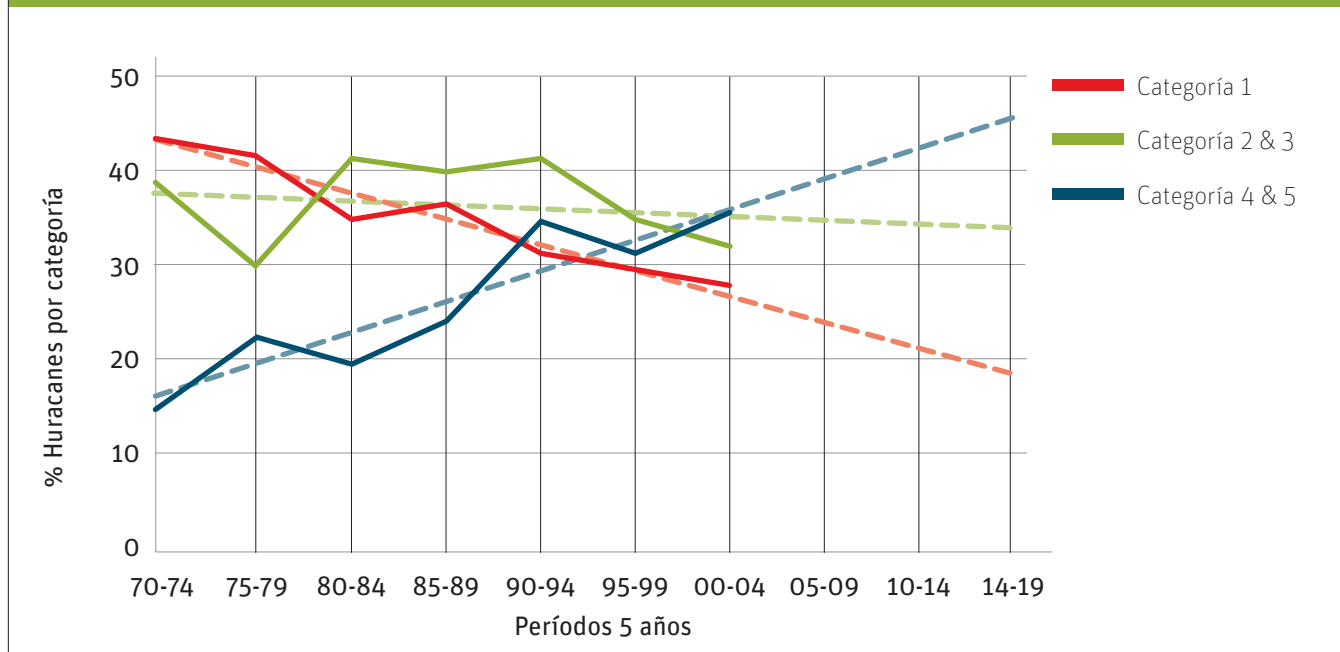
¹⁵ Inypsa-Procorredor (2011). Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Region IV Valle de Lean: Municipio de La Ceiba

¹⁶ Cardini, Richards and Nichols (2005). *Presentation. Coastal Resource Analysis*. USAID-MIRA.

¹⁷ Cardini et. Al. (2005)

¹⁸ CATIE-TNC (2012) *Análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras*. Developed for the United States Agency for International Aid (USAID)

Figura 3-3: Incidencia de huracanes según la categoría de la tormenta (1970-2004)



Fuente: CATIE-TNC, 2012

El suponer que las tormentas tropicales y los huracanes se conviertan en eventos más frecuentes no es totalmente cierto¹⁹. Se espera que la variabilidad del clima juegue un papel en esto, incluyendo la temperatura del agua del océano en el Océano Pacífico vinculados al ENSO. Por lo tanto, la frecuencia y la periodicidad de estas tormentas seguirán siendo el foco de los esfuerzos encaminados a los pronósticos meteorológicos.

El ascenso del nivel del mar, que es también un factor impulsado por el clima, se sumará a la altura de los acontecimientos de las marejadas ciclónicas y es probable que las inundaciones se extiendan tierra adentro. Existe un alto grado de confianza en cuanto a la tendencia al alza en el nivel del mar, aunque las proyecciones para lugares específicos son más inciertas. Un estudio específico de La Ceiba, realizado por Smith et al (2011), estimó que el acenso del mar podría variar entre 6 y 60 cm para el año 2050 en relación con los niveles de 1990 (con una estimación media de 20 cm).

La erosión costera es el tercero, y posiblemente más influyente, de los factores a corto plazo en la determinación del riesgo de inundaciones costeras. En La Ceiba, la erosión costera es el resultado de los procesos morfológicos naturales, que pueden estar influenciados por el ascenso del nivel del mar y las marejadas ciclónicas, así como por las actividades humanas, tales como la construcción de estructuras a lo largo de la costa y la minería en el lecho del río Cangrejal. .

¹⁹ Smith and Wigley (2005), *Presentation: Climate Change Scenarios*. USAID-MIRA

En noviembre del 2013, un evento de marejada ciclónica causó daños a por lo menos nueve viviendas en el barrio Miramar de La Ceiba²⁰. Al ser entrevistado, un residente afectado, cuya casa fue agredida por las olas, dijo, “que solía haber al menos 40 metros [entre el océano y su casa] y un montón de playa.” Esta anécdota ejemplifica la opinión de expertos locales, que apuntan a la erosión de la línea costera y la intrusión de los edificios residenciales y comerciales como una preocupación importante²¹.

La Figura 3-4 muestra una fotografía reciente que ilustra la proximidad de la marea con el desarrollo, al este de la histórica zona del centro de la ciudad.

Figura 3-4: Desarrollo expuesto a lo largo de la costa en La Ceiba



Fuente: ERM, 2014

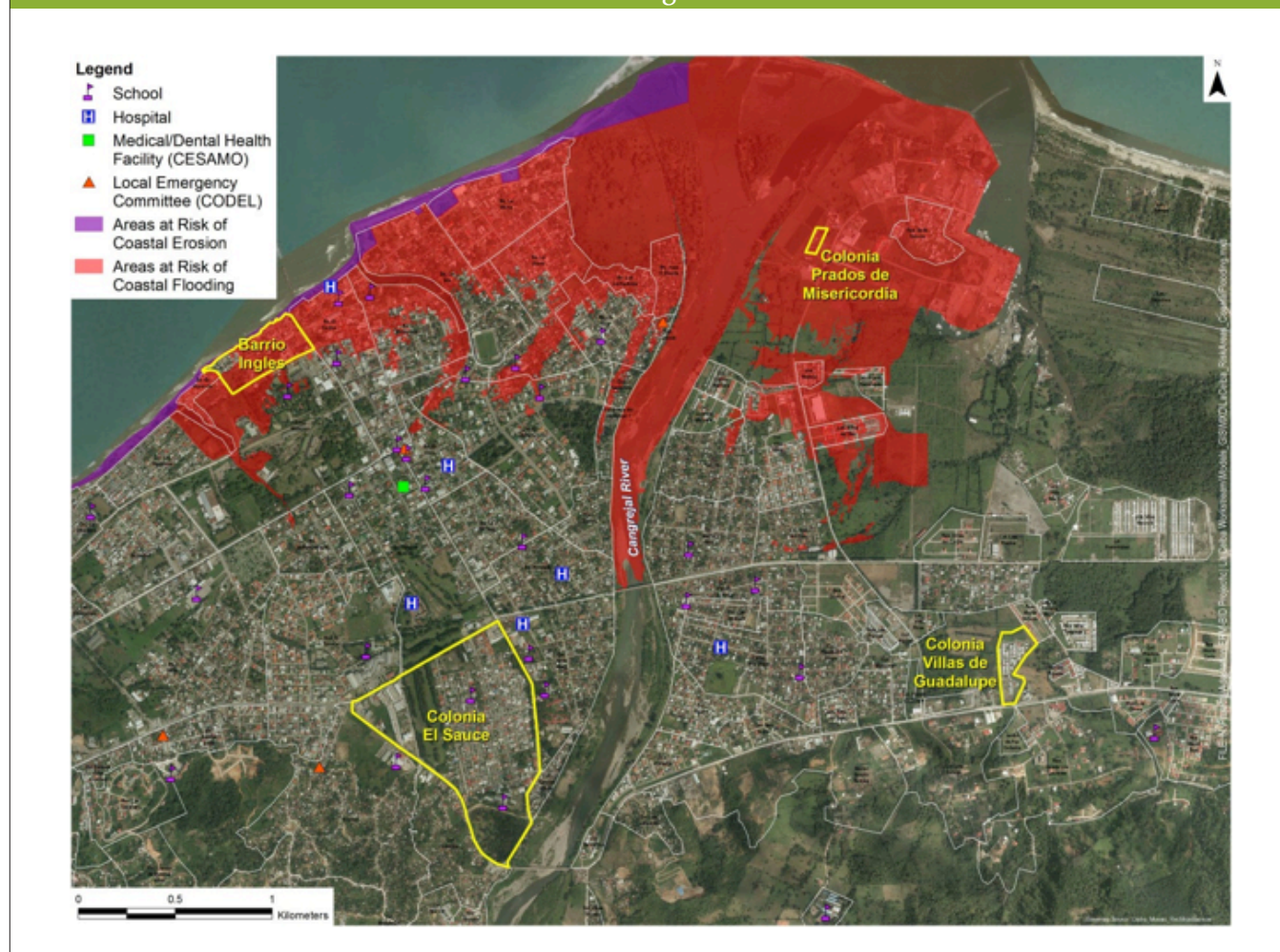
La Figura anterior ilustra la sensibilidad de la zona costera de La Ceiba a los efectos de la erosión costera, el ascenso del nivel del mar y el aumento de intensidad de las tormentas. Hay un desarrollo significativo a lo largo de esta costa, incluidas las comunidades establecidas, puntos de interés cultural, edificios públicos, y empresas, algunas de las cuales están relacionadas con el turismo. Las áreas al oeste del centro de la ciudad, entre los ríos Danto y Bonito, también son muy vulnerables. Aunque estos son relativamente de menor desarrollo, se espera un rápido desarrollo en los próximos años.

²⁰ Proceso Digital, Noviembre 15, 2013. *Marejada daña nueve viviendas en la Ceiba*. Obtenido en línea: www.proceso.hn/2013/11/15/Cicnecia+Tecnolog%C3%ADa/marejada.da.C/78080.html

²¹ Boves, L. (Octubre 2013) Entrevista con el representante de la Cruz Roja

La Figura 3-5 muestra las zonas con mayor riesgo de erosión costera y un evento de marejada ciclónica de 3 metros, lo que representa un evento grave, pero probablemente asociado con un frente frío intenso o un ciclón tropical.

Figura 3-5: Áreas con riesgo de erosión costera y un evento de marejada ciclónica de 3-metros
–en inglés–



Fuente: ERM, 2014

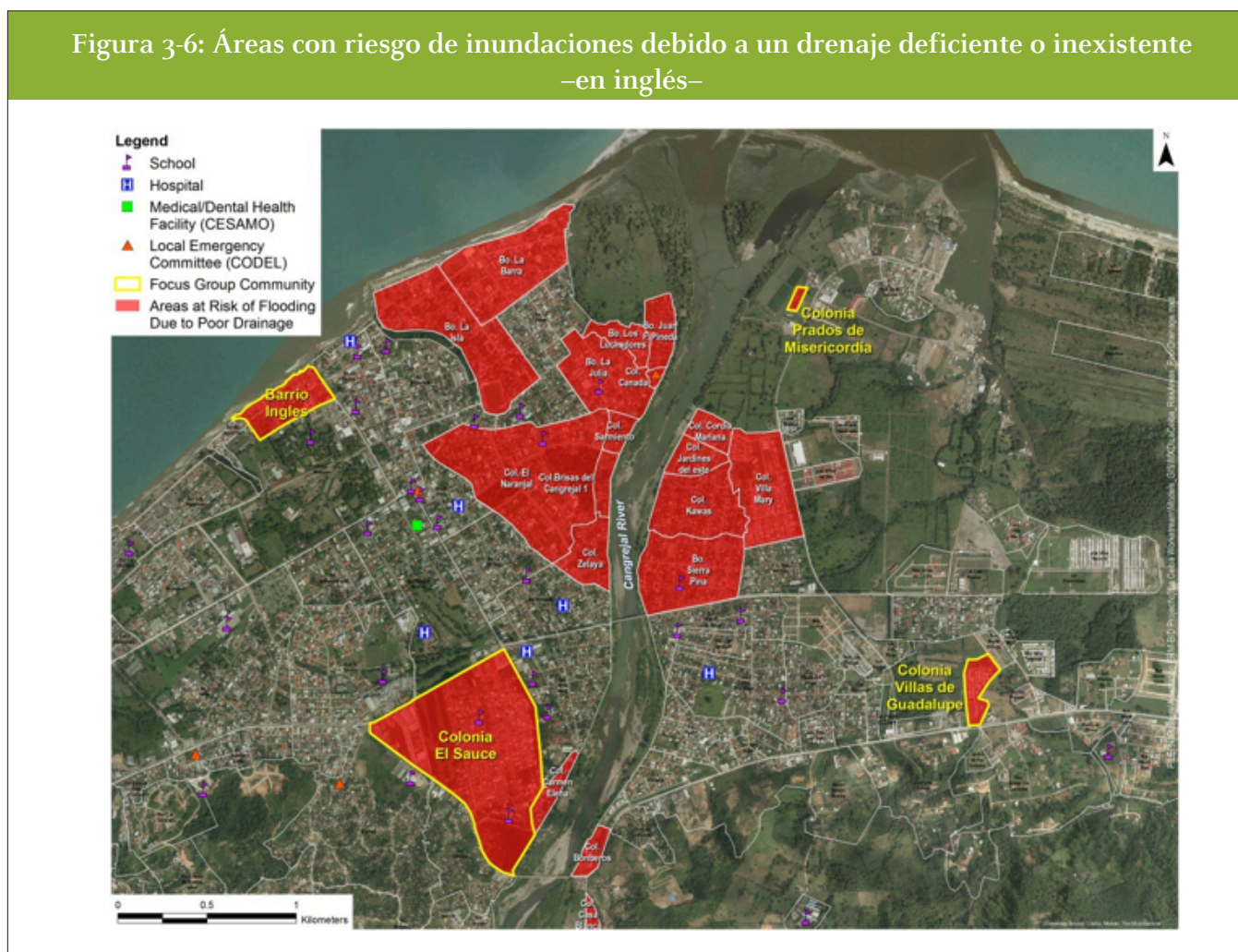
3.1.3 Inundaciones Urbanas

La inundación urbana es uno de los retos más destacados que enfrenta La Ceiba, y su alta tasa de recurrencia fue una preocupación común planteada por las partes interesadas durante las entrevistas, los grupos de enfoque y en los talleres. Mientras que otros peligros naturales plantean una mayor amenaza de desastre, los frecuentes y generalizados problemas de drenaje urbano, juegan un rol central en el discurso local. Cuando tomados en cuenta junto con el aumento previsto de la intensidad de las lluvias debido al cambio climático, y la variabilidad, la planificación a la adaptación se convierte en una prioridad clave.

Según el Director del Departamento de Agua y Saneamiento local (OMASAN), “[la frecuencia de las inundaciones] ha ido en aumento. En sólo media hora, la lluvia puede inundar la ciudad, especialmente en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Durante el resto del año, las tormentas también pueden causar daños a la ciudad²². “Este punto de vista fue secundado por un especialista en cambio climático local” [las inundaciones son] definitivamente más frecuentes... es difícil decir cuánto, porque no hay registros, pero sí, la ciudad es mucho más vulnerable porque incluso después de una lluvia suave se inunda²³.”

Como se ilustra en la Figura 3-6, el riesgo de inundaciones urbanas está muy extendido en toda la ciudad, pero parece concentrarse cerca de la llanura de inundación del río Cangrejal. Los efectos de este peligro en las comunidades varían, desde molestias leves de la vida cotidiana (por ejemplo, los retrasos en el tráfico) a graves riesgos para la vida humana, (por ejemplo, lesiones, enfermedades) y los medios de vida (por ejemplo, destrucción de la propiedad, interrupción de la actividad empresarial).

Figura 3-6: Áreas con riesgo de inundaciones debido a un drenaje deficiente o inexistente
–en inglés–



Fuente: ERM, 2014

Nota: Las comunidades afectadas en este mapa fueron identificadas por los residentes locales durante un taller realizado en febrero del 2014. Esta es una muestra ilustrativa, pero no exhaustiva, de las comunidades que se consideran en peligro frecuente de inundaciones debido al drenaje pluvial deficiente.

²² Cruz, P. (Octubre 2013). Entrevista con el Director, Departamento de Agua y Saneamiento (OMASAN)

²³ Castillo, O. (Octubre 2013). Entrevista con el coordinador del cambio climático en CREDIA

La causa principal de las inundaciones urbanas en La Ceiba, gira en torno a la ineficacia del sistema de drenaje existente, para transportar de manera eficiente, las aguas pluviales lejos de las áreas bajas donde tienden a acumularse y causar inundaciones.

Los expertos locales apuntan a un crecimiento incontrolado de la ciudad como una de las principales razones por las cuales el sistema de drenaje no es eficaz²⁴. La falta de planificación urbana ha dado lugar a un mosaico de desarrollos residenciales, la mayoría no conectados a un sistema de drenaje previsto. En algunos de estos casos, los nuevos desarrollos residenciales bloquean el drenaje logrado mediante desarrollos anteriores; en otros casos, los fraccionamientos residenciales simplemente recogen las aguas pluviales y las drenan en la calle.

Uno de los puntos más críticos de inundación en la ciudad es el centro de la ciudad, donde también se utiliza un sistema de alcantarillado obsoleto para el drenaje de aguas pluviales. Esto hace que el sistema colapse con casi cada lluvia que dura más de 15 minutos. Debido a que los sistemas de alcantarillado y aguas pluviales se combinan, las inundaciones generalmente causan que las aguas negras terminen en las calles, lo que afecta a los hogares y establecimientos comerciales.

La eliminación inadecuada de residuos sólidos y las aguas residuales en estas áreas puede producir un aumento de la sedimentación y la obstrucción del sistema de drenaje, lo que reduce su capacidad y aumenta el riesgo de inundación. Además, el mantenimiento poco frecuente y la acumulación de basura y escombros, reduce sustancialmente la eficacia general del sistema. A menos que sea mitigado, el desarrollo urbano incontrolado puede sobrecargar aún más la infraestructura de drenaje existente, lo que agravaría los problemas de inundaciones urbanas existentes y las preocupaciones en torno a la seguridad pública.

3.2 Intrusión salina

La intrusión salina en el acuífero costero ha sido una preocupación creciente en La Ceiba en los últimos años. La intrusión salina tiene el potencial de disminuir la disponibilidad del suministro de agua dulce, lo que hace que algunas áreas no sean aptas para el desarrollo²⁵ humano o para la agricultura continua. Las causas que conducen a la salinización de las fuentes de agua potable, están vinculadas en algunos aspectos, a los cambios climáticos que se esperan en la región, y se analizan aquí.

En La Ceiba, el agua subterránea es la principal fuente de agua dulce. Se han contado más de 360 pozos de agua subterránea en toda la ciudad, pero se cree que muchos más están operando de forma clandestina. La mayoría de estos pozos de agua subterránea satisfacen la demanda²⁶ de agua residencial y comercial y la cual actualmente es servida directamente a través de SANAA.

De acuerdo con SANAA, existe la confianza de se pueda cumplir con la demanda de agua local en el futuro. La agencia suministra agua a alrededor del 45% de la población urbana, procedente de siete pozos de aguas subterráneas y la extracción de agua del río Danto²⁷. Aunque el río Cangrejal no es una fuente de agua potable viable, debido a la contaminación de la agricultura y la ganadería aguas arriba, otros ríos como el Río Piedras y Juana Leandra son opciones viables.

Las preocupaciones existentes giran en torno a los problemas sobre la calidad del agua, incluyendo la salinización en zonas cercanas a la costa. El cierre de pozos de agua subterránea cerca de los océanos ha sido bien documentado²⁸. Un informe técnico elaborado por SANAA recomienda que la perforación de pozos, no exceda los 20 metros, cerca de la costa y los 30 metros en otras áreas, para evitar el riesgo de salinización²⁹.

²⁴ Castillo, O. (2013)

²⁵ Los informes anecdóticos indican que el agua de los pozos ha causado alergias e irritación de la piel entre los residentes de la comunidad de Los Ángeles en La Ceiba.

²⁶ Los permisos para el uso del agua en la agricultura son emitidos por SERNA

²⁷ Espinal, A. (Febrero 2013). Entrevista con el Director Regional, SANAA

²⁸ SANAA (Marzo 2012). *Análisis de Posibilidad de Aguas Subterráneas en el Municipio de La Ceiba*, División de Investigación y Análisis Técnico (DIAT). Documento No. 827.

²⁹ SANAA (Marzo 2012).

Aunque muchos factores pueden aumentar el riesgo de salinización, la intrusión salina, generalmente se asocia con la extracción de aguas subterráneas (bombeo excesivo), la reducción de la recarga de las aguas subterráneas, y el ascenso potencial del nivel del mar³⁰. Estos factores podrían potencialmente estar en juego en La Ceiba, de los cuales los dos últimos pueden ser exacerbados directamente por el cambio climático.

El crecimiento continuo de la población y el desarrollo económico en La Ceiba seguirán ejerciendo presión sobre los recursos subterráneos³¹. Debido a que no se maneja la utilización de las aguas subterráneas, es probable que en algunos lugares, la extracción de aguas subterráneas haya causado que el gradiente de agua subterránea natural se haya revertido y haya permitido que el agua del mar invada los acuíferos costeros que históricamente sólo contenían agua dulce.

La tasa de disminución en la cual el acuífero se recarga también puede ser un factor, dado el reemplazo continuo de los suelos naturales con superficies impermeables debido al desarrollo. Este es un factor que no se ha estudiado completamente. Sin embargo, es posible que la combinación del bombeo excesivo continuo, y años cada vez más secos que lo normal, pudieran dar lugar a una disminución de la capa freática.

Por último, el ascenso del nivel del mar puede hacer que las mareas y marejadas ciclónicas, invadan las zonas costeras y tierra adentro a lo largo de los ríos, donde puede infiltrarse al acuífero subyacente. La *Sección 5.3.3* analiza los efectos potenciales de un ascenso hipotético del nivel del mar de 0,6 metros e indica el posible alcance de la intrusión salina tierra adentro a lo largo del río Cangrejal.

3.3 Efectos en la comunidad debido a los riesgos naturales

Para mejor entender de primera mano, los efectos de las inundaciones, ERM realizó grupos de enfoque en cuatro barrios de La Ceiba, conocidos por ser propensos a las inundaciones costeras o fluviales, o por estar ubicados en zonas con problemas de drenaje de aguas pluviales existentes. En diferentes grados, estos barrios también carecen de los recursos y la capacidad para hacer frente a, recuperarse de, y adaptarse a, los efectos negativos causados por las inundaciones.

Los participantes de los grupos de enfoque de los cuatro barrios de la muestra, informaron sobre una serie de efectos sociales, económicos y de salud negativos que han resultado de eventos de inundaciones anteriores. En general, los resultados de los grupos de enfoque confirman la idea, de que la pobreza exacerbaba o prolongaba estos efectos. En otras palabras, la falta de recursos económicos dificulta la capacidad de los hogares y de las personas, para controlar las variables que determinan la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación a las frecuentes inundaciones.

Los cuatro barrios incluidos son: Colonia El Sauce (pobl: 4185), Barrio Inglés (pobl: 2398), Colonia Prados de Misericordia (pobl: 280), y Villa Guadalupe (pobl: 423). Estas comunidades se describen en **más detalle** en el *Capítulo 4*. Los siguientes, son efectos más relevantes identificados durante los grupos de enfoque.

Seguridad Personal

La preocupación más inmediata asociada a las inundaciones, es la posibilidad de lesiones o pérdida de vidas durante las tormentas y/o inundaciones. Por ejemplo, el huracán Mitch en 1998 causó 6.500 muertes en Honduras, mayormente como consecuencia de las inundaciones y deslizamientos de tierra³². Mientras Mitch fue un evento extraordinario, los huracanes en los últimos años también han resultado en muertes y un desplazamiento significativo de las comunidades:

³⁰ Tamayo, C. Fuentes H. (2013). Abstract: Modeling Seawater Intrusion and Sea Level Rise Effects on the Coastal Aquifer of Northern Honduras.

³¹ *Ibid.*

³² NOAA National Climatic Data Center (2009). Mitch: The Deadliest Atlantic Hurricane since 1780. Available at: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/reports/mitch/mitch.html>

- 1998: El huracán Mitch afectó a 1,5 millones de personas en Honduras, lo que resultó en aproximadamente 6.000 muertos, 12.000 heridos y 8.000 desaparecidos. Cerca de 285.000 viviendas dañadas o destruidas, mientras que el 70% de los cultivos fueron destruidos. Los daños fueron valorados en 3,8 millones de dólares³³.
- 2001: El Huracán Beta causó que se desbordaran cuatro ríos, dejando a 11.000 personas sin hogar, dañando 41 puentes y la destrucción de 3.000 hectáreas de tierras agrícolas. El Huracán Michelle también causó graves inundaciones, lo que dejó seis muertos y 14 desaparecidos³⁴.
- 2005: El Huracán Stan y la Tormenta Tropical Gamma, dejaron colectivamente, 53 fatalidades³⁵.
- 2008: El Huracán Paloma y la Tormenta Tropical Alma desplazaron a miles de personas.
- 2010: Durante la temporada activa de huracanes del 2010, los huracanes Alex, Karl, Matthew, Paula y Richard, así como la tormenta tropical Agatha, dieron lugar a la evacuación de cerca de 45.000 y dañaron un estimado de 15.370 hogares, desplazando a más de 26.000 residentes.

Tal como ejemplifica la cronología de eventos anteriores, los residentes en Honduras están constantemente bajo la amenaza de daños o desplazamientos debido a estos riesgos climáticos. A nivel local, los residentes que participaron en los grupos de enfoque expresaron su preocupación por el rápido inicio de las inundaciones después de la ocurrencia de fuertes lluvias. En La Ceiba, los residentes calificaron a las inundaciones como algo que ocurre “sin previo aviso”, dejando a los residentes con “poco tiempo para prepararse.”

Los residentes locales señalaron, además, que una vez que las áreas se han inundado, las inundaciones por lo general persisten hasta 24 horas. Por otra parte, las inundaciones se han vuelto más impredecibles. Los residentes señalaron que en el pasado, las estaciones de lluvias estaban bien demarcadas, pero las fuertes lluvias ahora ocurren en momentos inesperados del año³⁶, por lo que la planificación y la preparación se hacen más difíciles.

Pérdida de la Propiedad y Daños

Los participantes en los grupos de enfoque informaron que los techos, puertas, sistemas eléctricos, tuberías y pintura en las casas se dañan frecuentemente durante los desastres, así como los automóviles, muebles y electrodomésticos³⁷. La Tabla 3-1 presenta los costos estimados en incurridos por los residentes para hacer reparaciones a posteriori de tres inundaciones recientes.

Tabla 3-1 Costo promedio estimado de daños estructurales en las Hogares (US\$)

Barrio (Tipo de Peligro)	Evento de Inundación (Bajo Alcance)	Evento de Inundación (Alcance) Medio	Evento de Inundación (Gran Alcance)
Barrio Inglés (Drenaje y Marejadas Ciclónicas)	97 -194	194 – 243	388 – 583
Colonia Prados de Misericordia (Inundación fluvial)	243 – 486	N/A	729 – 1,215
Villas Guadalupe (Inundaciones de drenaje)	972 – 1,458	N/A	2,431 – 3,403
Colonia El Sauce (Inundaciones de drenaje)	97 – 194	97.24 – 243.11	388 – 583

Fuente: ERM, 2013

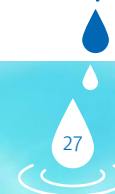
³³ FAO (n.d.) *En Tierra Segura: Desastres Naturales y Tenencia de la Tierra*

³⁴ FAO (n.d.)

³⁵ International Institute for Sustainable Development (2013). *Climate Risk Management for Smallholder Agriculture in Honduras*. New York.

³⁶ Entrevista con Luis Boves, Cruz Roja Honduras, 2013

³⁷ ERM Sub-Contratista, 2013. Grupos de enfoque de la comunidad



Los barrios más afectados se caracterizan por altos niveles de pobreza. En estas comunidades, los hogares generalmente no están hechos con materiales o características durables para protegerse de las inundaciones o fenómenos meteorológicos extremos, tales como fuertes vientos. Por lo tanto, estas estructuras sufren más daños y son más caras de reparar, empeorando el impacto neto para los residentes que tienen menos medios económicos para incurrir en estos costos. La Figura 3-4 ilustra la construcción rudimentaria en un asentamiento informal a lo largo del río Cangrejal, una de las zonas más pobres y más vulnerables de La Ceiba.

Figura 3-7: Casas en un asentamiento informal a lo largo del Río Cangrejal



Fuente: ERM, 2013

Donde los hogares tampoco se construyen adecuadamente, los residentes suelen ser reacios a evacuar o abandonar sus hogares en condiciones de emergencia. En la comunidad de Villa Guadalupe, los encuestados informaron que los ladrones utilizan a menudo los eventos de desastre como una oportunidad para saquear las casas.

Según los encuestados, en el Barrio Inglés, residencias y negocios han sufrido recientemente daños debido a marejadas ciclónicas. Las fuentes locales sugieren que toda la costa del río Danto al río Cangrejal ha erosionado entre 50 y 80 metros en las últimas décadas; la marea ahora llega a la zona urbana en el sector de Nueva York y el Barrio Inglés³⁸.

³⁸ Entrevista con Luis Boves, Cruz Roja Honduras, 2013

Pérdida de Ingresos y Medios de Subsistencia

Los encuestados informaron que es común que se pierdan días de trabajo debido a las inundaciones, particularmente para los que trabajan al aire libre, tales como trabajadores de la construcción, agricultores, jardineros, pescadores, o en el sector informal (por ejemplo, vendedores ambulantes³⁹. Además, cuando las escuelas cierran debido a las inundaciones o después de la emisión de un aviso de advertencia por COPECO, los padres a veces tienen que faltar al trabajo para quedarse en casa con los niños.

Las empresas locales también pierden ingresos durante los apagones producidos por las tormentas o porque los clientes potenciales no siguen con sus actividades regulares en condiciones de emergencia⁴⁰. En la zona costera, varios negocios a veces se ven afectados directamente. Los establecimientos comerciales a lo largo de la franja costera conocida como la “Zona Viva”, que incluye hoteles, tiendas y restaurantes, han sido completamente inundados por las marejadas ciclónicas en el pasado⁴¹.

Interrupción de la Escolaridad

Los participantes de los grupos de enfoque en las cuatro comunidades del estudio informaron que los niños con frecuencia faltan a la escuela durante los eventos de inundación o advertencias de inundaciones⁴². Este es particularmente el caso en los barrios que no tienen sus propias escuelas y, por lo tanto, el transporte se hace necesario. Los padres no sólo encuentran que el transporte es escaso, pero también que es difícil predecir si se producirán graves inundaciones. Incluso para los barrios con escuelas más cercanas, los padres no mandan a sus hijos durante las fuertes lluvias, ya que temen que sus hijos se enfermen debido a las condiciones insalubres causadas por las inundaciones dentro y fuera de los edificios escolares.

Costos Monetarios y de Tiempo Adicionales

Además de los costos de reparación y de reposición, relacionados con los daños a la propiedad, los participantes de los grupos de enfoque también informaron de costos monetarios adicionales para las actividades relacionadas con la preparación y para hacer frente a un suceso. Esto incluye la compra de pilas recargables, linternas, velas, y las tarifas de taxi. Los encuestados de los cuatro barrios reportaron costos adicionales para el agua embotellada, debido a las interrupciones en el servicio de agua potable durante las inundaciones.

Los esfuerzos de recuperación también implican costos adicionales e inversión de tiempo por parte de los residentes. En lugares donde la asistencia pública es escasa, las comunidades deben asumir los deberes de la limpieza y reparar los daños a las calles y casas. Los participantes de los grupos de enfoque estiman esta inversión de tiempo, que varió entre medio día para recoger los escombros de las calles (Colonia El Sauce), hasta doce días (Villa de Guadalupe), para arreglar los daños de las casas.

Saneariamiento y Riesgos de Salud Pública

En algunas zonas de la ciudad, como el Barrio Inglés, el drenaje de las aguas pluviales se ha combinado con el sistema de alcantarillado. En estas zonas, las inundaciones hacen que las aguas negras contaminen el medio ambiente urbano⁴³, lo que lleva a condiciones favorables para la rápida propagación de enfermedades infecciosas que se transmiten a través del agua

³⁹ ERM Sub-Contratista, 2013. Grupos de enfoque de la comunidad

⁴⁰ ERM, 2013. Grupos de enfoque en la Colonia El Sauce

⁴¹ Boves, L. (Octubre 2013) Entrevista semi-estructurada con el representante de la Cruz Roja.

⁴² Cuando COPECO emite las alarmas, los niños no pueden ir a la escuela y pierden clases. Desde el 2013 al 2013 COPECO emitió 23 alarmas debido a los frentes fríos, fuertes precipitaciones, tormentas y terremotos

⁴³ ERM, 2013. Grupos de enfoque en el Barrio Inglés

de la inundación. También se ha reportado que las sabandijas, como ratas y serpientes son una preocupación después de los eventos de tormentas⁴⁴.

Los charcos de agua estancada después de eventos de inundación, también proporcionan criaderos para los mosquitos, que pueden transmitir enfermedades como la fiebre del dengue. Como se ilustra en la Figura 3-5, las acumulaciones de basura son comunes y generalizadas en ciertas zonas de la ciudad, sobre todo a lo largo del río Cangrejal, que se ha convertido en un vertedero ilegal. Entre las causas de este problema, los residentes locales apuntan a un sistema de recogida de residuos sólidos basada en los recursos y una cultura en la que el tirar basura es aceptable⁴⁵. La basura es también un factor que agrava las inundaciones ya que obstruye los sistemas de drenaje o canales naturales, particularmente en áreas donde la basura se acumula.

En los asentamientos informales ubicados a lo largo del río Cangrejal, los hogares no tienen acceso al sistema de alcantarillado sanitario. En cambio, como se ilustra en la Figura 3-6, los residentes en estas comunidades dependen de letrinas que desembocan en el río, causando la contaminación del medio ambiente y aumentando el riesgo de transmisión de enfermedades entéricas. El contacto directo con aguas residuales contaminadas también puede causar problemas de salud tales como infecciones de heridas, dermatitis, e infecciones a los ojos, nariz y garganta⁴⁶.

Figura 3-8: Basura a lo largo del Río Cangrejal



Fuente: ERM, 2013

⁴⁴ Sub-Contratista de ERM, 2013. Entrevista con la Cámara de Turismo

⁴⁵ Cruz, P. (Octubre 2013). Entrevista semi-estructurada con el representante de OMASAN

⁴⁶ World Health Organization (n.d.) Flooding and communicable diseases. Available at: http://who.int/hac/techguidance/ems/flood_cds/en/

Figura 3-9: Letrina en un hogar en un asentamiento informal a lo largo del Río Cangrejal



Fuente: ERM, 2013

Los participantes de los grupos de enfoque informaron haber experimentado síntomas tales como, irritación de la piel, tos, y diarrea, después de un evento de inundación⁴⁷. Esto sugiere una posible incidencia de enfermedades intestinales, tales como rotavirus, y otras enfermedades respiratorias. Los encuestados de la Colonia El Sauce indicaron que a menudo los padres mantienen a sus hijos en casa durante las inundaciones para evitar que se enfermen.

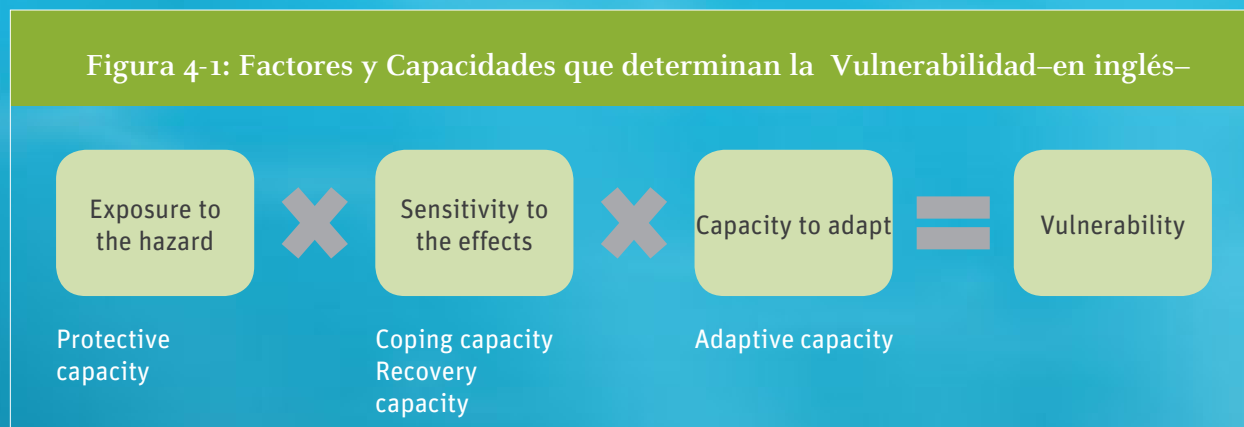
⁴⁷ ERM, 2013. Grupos de enfoque de la comunidad

4. Evaluación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad puede generalmente definirse como “cualquier condición de susceptibilidad a los shocks externos que podrían amenazar las vidas y los medios de vida de las personas, los recursos naturales, las propiedades e infraestructura, la productividad económica y la prosperidad de una región”⁴⁸.

El concepto puede entenderse mejor, como una función de tres factores: i) la exposición física a un peligro, ii) la sensibilidad a los impactos, y iii) la capacidad de adaptación, reduciendo el riesgo de efectos adversos o aprovechando el beneficio de estos efectos⁴⁹.

La Figura 4-1 ilustra el enfoque adoptado aquí para evaluar la vulnerabilidad, visto desde una perspectiva de cuatro capacidades - la protección, la superación, la recuperación y la adaptación. Estas capacidades constituyen el marco bajo el cual la vulnerabilidad puede ser entendida a nivel comunitario.



Fuente: Adaptado de Mertz et al. (2009)⁵⁰

⁴⁸ Uribe A., et al. (Mayo 1999) *Reducing Vulnerability to Natural Hazards: Lessons Learned from Hurricane Mitch A Strategy Paper on Environmental Management*. Inter-American Development Bank.

⁴⁹ McCarthy, J. et al. (2011). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, New York

⁵⁰ Mertz, O., Halsnaes, K., Olesen, J., Rasmussen, R. 2009. *Adaptation to Climate Change in Developing Countries*. Environmental Management 43:743-752.

Lo que hace que la vulnerabilidad sea un concepto útil para la planificación de la adaptación es el hecho de que no sólo refleja la exposición física al peligro, sino que también indica los factores socioeconómicos subyacentes que pueden permitir o impedir la capacidad de las comunidades para prepararse, enfrentarse a, recuperarse, y adaptarse.

El entender las condiciones físicas, socioeconómicas y ecológicas que determinan la vulnerabilidad, permite a los tomadores de decisiones, seleccionar las intervenciones apropiadas, basados en criterios que toman en cuenta las tendencias a largo plazo, y las necesidades de las comunidades específicas.

A raíz de este marco conceptual, ERM realizó grupos de enfoque en cuatro comunidades de La Ceiba, utilizando un cuestionario estructurado el cual suscitó a los encuestados que caracterizaran los peligros naturales recientes; describir el daño que estos hechos causaron; identificar los impactos percibidos en su salud y sus finanzas; y sugerir formas en que estos impactos pudiesen ser evitados o disminuidos.

Los hallazgos a través de este trabajo de campo, ayudaron a caracterizar la capacidad de estas comunidades para prepararse, hacer frente, recuperarse y adaptarse frente a los riesgos naturales provocados por el clima que se describen en el *Capítulo 3*. También presentó datos ilustrativos sobre los costes sufragados por los residentes debido a las inundaciones, así como, los bienes y servicios disponibles para ellos a nivel gubernamental.

Metodología de Evaluación de la Comunidad

La vulnerabilidad es altamente contextual, ya sea porque puede variar significativamente entre las comunidades vecinas que poseen diferentes características demográficas y socio-económicas, o porque el grado en que una comunidad es vulnerable, depende del fenómeno natural en cuestión.

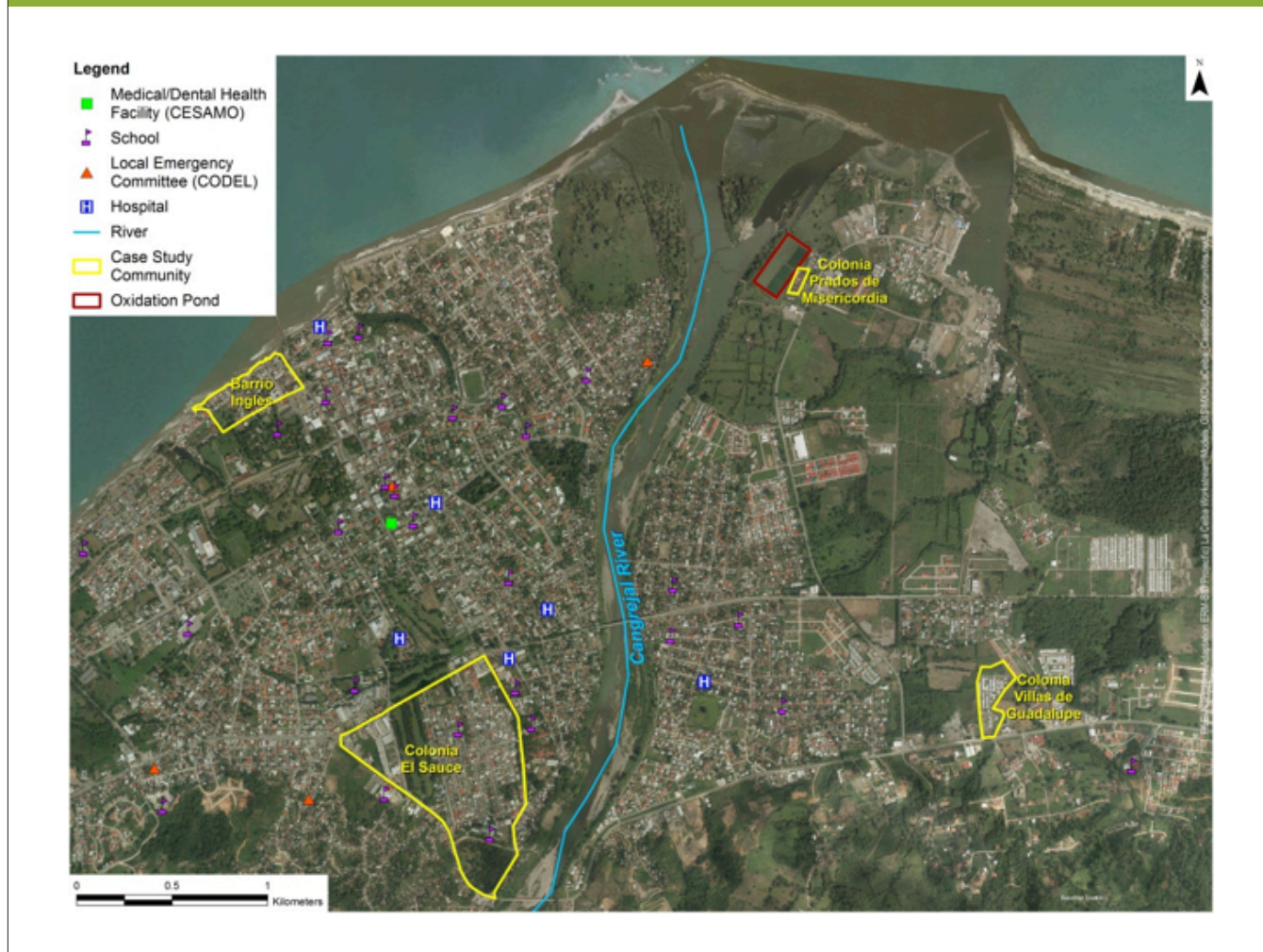
Por lo tanto, esta evaluación de la vulnerabilidad se centra en las comunidades que reflejan una gama diversa de condiciones socioeconómicas y son vulnerables a los riesgos naturales, como las inundaciones. El equipo seleccionó cuatro comunidades. Éstas no incluían zonas en las cuales pudiese haber problemas de seguridad, tales como los asentamientos informales a lo largo del río Cangrejal.

Las comunidades seleccionadas incluyen:

- Colonia El Sauce, un barrio residencial con un ingreso relativamente más alto, propensa a las inundaciones debido a su proximidad con el Río Cangrejal;
- El Barrio Inglés, que comprende una parte, considerada el centro histórico del distrito, a lo largo de la costa, y que se encuentra bajo la amenaza del retroceso de las costas y las inundaciones debido a su baja altitud. Los residentes son pescadores artesanales y otros grupos de bajos ingresos;
- Villa Guadalupe es un barrio de baja altitud, donde las inundaciones frecuentes son causadas por un sistema de drenaje inadecuado. La situación socio-económica de sus habitantes es muy baja debido al gran número de desempleados y personas dependientes; y
- Colonia Prados de la Misericordia, un barrio de bajos ingresos situado al lado de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se encuentra bajo riesgo de inundaciones debido a su proximidad con el Río Cangrejal.

La Figura 4-2 ilustra la ubicación de estas comunidades en relación con las áreas identificadas como propensas a las inundaciones y a la erosión costera.

Figura 4-2: Ubicación de las Comunidades incluidas en la Evaluación de la Vulnerabilidad



Fuente: ERM, 2013

Como se mencionó anteriormente, la vulnerabilidad es función del grado de exposición a un peligro, la sensibilidad a sus efectos, y la capacidad de adaptación a corto y largo plazo. Aunque esta definición sugiere un alto grado de certeza (simplemente multiplicar los tres componentes y calcular el riesgo), es importante reconocer que el riesgo es inherentemente un concepto subjetivo⁵¹.

Las condiciones socio-económicas pueden contribuir significativamente a la vulnerabilidad, y la vulnerabilidad y la pobreza están estrechamente vinculadas⁵². Por ejemplo, las familias con ingresos muy bajos no tienen los recursos para alejarse de las zonas de alto riesgo, ni poseen los ingresos residuales necesarios para proteger sus hogares de las inundaciones. En general, los factores socioeconómicos desempeñan un papel importante en la formación de la capacidad protectora, de superación, de recuperación y de adaptación de una comunidad.

⁵¹ Kuhl, L. (2011).

⁵² McGray H, Hammill A, Bradley R. (2007). *Weathering the Storm: Options for Framing Adaptation and Development*. World Research Institute (WRI) Report.

La Tabla 4-1 explica mejor los cuatro conceptos que conforman el enfoque analítico utilizado para evaluar la vulnerabilidad en La Ceiba.

Tabla 4-1 Capacidades que determinan la vulnerabilidad

Capacidad	Explicación
Capacidad Protectora	Refleja el nivel de exposición de la comunidad a los efectos causados por las inundaciones o la erosión costera. El análisis considera factores como, la proximidad al Río Cangrejal, que puede desbordarse durante las fuertes lluvias; si el área es propensa a inundaciones debido al drenaje deficiente; y la proximidad al litoral, incluyendo la elevación. Otros factores secundarios incluyen, la calidad de la construcción de la vivienda o la infraestructura en el lugar, para proteger las comunidades de los peligros naturales
Capacidad de Respuesta	Representa la capacidad de las comunidades y personas para hacer frente a los efectos adversos de las inundaciones, la erosión costera y la intrusión salina, a través de medidas, recursos o comportamientos que incluyan procedimientos de evacuación, recursos monetarios para comprar reservas de agua y de alimentos, buena salud física y movilidad para evitar lesiones.
Capacidad de Recuperación	Corresponde a la capacidad de las personas para volver a la normalidad lo antes posible después de la ocurrencia de un peligro natural. Los factores que conforman la capacidad de recuperación incluyen, por ejemplo, la disponibilidad de los gobiernos locales - ya sea a través de los activos y/o los procedimientos - para apoyar las operaciones de limpieza. El acceso a los servicios de salud también indica la capacidad de recuperarse de enfermedades o lesiones relacionadas con las inundaciones.
Capacidad de Adaptación	Refleja la disponibilidad y el acceso a los recursos y activos que permiten a las comunidades a adaptarse. Esto incluye medidas para crear conciencia de los riesgos que enfrentan las comunidades específicas, los recursos internos y externos invertidos en medidas de prevención de inundaciones, y el grado en el que la adaptación ha sido firmemente adoptada como un factor en la planificación del desarrollo.

El resto de este capítulo presenta las conclusiones de las sesiones de los grupos de enfoque, complementadas con información obtenida a través de entrevistas con expertos locales, para proporcionar una instantánea de la vulnerabilidad, expresada en términos de las cuatro capacidades - de protección, superación, recuperación y adaptación.

4.1 Capacidad protectora

La capacidad de protección se refiere a situaciones, recursos o medidas disponibles para las personas, hogares o una comunidad, para evadir o reducir los efectos causados por un desastre natural. En esta Sección se analiza la capacidad de protección en cuanto a los siguientes factores:

- Ubicación geográfica;
- Infraestructura para prevenir las inundaciones;
- Nivel básico de saneamiento

Estos factores se analizan a continuación:

Ubicación Geográfica

El análisis confirmó el hecho de que las comunidades a lo largo de la costa (Barrio Inglés), y cerca del Río Cangrejal (Colonia El Sauce), eran propensas a inundaciones frecuentes. En el Barrio Inglés, los residentes recordaron tres acontecimientos recientes en el 2013, cuando el barrio se inundó con aguas de un pie⁵³ a un metro de altura. Los residentes de la Colonia Prados de la Misericordia citan dos tormentas tropicales, en el 2005 y 2008, que provocaron inundaciones de hasta dos metros cuando el río Cangrejal se desbordó.

Cuando se les pidió que mencionaran tres de las últimas inundaciones, se hubiese podido esperar que los residentes en el Barrio Inglés indicaran que las inundaciones fueron causadas por las marejadas ciclónicas. Sin embargo, los encuestados atribuyeron las frecuentes inundaciones en la comunidad al deficiente drenaje durante las fuertes lluvias. El siguiente comentario ilustra este punto, “las casas comienzan a inundarse cuando el agua fluye de vuelta desde las tuberías de drenaje, transportando material fecal de vuelta y contaminando así las viviendas y el ambiente circundante.”

Infraestructura para Prevenir Inundaciones

A nivel de la ciudad, la limitada infraestructura está en el lugar para proteger a las comunidades de las inundaciones y la erosión costera. Por ejemplo, el sistema de diques se considera insuficiente para evitar que el Río Cangrejal se desborde, mientras que el sistema de drenaje urbano se considera obsoleto, de acuerdo con un especialista en planificación urbana⁵⁴.

El sistema de drenaje urbano se considera como la causa principal de las inundaciones en toda la ciudad. De acuerdo con un funcionario municipal, el sistema de drenaje no está diseñado para manejar tanto las aguas pluviales como residuales⁵⁵. Durante la temporada de lluvias, el sistema colapsa con frecuencia debido al volumen de ambos efluentes.

El dejar basura intencionalmente, lo que luego termina en la obstrucción del sistema de drenaje, es un problema generalmente reconocido por los residentes y los funcionarios públicos. Este problema se observa en toda la ciudad, aunque un poco menos en los barrios establecidos como la Colonia El Sauce, y más cerca de los asentamientos informales.

De acuerdo con el director del departamento de agua y saneamiento municipal (OMASAN), es el efecto combinado de las lluvias más frecuentes y la basura, lo que hace que la red de drenaje sea ineficaz, y que conduce a las inundaciones. Los residentes expresaron la necesidad de un mejor mantenimiento de los canales de drenaje, incluido el dragado y remoción de escombros .

A nivel de barrio, los residentes han desarrollado maneras de proteger su propiedad contra las inundaciones. En la Colonia El Sauce, la mayoría de los hogares cuentan con paredes de concreto, construidas a lo largo del perímetro de cada propiedad, para contener las inundaciones. En el Barrio Inglés, los residentes se han auto-organizado para limpiar los canales de drenaje. En Villa Guadalupe, el municipio y CODEM colaboraron en el dragado de un canal cercano.

Nivel Básico de Saneamiento

Las condiciones sanitarias básicas son las que determinan el nivel de riesgo para la salud pública en los casos de inundación. Como se mencionó anteriormente, debido a que el sistema de drenaje combina aguas residuales y pluviales, las inundaciones, por lo general, causan, que las aguas residuales retornen a las calles e incluso a las casas (confirmado por los encuestados del Barrio Inglés y Villa Guadalupe, pero no de la Colonia El Sauce, que es un desarrollo residencial planificado). Por otra parte, los encuestados en Prados de la Misericordia y el Barrio Inglés describen su entorno como particularmente insalubre y reportaron la presencia de moscas, roedores y malos olores.

⁵³ El pie es un término informal de medida que corresponde aproximadamente a un tercio de un metro

⁵⁴ Ulloa, J. (Octubre 2013). Entrevista con el Departamento de Planificación Urbana, Municipalidad de La Ceiba

⁵⁵ Cruz, P. (Octubre 2013) Entrevista con el Director, Departamento de Agua y Saneamiento (OMASAN)

La basura también exagera las inundaciones creando bloqueos en los canales de drenaje. Los residentes culpan a las prácticas culturales y los funcionarios de la ciudad por no limpiar las zanjas de drenaje y no prestar servicios de basura⁵⁶. Las observaciones visuales confirmaron la gran magnitud del problema, sobre todo alrededor de los asentamientos informales, que no están cubiertos por los servicios municipales. Los encuestados en la Colonia El Sauce, dijeron que su comunidad estaba limpia porque el barrio contrataba un servicio de limpieza para eliminar la basura de las calles y de los espacios públicos.

4.2 Capacidad de respuesta

La capacidad de respuesta generalmente se describe como “la capacidad de las personas, organizaciones y sistemas, en utilizar las habilidades y los recursos disponibles, para enfrentar y manejar condiciones adversas, de emergencia o desastres⁵⁷”. Visto desde la perspectiva del barrio, la capacidad de respuesta es la medida en la cual, una comunidad se organiza para responder a una amenaza natural en un corto plazo. En esta Sección se analiza la capacidad de respuesta en cuanto a los siguientes factores:

- Condiciones socioeconómicas;
- Demografía;
- Preparación para emergencias y capacidad de respuesta

Estos factores se analizan a continuación.

Condiciones Socioeconómicas

La capacidad de respuesta está estrechamente relacionada con las condiciones socioeconómicas, ya que determina el nivel de preparación que los hogares pueden lograr. En general, los hogares con niveles de ingresos más altos pueden invertir más para prepararse, por lo que están mejor equipados para hacer frente a los desastres.

La mayoría de las estrategias de afrontamiento empleadas por los residentes son adecuadas para inundaciones que ocurren con suficiente advertencia, lo que les permite más tiempo para los preparativos, como guardar las pertenencias, y para la evacuación, (a pesar de que hay una reticencia natural en abandonar los hogares). El riesgo de pérdida de la vida es menor en este escenario.

En el caso de tormentas más fuertes, como los huracanes, la respuesta requerida por lo general, va más allá del rango de tolerancia local. Estos son eventos que son fundamentales para la planificación de la adaptación, dado el alto riesgo que implican y la perspectiva de tormentas más frecuentes en el futuro.

El nivel de ingresos determina la capacidad de los residentes para hacer frente a las inundaciones debido a los costos adicionales de tiempo y dinero involucrados en la adquisición de agua embotellada y alimentos, el transporte (por ejemplo, los viajes en taxi), baterías y otros artículos de primera necesidad. Además de estos costos, los residentes locales informaron que han tenido que faltar al trabajo debido a las inundaciones en sus comunidades. Sus hijos también faltaron a la escuela por la misma razón. En estos casos, el transporte - debido a su escasez o costo - es un factor limitante.

⁵⁶ Kuhl, L. (2011)

⁵⁷ UNISDR (2009). *Definition: Coping Capacity*. Terminology section, UNISDR Web site. Obtenido en: <http://www.preventionweb.net/english/professional/terminology/v.php?id=472>

Los más pobres se encuentran entre los menos capaces de hacer frente a los desastres, y por lo tanto, algunos de los más vulnerables. Aunque, el equipo de campo no encuestó directamente a ninguno de los residentes en algunos de los barrios más pobres, las observaciones visuales confirmaron el mal estado de las viviendas y el carácter informal de las familias que se han asentado en las márgenes del río Cangrejal. Según los funcionarios públicos, dado que estos asentamientos no son reconocidos legalmente, hay implicaciones en términos de respuesta a los desastres, ya que se requiere que las organizaciones de rescate brinden asistencia primero a las comunidades legalmente reconocidas.

Demografía

En términos demográficos, el número de dependientes (por ejemplo, niños, ancianos, y personas con discapacidad) en un hogar, es un factor importante en la evaluación de la capacidad de respuesta. Por ejemplo, la presencia de los residentes con discapacidad, que pueden tener problemas de movilidad, harían la evacuación o rescate más difícil. Los niños y los ancianos también son más susceptibles a lesiones o problemas de salud durante una inundación.

Aunque no hay datos disponibles para determinar el porcentaje de hogares con personas dependientes, para barrios específicos, los grupos de enfoque realizados por ERM, sugirieron que hay un porcentaje bastante alto de hogares con personas dependientes en Prados de la Misericordia (> 90%) y una proporción relativamente baja en Villa Guadalupe (40%). Los participantes de los grupos de enfoque, tanto en el Barrio Inglés y Colonia El Sauce, estimaron las poblaciones con dependientes en un 60%.

Preparación y Respuesta a Emergencias

Gran parte de la infraestructura y los servicios en La Ceiba están lejos de considerarse óptimos, para hacer frente a los fenómenos meteorológicos extremos. Durante las tormentas, los sistemas de agua potable en algunos barrios a menudo se tapan con escombros y deben cerrarse por razones de seguridad. Además, otros tienen bombas de tratamiento eléctricas, que se cierran cuando el servicio de electricidad no está disponible⁵⁸. Durante el Huracán Mitch, las comunidades de La Ceiba estuvieron sin agua y electricidad durante dos semanas después del desastre.

De acuerdo con el Plan Municipal de Manejo de Riesgos de La Ceiba, el 63,2% de la red vial no está pavimentada (252,3 kilómetros). Además, el 30,4% de la red vial en La Ceiba (12.6% sin pavimentar y 17.8% pavimentado) que se estiman se encuentran en zonas propensas a las inundaciones. Los participantes en los grupos de enfoque describieron las dificultades cuando tienen para ir a trabajar, a la escuela u otros lugares como los centros de salud cuando las calles se inundan. Por otra parte, el costo del transporte aumenta, mientras que la frecuencia de transporte público (por ejemplo, autobuses, taxis) disminuye.

El plan de manejo de riesgos también identificó áreas en las cuales, los activos de la comunidad (por ejemplo, centros de salud, centros comerciales) y la infraestructura pública se encuentran bajo alto riesgo de inundación. Esto incluye cuatro instalaciones de eliminación de residuos y un centro comercial. Además, el 5% de la red de agua potable y el 7,4% de la red de saneamiento se encuentran en zonas de alto riesgo de inundación⁵⁹.

Hay cuatro refugios de emergencia en La Ceiba, con una capacidad colectiva de 900 personas. En una entrevista⁶⁰, un representante de la Cruz Roja indicó que las condiciones en el mayor refugio, el gimnasio José Simón Azcona, que tiene capacidad para 500 personas, son insuficientes. A un número de organizaciones y agencias en La Ceiba se les ha dado la tarea para la respuesta de emergencia, pero se considera que estas están limitadas en cuanto a capacidad, organización y recursos.

⁵⁸.

⁵⁹ Comisión Permanente de Contingencias (COPECO) 2010. *Plan Municipal de Gestión de Riesgos, Municipalidad de La Ceiba*

⁶⁰ Boves, L. (2013)



4.3 Capacidad de recuperación

Una vez que se declara un desastre, hay un período relativamente corto de tiempo para planificar y poner en marcha las operaciones de recuperación. En La Ceiba, hay básicamente dos organizaciones encargadas de las operaciones de recuperación: COPECO y la Cruz Roja de Honduras. Además, el municipio, a través de su Departamento de Planificación Urbana y la Unidad del Medio Ambiente, también se encarga de coordinar los esfuerzos de recuperación. Según informes, hay varias Organizaciones No Gubernamentales (ONG) que ayudan a la respuesta y recuperación después de estos eventos.

COPECO es la institución encargada de coordinar los esfuerzos de manejo de riesgos a nivel regional. Cuenta con una oficina regional en La Ceiba con un total de cinco empleados, que tienen que coordinarse con todos los Comités de Emergencia Local y Municipal (CODEM y CODEL, respectivamente). La Cruz Roja de Honduras tiene una oficina de Manejo de Riesgos que trabaja en la educación comunitaria, preparación, respuesta y rehabilitación. Estos están centrados en el desarrollo de planes de emergencia local a través de los programas de sensibilización en las escuelas. Después de un desastre, por lo general, por lo general, quedan a cargo de distribuir la ayuda humanitaria.

De acuerdo con las entrevistas realizadas por ERM, la mayor parte de las limitaciones en el manejo de riesgos y la capacidad de respuesta en La Ceiba, son el resultado principalmente de recursos financieros y humanos⁶¹ limitados.

Acceso a los Servicios de Salud

Los encuestados de los cuatro barrios diferentes reportaron casos en los cuales los residentes han sufrido problemas respiratorios, enfermedades del aparato digestivo (por ejemplo, contra el rotavirus) y las infecciones por hongos después de un evento de inundación. Por lo tanto, el restablecimiento de las condiciones sanitarias en forma ordenada y lo más rápidamente posible después de un desastre, es un factor clave para permitir el acceso a los servicios de salud y la mitigación de impactos adicionales a la salud pública⁶².

El acceso a los servicios de salud es también un factor importante que determina la capacidad de los residentes para recuperarse de un desastre natural. Hay aproximadamente 219 centros de salud (públicos y privados), 6 Centros Municipales de Salud (o CESAMOS) y 16 Centros de Salud Rural (o CESAR) en la Municipalidad de La Ceiba⁶³. Como se ilustra en la Figura 4-2, todos los barrios de estudio están a 2 km de un centro de salud u hospital. Los hospitales más cercanos son el Hospital Público Atlántida y el privado D'Antoni. Sin embargo, la mayoría de los residentes no pueden pagar los servicios proporcionados en los centros de salud privados.

Community-level organization of clean-up efforts

A pesar de las limitaciones presupuestarias, la Gerencia de Urbanismo Municipal y la Unidad del Medio Ambiente continúan desarrollando la respuesta y la capacidad de limpieza a nivel de la comunidad. Los encuestados en la Colonia El Sauce y Barrio Inglés, informaron haber participado en campañas centradas en la limpieza de los canales de drenaje en colaboración con CODEM.

⁶¹ Castillo, O. (2013). Entrevista con el coordinador del cambio climático de CREDIA.

⁶² Una vez que las inundaciones se apaciguan, los miembros de los grupos de enfoque indicaron que normalmente se necesitaba como una semana para limpiar las calles y restablecer el orden general y la normalidad.

⁶³ Plan Municipal de Ordenamiento Territorial caracterización y Planificación Regional. Iberinsa and ESA Consultores, Julio 2010

Donde las inundaciones urbanas son regulares y bastante previsible (por ejemplo, fuertes lluvias o tormentas), las comunidades comúnmente hacen los preparativos. Las redes comunitarias en los barrios se consideran que son de resultados de recuperación más rápidos y satisfactorios⁶⁴. El Plan de Emergencia Municipal de La Ceiba considera que el papel de estas redes es crítico. Sin embargo, durante las entrevistas, los encuestados expresaron que no estaban organizados para responder después de un evento. Sólo en Villa Guadalupe los entrevistados relataron algunos de los procedimientos de evacuación que ellos siguen.

Las redes de apoyo y programas de recuperación son impulsados por el CODEM y COPECO con el apoyo de organizaciones no gubernamentales como la Cruz Roja. Por lo general, sus servicios incluyen proporcionar refugio o distribución de alimentos durante las secuelas de un evento. Los grupos de enfoque encuestados reconocieron la necesidad de programas de asistencia a largo plazo, con énfasis en la reconstrucción y alivio financiero, sin embargo, pero, según informes, las instituciones anteriormente citadas carecen de los recursos o el mandato requerido para llevarlos a cabo.

4.4 Capacidad de adaptación

La capacidad de adaptación se refiere a la capacidad de ajustarse a los cambios y condiciones de incertidumbre, y por lo tanto la organización a nivel comunitario y la planificación pueden ser un indicativo de capacidad.

Las observaciones en los barrios seleccionados sugieren que en algunos, aunque muy limitados, se está llevando a cabo una actividad de prevención y mitigación de las inundaciones, a nivel de barrio. El estado de los canales en algunos de los barrios (sin mantenimiento y llenos de basura en Prados de la Misericordia) también son indicativo de la falta de acción a nivel comunitario.

Un plan de respuesta a emergencias publicado por la COPECO, asoció la insuficiente capacidad de los gobiernos locales y la falta de coordinación intermunicipal, como los principales riesgos para la Municipalidad de La Ceiba⁶⁵.

Varias instituciones en La Ceiba (por ejemplo, CREDIA, la Cámara de Turismo, la Municipalidad) han elaborado varios planes que documentan las áreas críticas que requieren reparación de la infraestructura de drenaje con el fin de evitar las inundaciones, así como otros proyectos de infraestructura necesarios para mitigar los efectos negativos del crecimiento urbano no planificado (por ejemplo, la construcción de zonas de amortiguamiento alrededor del río Cangrejal, el paseo marítimo de la costa).

Durante las entrevistas realizadas, los residentes de los barrios seleccionados enumeraron una serie de acciones que ellos consideran fundamentales para promover la adaptación al cambio climático. La lista a continuación, las incluye por orden de importancia:

- Mejorar el sistema de drenaje;
- Dragado de los ríos y arroyos;
- Mejora del manejo de residuos sólidos;
- Construir o reparar las líneas de alcantarillado en las comunidades;

⁶⁴ Nakagawa, Y. Shaw, R. (Marzo 2004). *Social Capital: A Missing Link to Disaster Recovery*. United Nations Center for Regional Development. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, Vol. 22, No. 1, pp. 5-34

⁶⁵ COPECO, 1020. *Plan Municipal de Gestión de Riesgos*. Comisión Permanente de Contingencias (COPECO). Proyecto de Mitigación y Desastres Naturales (PMDN). Municipalidad de Ceiba. Departamento de Atlántida. Sep. 2010. Ibérica de Estudios e Ingeniería, S.A.

- Evitar el llenado de áreas donde hay pequeños arroyos de invierno;
- Las mejoras de los márgenes de los ríos;
- No extender permisos de construcción en las riberas de los ríos;
- Evitar las concesiones de los recursos naturales;
- El control de la deforestación; y,
- La construcción de una infraestructura pública resistente a los cambios climáticos

Capacidad de Planificación Municipal

El municipio carece de los activos (capacidad institucional y de presupuesto) para aplicar y hacer cumplir efectivamente los planes de desarrollo que podrían ayudar a prevenir el empeoramiento de los peligros del cambio climático⁶⁶.

La Ceiba cuenta con varios instrumentos de planificación que incluyen los siguientes: el Plan de Emergencia Municipal de La Ceiba, Plan Municipal para el Manejo del Riesgo, Desarrollo y Ordenación del Territorio, el Plan IV de la Región Lean Valley, y el Plan de la Ciudad. Aunque estos planes existen, no siempre se aplican eficazmente, debido a las limitaciones de capacidad que socavan los esfuerzos de manejo de los riesgos. Por ejemplo, una recomendación clave en el Plan Municipal para el Manejo del Riesgo, es llevar a cabo una evaluación de la capacidad municipal en diferentes unidades y departamentos que tienen un papel en el manejo de riesgos; sin embargo, hasta la fecha, este paso no se ha llevado a cabo.

Del mismo modo, la planificación para el crecimiento urbano en La Ceiba, hasta el momento, está limitada. Los controles de desarrollo rara vez se aplican cuando ya están aprobados, tales como los reverses para el desarrollo cerca de las riberas de los ríos). Este desarrollo no planificado en curso, en La Ceiba compromete seriamente la capacidad de mitigar y adaptarse a futuros riesgos derivados del cambio climático.

Apoyo de la Comunidad de Ayuda Internacional

Tanto por su situación vulnerable y en parte a su potencial para el turismo, La Ceiba ha sido un área de enfoque clave para la Agencia de Estados Unidos para la Ayuda Internacional (USAID), que ofrece donaciones y anima a los préstamos de otras instituciones financieras internacionales para una serie de proyectos de desarrollo relacionados con la adaptación al cambio climático. La Unión Europea también ha invertido en proyectos clave en La Ceiba, como en la fundación CREDIA, un centro regional enfocado en facilitar el intercambio de datos ambientales y de sostenibilidad y en promover la conciencia ambiental. En este sentido, estas inversiones ayudan a promover la capacidad de las instituciones locales y los individuos para adaptarse a las cambiantes circunstancias ambientales locales.

⁶⁶ Emergency Response Plan La Ceiba, COPECO. Iberinsa and ESA Consultores, 2010

5. Evaluación de futuros impactos del cambio climático

Honduras es altamente vulnerable a los desastres naturales, no sólo porque el país está expuesto a frecuentes riesgos climáticos (véase el Capítulo 3), sino también porque estos eventos pueden afectar significativamente las poblaciones humanas, la infraestructura y la economía⁶⁷. La gravedad de estos impactos depende en gran medida de factores relacionados con la geografía, la cultura, la gobernabilidad y el desarrollo socioeconómico. Estos factores determinan la vulnerabilidad, que es la capacidad de las comunidades para prepararse, hacer frente y recuperarse de un desastre.

El enfoque de adaptación al cambio climático es abordar esta vulnerabilidad subyacente, teniendo en cuenta cómo esas amenazas naturales van a evolucionar en el futuro. Este Capítulo examina cómo el cambio climático puede exacerbar los riesgos naturales que La Ceiba está atravesando en la actualidad. Teniendo en cuenta este escenario futuro del cambio climático, ERM realizó un análisis técnico, dirigido a:

- Predecir la magnitud de las inundaciones derivadas del desbordamiento del Río Cangrejal, modelando la respuesta de la cuenca ante los sucesos de tormentas de intensidad creciente;
- Evaluar la zona costera en peligro de inundación dadas las proyecciones del ascenso del nivel del mar y teniendo en cuenta el efecto adicional de las marejadas ciclónicas causadas por los ciclones tropicales y los frentes fríos; y
- Caracterizar los efectos adversos potenciales en las fuentes de agua potable debido a la intrusión salina en las aguas superficiales y subterráneas.

El resto de esta Sección se ha organizado como sigue:

Sección 5.1 documenta la metodología de análisis, indicando los paquetes de modelado específicos utilizados, los escenarios que fueron modelados, y el input principal incorporado en los modelos.

Sección 5.2 presenta las proyecciones asumidas en el análisis de los impactos futuros del cambio climático, y el proceso mediante el cual fueron seleccionados el escenario del uso del suelo y las proyecciones climáticas.

⁶⁷ Harmeling, S. (2009) *Global Climate Risk Index 2010: Who is Most Vulnerable? Weather-related Loss Events Since 1990 and How Copenhagen Needs to respond*. GermanWatch Briefing Paper.

Sección 5.3 resume los resultados técnicos de los riesgos relacionados con las inundaciones fluviales, inundaciones costeras y la intrusión salina.

Sección 5.4 incluye un análisis basado en un modelo de varias opciones propuestas por las partes interesadas para mitigar el riesgo de las inundaciones vinculadas con el Río Cangrejal.

Sección 5.5 concluye la Sección con un resumen de los hallazgos y las reflexiones generadas durante los análisis técnicos realizados por ERM.

5.1 Metodología

Esta Sección documenta la metodología seguida por ERM para modelar y evaluar los impactos actuales y futuros en La Ceiba como consecuencia de las inundaciones ribereñas o costeras, así como la posible extensión de la intrusión salina a lo largo del río Cangrejal. Se utilizó un enfoque de modelado distinto para cada peligro natural bajo análisis.

5.1.1 Inundaciones del Río Cangrejal

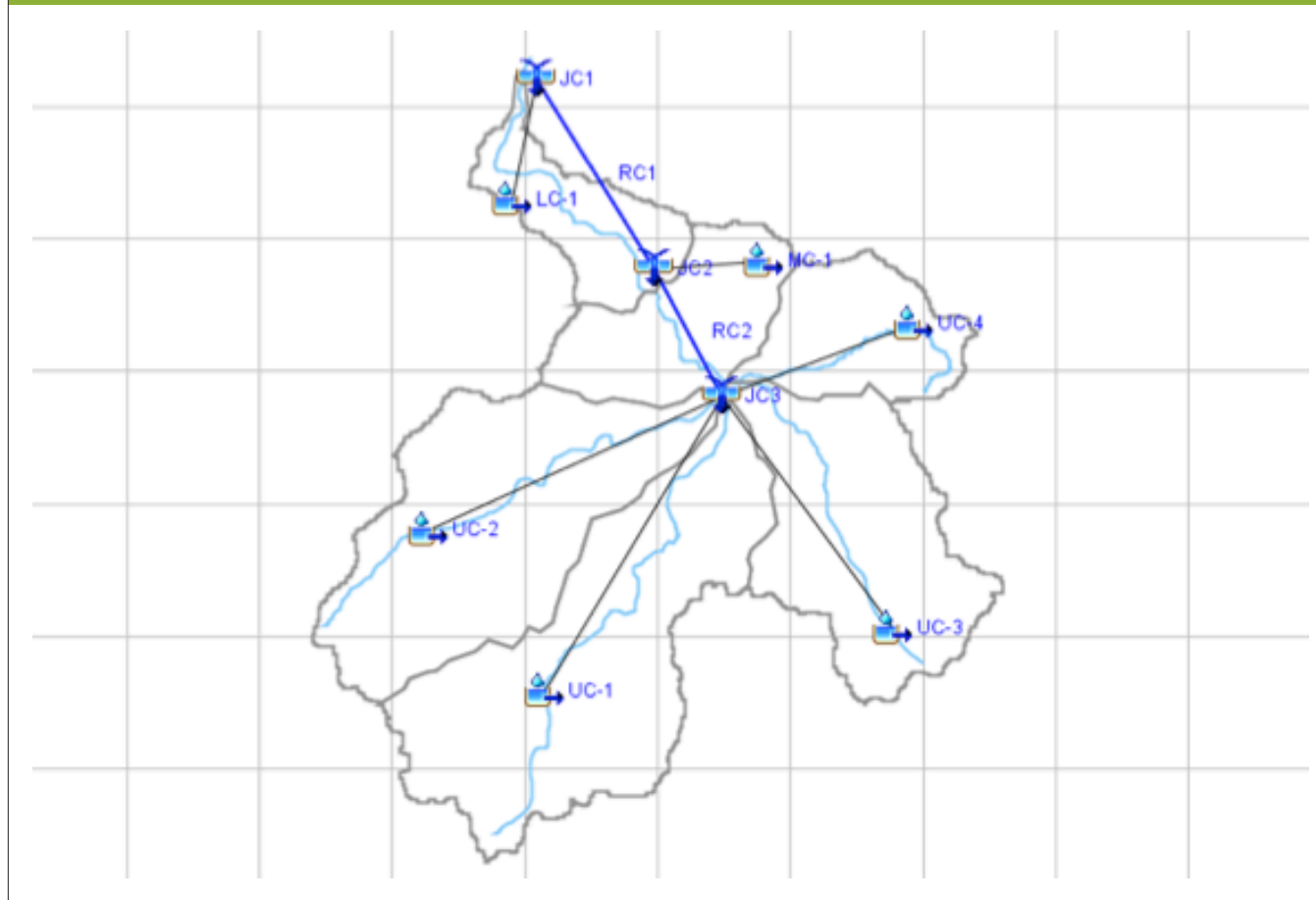
ERM utilizó un modelo hidrológico, un modelo hidráulico, y un modelo topográfico, más un software cartográfico para evaluar la extensión de las inundaciones fluviales en La Ceiba. Los modelos se seleccionaron sobre la base de un juicio profesional, teniendo en cuenta la disponibilidad de los datos de input y el nivel de análisis requerido. Además, el modelo hidrológico (HEC-HMS) y el modelo hidráulico (HEC-RAS) están disponibles para el público, y los cuales tienen una historia de aceptación en una variedad de aplicaciones tales como esta.

Modelo Hidrológico

ERM estableció un modelo hidrológico (HEC-HMS) para predecir la respuesta de la cuenca del Río Cangrejal bajo diferentes usos del suelo y escenarios de precipitación. Al tener en cuenta el uso del suelo específico y los tipos de suelo en las zonas de captación, el modelo hidrológico cuantifica el volumen de la escorrentía de las aguas pluviales que resulta de la precipitación. Los resultados del modelo se expresan como los caudales máximos.

HEC-HMS permite la asignación de características hidrológicas distintas a las diferentes áreas de las cuencas hidrográficas. Como se ilustra en la Figura 5-1, la cuenca del Río Cangrejal se divide en seis zonas de captación (sub-cuencas).

Figura 5-1: Modelo HEC-HMS para la Cuenca del Río Cangrejal



Fuente: ERM, 2013

Se calculó el valor del tiempo de concentración (T_c) para cada área de captación basado en la morfología de cada sub-cuenca y el número de curva de escurrimiento (CN). El tiempo de concentración es el tiempo total de viaje que la escorrentía toma desde el punto más lejano de la cuenca hasta un punto de interés⁶⁸. El número de curva (CN) es un parámetro hidrológico sin unidades que representa el porcentaje de precipitación que no se infiltra en el suelo, y por lo tanto, se convierte en escorrentía. El CN es una función de la precipitación acumulada, el tipo de suelo, uso del suelo y la humedad precedente⁶⁹.

⁶⁸. USDA, 1986 Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55

⁶⁹. Wanielsita, M. Kersten, R., and Eaglin, R. 1997. Hydrology: Water Quantity and Quality Control. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc. Pg. 567

ERM consultó el material de referencia publicado por SERNA, SINIT, y el Manual de Hidrología de referencia para Honduras⁷⁰, para calcular y asignar un valor compuesto CN para cada sub-cuenca dentro de la cuenca del Río Cangrejal. La información obtenida de agencias en Honduras, incluían los tipos de suelo, clasificación de los usos del suelo, y los valores de referencia CN para diferentes tipos de suelo y usos de la tierra.

La Tabla 5-1 resume las características hidrológicas asignadas a cada cuenca de captación dentro del área de la Cuenca del Río Cangrejal.

Tabla 5-1 Características hidrológicas de la cuenca del Río Cangejal

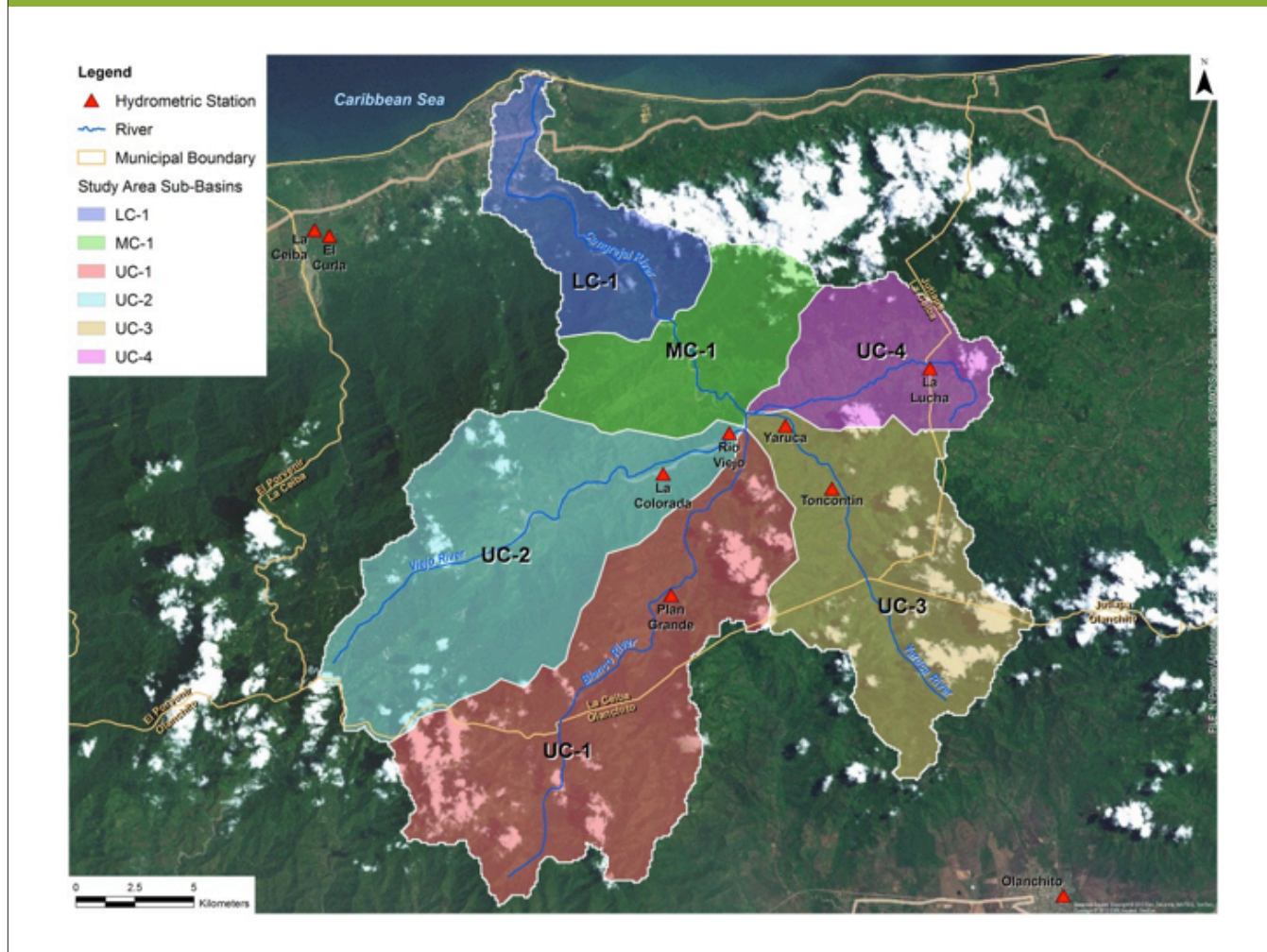
Sub-Cuenca	Río	Área (Km ²)	CN*	Tc (Horas)
UC-1	Río Blanco	146.35	54	20.05
UC-2	Río Viejo	128.91	55	13.84
UC-3	Río Yaruca	98.38	54	15.80
UC-4	Tributaries	46.75	53	15.11
MC-1	Cangrejal	54.46	64	11.58
LC-1	Cangrejal	47.58	66	18.90

Nota: El CN compuesto se calculó sobre la base de datos de suelos y uso de la tierra, así como, los valores de referencia que se encuentran en el Manual de Referencia de Hidrología desarrollado por INTEMAS.

Además de los datos sobre el tipo de suelo y el uso del suelo, la precipitación es el otro input importante que determina el rendimiento del modelo hidrológico. ERM utilizó datos de precipitación derivados de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para eventos de tormenta de 20 y 50 años. Las curvas IDF fueron construidas por INTEMAS basadas en datos de precipitación históricos de cinco estaciones hidrométricas, cuatro de las cuales se encuentran dentro de la cuenca del Río Cangrejal, y una se encuentra en el Aeropuerto Internacional Golosón en La Ceiba. La Figura 5-2 a continuación, muestra la ubicación de estas estaciones en las cercanías de La Ceiba.

⁷⁰ INTEMAS. Manual de Referencias Hidrológicas para el Diseño de Obras de Drenaje menor. INTEMAS y el Fondo Hondureño de Inversión Social. Dirección del Medio Ambiente

Figura 5-2: Ubicación de las Estaciones Hidrométricas –en inglés–



Fuente: INTEMAS, 2013.

Teniendo en cuenta los datos históricos limitados, las curvas IDF que se encuentran en el estudio de INTEMAS, no proporcionaron estimaciones de precipitación para una tormenta con una probabilidad de ocurrencia de 1: 100. ERM predijo estos valores de precipitación para cada una de las cinco estaciones basado en los datos históricos disponibles (1965-2009) para la estación de La Ceiba (Golosón) y las correlaciones matemáticas con las otras estaciones.

La Tabla 5-2 presenta el volumen (en milímetros) asociado con eventos de precipitación de 24-horas, para un periodo de 20- 50- y 100 años, también conocidos como periodos de retorno (Tr).

Tabla 5-2 Estimados de precipitación para tres períodos de retorno

Sub-Cuenca	Estación Hidrométrica	Precipitación (mm) en 24 horas		
		Tr=20	Tr=50	Tr= 100
UC-1	Plan Grande	272.9	324.4	355.5
UC-2	Río Viejo	295.3	349.9	383.5
UC-3	Yaruca	409.1	488.7	535.6
UC-4	La Lucha	283.7	327.3	358.7
MC-1	Golosón	528.9	620.5	680.0
LC-1	Golosón	528.9	620.5	680.0

Fuente: Adaptado de las curvas de intensidad-duración-frecuencia preparadas por INTEMAS

Modelo Hidráulico

Mientras que el modelo hidrológico (HEC-HMS) predice los caudales máximos en puntos específicos de la cuenca, el modelo hidráulico (HEC-RAS) simula el transporte de estos flujos de agua a lo largo del cauce del río y sus riberas. El modelo hidráulico permite identificar las áreas a lo largo del río que corren el riesgo de inundaciones mediante la comparación de los caudales máximos en puntos predeterminados (área de sección transversal) en comparación con las dimensiones del canal del río y la topografía adyacente.

Se construyó un modelo detallado HEC-RAS por el curso del río a través de La Ceiba urbana. ERM utilizó datos de sección transversal recopilados por la Encuesta Geológica de Estados Unidos (USGS) para un estudio de mapeo de inundaciones del 2002⁷¹. Los datos se basaron en un modelo de elevación digital de escalado a una resolución de celda de 1,5 metros.

Escenarios Modelados

ERM simuló eventos de 20, 50 y 100 años de tormenta bajo diferentes usos del suelo y escenarios de cambio climático. La comparación de los resultados de los modelos para los distintos escenarios proporciona información sobre la contribución relativa del uso de la tierra y el cambio climático, como factores de riesgo que impulsan las inundaciones. Una comprensión de estos factores puede informar sobre el desarrollo de las intervenciones dirigidas a reducir los riesgos existentes y proyectados de las inundaciones.

La Tabla 5-3 explica los escenarios considerados en el análisis hidrológico e hidráulico, e indica la nomenclatura utilizada en referencia a estos escenarios a lo largo del resto de este informe.

⁷¹ Kresch, D.L., Mastin, M.C., and Olsen, T.D. 2001. Fifty-year Flood-Inundation Maps for La Ceiba, Honduras. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-254. U.S. Department of the Interior-U.S. Geological Survey.

Tabla 5-3 Escenarios considerados en el análisis hidrológico e hidráulico

Escenario	Abreviación en Español	Explicación
Condiciones Actuales	<i>Condiciones Actuales (CA)</i>	Este escenario de línea base refleja una instantánea de las condiciones existentes, basado en observaciones en los patrones de uso del suelo actuales y condiciones hidrológicas actuales, construidos sobre la base de información meteorológica histórica.
Uso del Suelo Existente con Cambio Climático	<i>Uso de Suelo Existente con Cambio Climático (CC)</i>	Representa un escenario estático del uso del suelo, mientras que las condiciones hidrológicas siguen bajo la influencia del cambio climático en todo el horizonte del 2050. Este escenario permite el análisis de la contribución relativa del cambio climático solo en la magnitud de los eventos relacionados con las aguas pluviales.
Futuro Uso del Suelo sin Cambio Climático	<i>Futuro Uso del Suelo sin Cambio Climático (FUS)</i>	Este escenario asume que las condiciones climáticas actuales seguirán iguales en el futuro, pero el uso del suelo seguirá evolucionando como resultado de los conductores demográficos y económicos. Este escenario hace hincapié en la contribución de los cambios de uso del suelo, específicamente aquellos que se traducen en la pérdida de cubierta permeable, durante el aumento de la escorrentía de las aguas pluviales.
Escenario Futuro con Cambio Climático y Cambio en el Uso del Suelo	<i>Futuro Uso del Suelo con Cambio Climático (CC + FUS)</i>	Este escenario refleja los efectos combinados del cambio en el uso del suelo y el cambio climático sobre la magnitud y el riesgo relacionados con los eventos de aguas pluviales.

Interpretación de los Resultados de los Modelos

El último paso en el análisis de los riesgos asociados con las inundaciones del río Cangrejal fue superponer la elevación de la superficie del agua (es decir, la salida de HEC-RAS) de la topografía existente para crear mapas de inundación. En este último paso se utilizó el software HEC-GeoRAS, un modelo digital de elevación (DEM) para La Ceiba, y software de cartografía para generar mapas geo-referenciados (ArcGIS).

La superposición de los resultados del modelo en los mapas que muestran las comunidades y la infraestructura, es una manera convincente para caracterizar rápidamente la magnitud de las inundaciones e identificar los puntos críticos de la vulnerabilidad humana y los bienes económicos en riesgo. También permite al usuario visualizar la ubicación y la extensión de la inundación adicional que puede ocurrir como resultado de las condiciones futuras (2050) por el efecto incremental de los cambios en las tendencias del clima y el uso de la tierra.

Inundaciones Costeras

Las inundaciones producidas por las marejadas ciclónicas y el ascenso del nivel del mar proyectado para La Ceiba, se evaluaron utilizando los datos topográficos disponibles (dos modelos de elevación digital) y el sistema de información geográfica (SIG). Este enfoque es una manera simple pero conservadora para evaluar las inundaciones en las zonas costeras.

Análisis y Escenarios Modelados

ERM representó cada DEM en SIG y asignó diferentes rangos de elevación (en incrementos de 1 metro). Los rangos de elevaciones asignados muestran qué áreas de La Ceiba podrían presentar riesgos potenciales de inundación por marejadas ciclónicas y ascenso del nivel del mar. Dos escenarios, que incluían los niveles del mar existentes, representados por una elevación de 3 metros en los DEM, y niveles del mar proyectados, representando una elevación de 3,6 metros en los DEM, se utilizaron para evaluar las inundaciones costeras para la ciudad de La Ceiba y su llanura de inundación costera (Refiérase a la Tabla 5-4).

El primer DEM con un tamaño de celda de 1,5 metros, obtenido del USGS, se utilizó para evaluar las inundaciones costeras para el área urbana de La Ceiba. El segundo DEM con tamaño de celda de 30 metros, descargado de la NASA, se utilizó para evaluar el riesgo de inundaciones a lo largo de la costa.

Tabla 5-4 Escenarios Considerados para el Análisis de Inundaciones Costeras

Escenario	Explicación
Condiciones Existentes (EC)	Este escenario base refleja una instantánea de las condiciones existentes basado en marejadas ciclónicas de 3,0 m en el Mar Caribe.
Condiciones Futuras (FC)	Representa marejadas ciclónicas a futuro de 3.6 m. El 3,6 m considera las condiciones existentes, más el aumento del nivel del mar proyectado (0,6 m).

Interpretación de los Resultados del Modelo

El último paso en el análisis de riesgos asociados con las inundaciones costeras fue evaluar las posibles áreas de La Ceiba que se podrían ver afectadas por las marejadas ciclónicas actuales y futuras. Este último paso incluyó la producción de mapas de elevación de La Ceiba utilizando ArcGIS.

Intrusión Salina

ERM utilizó un modelo de dos dimensiones, uno hidrodinámico y un modelo de calidad del agua (CE-QUAL-W2) para evaluar la intrusión salina a lo largo del río Cangrejal. El modelo fue seleccionado sobre la base de un juicio profesional, teniendo en cuenta la disponibilidad de datos input, la morfología de la masa de agua estudiada, y el nivel de análisis requerido. Además, el modelo hidrodinámico y de calidad del agua (CE-QUAL-W2) se encuentra disponible a nivel público y tiene una historia de aceptación y aplicación en el análisis de la intrusión salina en los cuerpos de agua.

Modelo Hidrodinámico y de Calidad del Agua

ERM construyó un modelo CE-QUAL-W2 para el río Cangrejal basado en la información topográfica, la climatológica, el caudal, la salinidad y la temperatura del agua disponible. La información climatológica, incluía la temperatura del aire, temperaturas del punto de rocío, velocidad y dirección del viento, y la cubierta de nubes, la cual se obtuvo de la página web de NOAA, que compila los datos obtenidos de la estación meteorológica Golosón en el Aeropuerto Internacional ⁷² en La Ceiba.

⁷² NOAA, 2014. Aeropuerto de La Ceiba (15.733° lat; and -86.867° Lon).

El modelo también requirió que se establecieran las condiciones de contorno en lugares aguas arriba y aguas abajo relacionadas con el área de estudio. En este caso, la condición de frontera aguas arriba es la estación de aforo de Las Mangas, que se encuentra aproximadamente a 3,5 km de la desembocadura del río Cangrejal. De acuerdo con los registros del 2004 al 2009 que se muestran en la Tabla 5-5, ERM utilizó el valor del caudal más bajo disponible (4,88 m³/s) en Las Mangas como la condición de aguas arriba.

Tabla 5-5 Datos históricos del caudal de la estación de aforo Las Margaritas

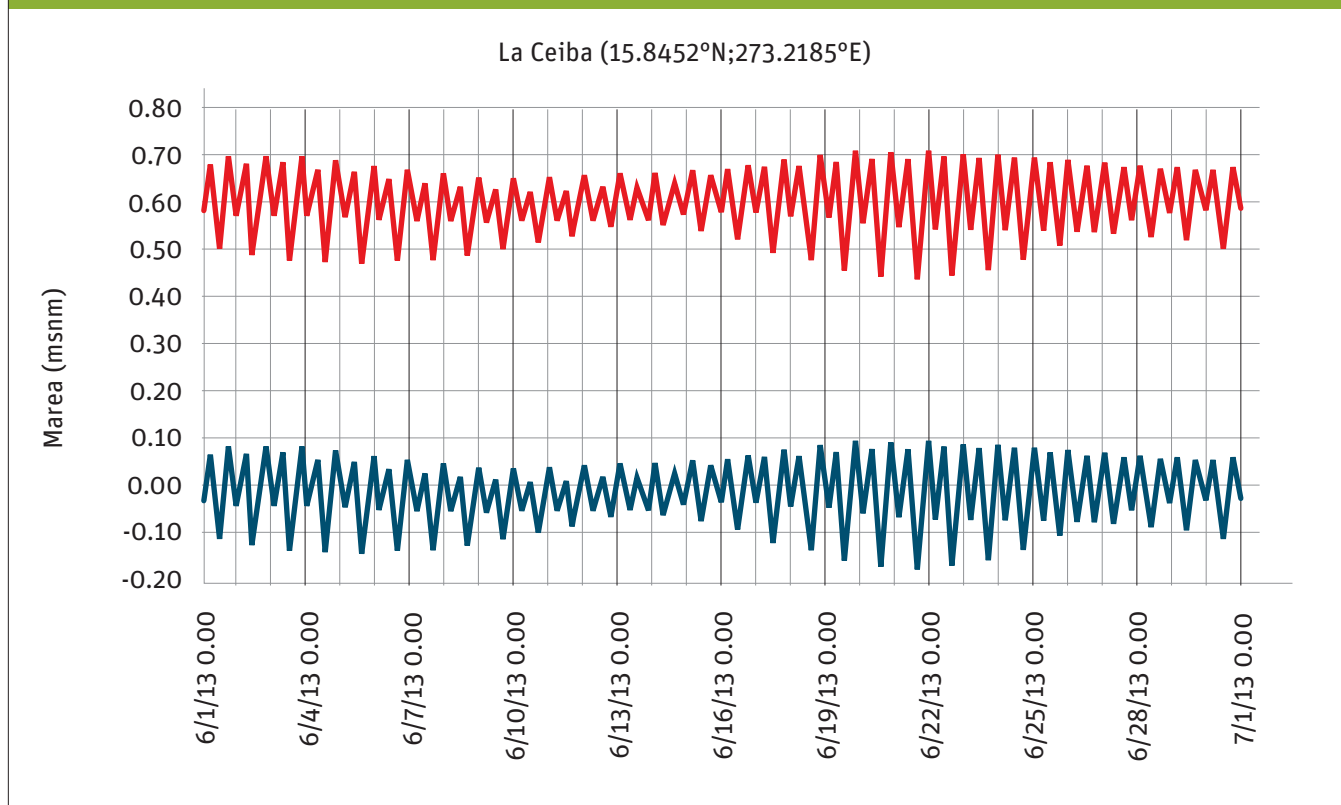
Fecha	Caudal (Q) (m ³ /s)	Fecha	Caudal (Q) (m ³ /s)
10-Sep-04	14.86	05-Ago-09	13.59
24-Nov-04	11.12	23-Abr-10	7.91
3-Mar-05	8.55	23-May-10	13.90
27-Jun-05	13.25	09-Abr-11	5.29
7-Nov-06	8.19	19-Jun-11	6.10
5-Ago-07	6.70	27-Ago-11	6.83
12-Dic-07	14.44	15-Feb-12	22.26
21-Jun-08	4.88	20-May-12	21.58
19-Feb-09	16.03	27-Ago-12	8.59
20-May-09	10.56	21-Feb-13	13.72

Fuente: Empresa Nacional de Energía (ENEE)

El límite de aguas abajo se determinó mediante los valores de marea en un lugar en el mar Caribe cerca de la costa de La Ceiba⁷³. Como se ilustra en la Figura 5-3, se utilizaron los datos de mareas continuas de la TPX08-Atlas para el año 2013 y así construir un modelo de ciclo de las mareas.

⁷³ http://volkov.oce.orst.edu/tides/tpxo8_atlas.html

Figura 5-3: Modelo del Ciclo de Marea para La Ceiba

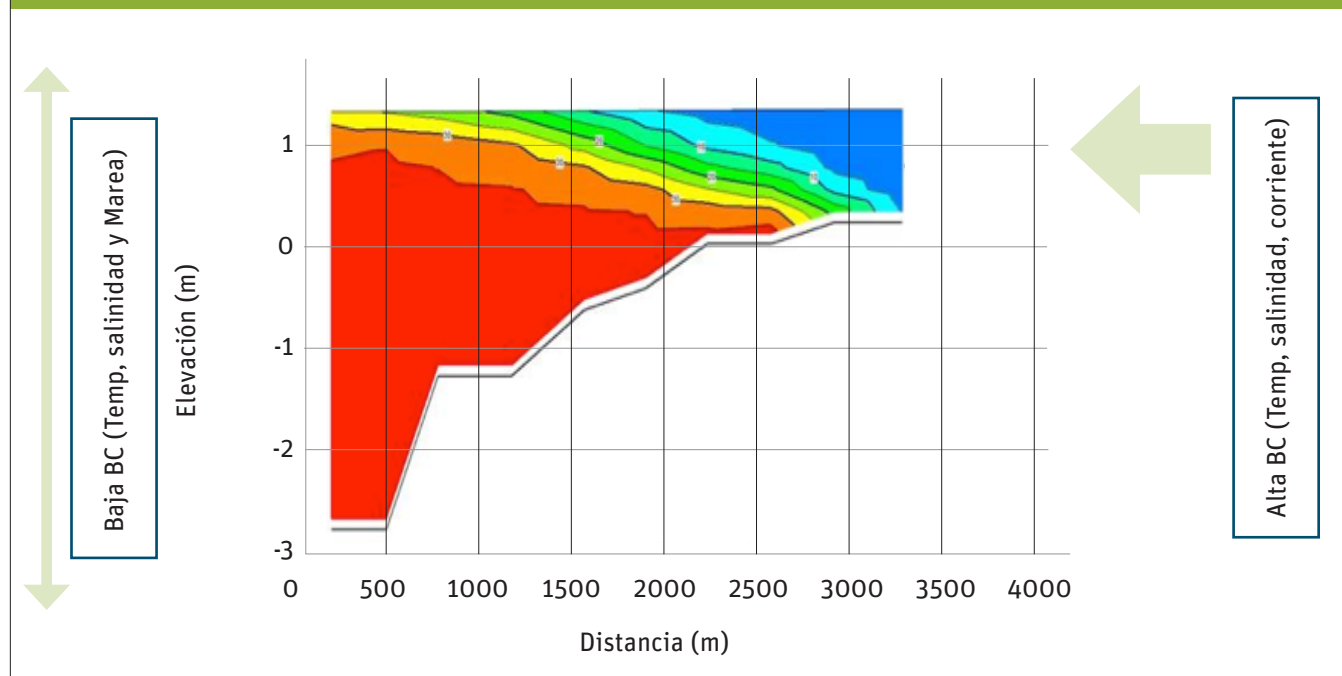


Fuente: TPXo8-Atlas

Otros parámetros de límites, tales como el agua dulce y las temperaturas del océano y la salinidad se obtuvieron de la literatura⁷⁴. La salinidad de agua dulce en el límite aguas arriba del estuario Cangrejal se asumió que era cero. La Figura 5-4 muestra la ubicación de las condiciones de contorno (BC) asumidas en el modelo hidrodinámico y de la calidad del agua. .

⁷⁴ <http://www.nodc.noaa.gov/cgi-bin/OC5/SELECT/woaselect.pl?parameter=2>

Figura 5-4: Condiciones Fronterizas para el Modelo Hidrodinámico 2-D del Río Cangrejal



Fuente: ERM, 2014

Escenarios Modelados

ERM simuló dos escenarios que reflejan las diferentes condiciones del nivel del mar. Los resultados para ambos escenarios fueron comparados para analizar la contribución relativa del cambio climático, en particular, el ascenso del nivel del mar, como un factor de riesgo en la conducción de la intrusión salina a lo largo del río Cangrejal. La Tabla 5-6 explica los escenarios considerados en el análisis hidrodinámico.

Tabla 5-6 Escenarios considerados en el análisis hidrodinámico

Escenario	Explicación
Condiciones Existentes (EC)	Este escenario base refleja una instantánea de las condiciones existentes basadas en las fluctuaciones de la mare actuales en el Mar Caribe; y el flujo de agua dulce más bajo registrado en Las Mangas, que es de 4,88 m ³ /s.
Condiciones Futuras (FC)	Representa un supuesto conservador del aumento del nivel del mar para 2050 (+0,6 m); y el flujo de agua dulce más bajo en Las Mangas de 4,88 m ³ s.a

Interpretación de los Resultados de los Modelos

El último paso en el análisis de los riesgos asociados con la intrusión salina a lo largo del río Cangrejal, fue estimar la ubicación de la cuña salina, especialmente en condiciones de marea alta, bajo escenarios del nivel del mar existentes y futuros. Se creó una rejilla de salida usando un DEM de 1,5 metros obtenida del USGS y el software GEMSS (Sistema Generalizado de Modelado Ambiental para Aguas Superficiales). El GEMSS es un software patentado desarrollado por ERM para modelar la variante hidrodinámica en tiempo-espacio para los análisis de estados no estacionarios.

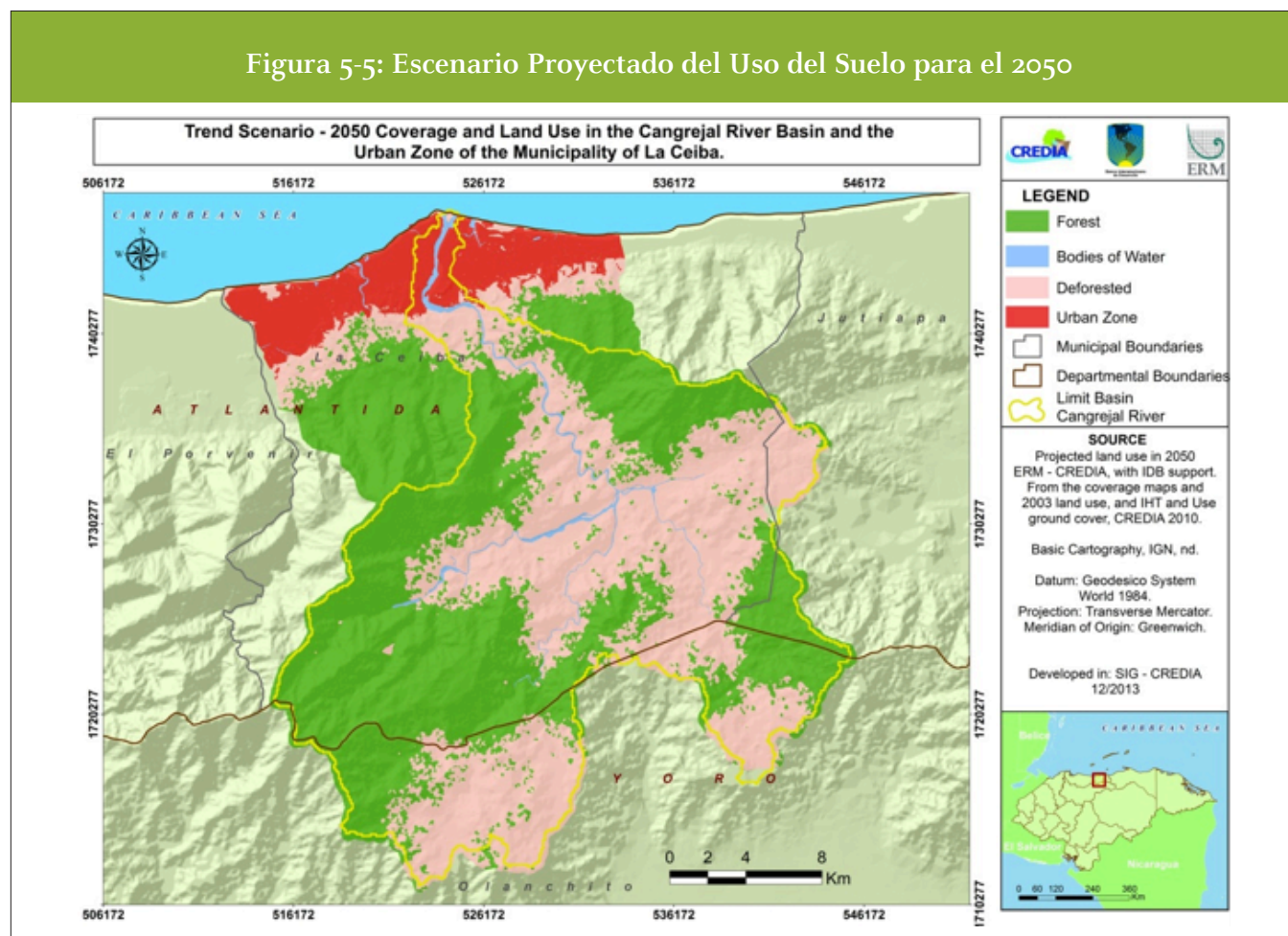
Es importante señalar que el modelo hidrodinámico-agua de superficie no se puede utilizar para evaluar directamente la intrusión salina en el agua subterránea. Como resultado, ERM recomienda un enfoque diferente en los estudios futuros que involucren el control de pozos de agua y de muestreo de la calidad del agua. Estos datos pueden proporcionar el input necesario para la construcción de modelos de agua subterránea en 2-D o 3-D.

5.2 Usos del suelo y proyecciones del cambio climático

Los escenarios a futuro considerados en este estudio, se construyeron sobre la base de las proyecciones de usos del suelo y el clima para la planificación del horizonte 2050.

5.2.1 Usos Del Suelo

Las proyecciones de uso del suelo para el 2050 se generaron basadas en las tendencias históricas de usos del suelo, obtenidas mediante el uso de software estadístico, y calibradas según los comentarios de los expertos locales en un taller de medio día que se celebró en La Ceiba, en diciembre del 2013. El **Anexo B** documenta la metodología utilizada en la construcción del escenario de los usos del suelo proyectado. La Figura 5-5 muestra el mapa resultante del uso de la tierra para el 2050 a posteriori del input de las partes interesadas.



Fuente: CREDIA, 2013

La Tabla 5-7 compara el uso del suelo bajo las condiciones existentes y el escenario proyectado del uso del suelo.

Tabla 5-7 Uso del suelo existente y proyectado para la cuenta del Río Cangrejal

Escenario	Bosque	Cuerpos de Agua	Deforestado	Área Urbana
Condiciones Existentes (2010)	57.9%	1.4%	39.5%	1.2%
Escenario Futuro (2050)	50.4%	1.4%	46.5%	1.7%

Fuente: CREDIA, 2013

5.2.2 Proyecciones Climáticas

Cada vez hay más disponibilidad de proyecciones climáticas regionales confiables, así como, proyecciones a escala reducida, que permiten predecir las variables climáticas fundamentales (por ejemplo, temperatura, precipitación, intensidad de las tormentas) a escala sub-regional.

En el 2010, el Ministerio Hondureño de Energía, Recursos Naturales y Ambiente⁷⁵ (SERNA) publicó la Estrategia Nacional de Cambio Climático del país. Este documento contiene proyecciones climáticas para el horizonte de planificación del 2050 bajo dos escenarios de gases de efecto invernadero (GEI). Un estudio⁷⁶ realizado por Argeñal (2010) documenta el uso del modelo climático V5.3 MAGICC / SCENGEN para generar estas proyecciones.

Las proyecciones respaldadas por el gobierno cumplen parcialmente las necesidades de información para el análisis técnico, que también requiere de proyecciones para el cambio en la intensidad de las precipitaciones y el cambio en la elevación del nivel del mar. Estas variables adicionales son insumos esenciales para el modelo hidrológico realizado para el estudio de la cuenca del Río Cangrejal. ERM también llevó a cabo investigaciones adicionales para identificar las previsiones específicas para la región de La Ceiba, y para recopilar datos pertinentes a las condiciones asociadas a los fenómenos meteorológicos relacionados con las tormentas en el futuro, como los huracanes.

Como resultado de la revisión de la literatura, el estudio realizado por Smith et al. (2011) surgió como una fuente de información clave en las proyecciones correspondientes a la ascenso del nivel del mar y las variables relacionadas con la tormenta (por ejemplo, la intensidad de la precipitación). Smith et al. también se basó en el modelo MAGICC / SCENGEN para generar las proyecciones del cambio de la temperatura media mundial, a escala reducida para producir cambios estimados en la temperatura y la precipitación mensual a nivel regional.

La Tabla 5-8 a continuación, resume el valor y la fuente seleccionada para las dos variables climáticas utilizadas en el estudio.

Tabla 5-8 Variables seleccionadas para el cambio climático

Parámetro	Proyección	Fuente
Intensidad de Precipitación	13% Aumento	Smith et al. concluye un aumento en la intensidad de la precipitación para eventos de corta duración como los huracanes
Nivel del mar	0.60 m Aumento	Valor conservador estimado por Cardini & Richards (2005), citado en Smith et al., 2011.

⁷⁵ Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas (SERNA)

⁷⁶ Argeñal, F. (2010) Variabilidad Climática y Cambio Climático en Honduras. SERNA. PNUD

5.3 Resultados técnicos

Esta Sección muestra los resultados del análisis realizado por ERM para evaluar las zonas de riesgo debido a las inundaciones fluviales y costeras, así como los resultados del modelo de predicción de la extensión de la intrusión salina a lo largo del río Cangrejal.

5.3.1 Inundación del Río Cangrejal

Como se analizó en la Sección 5.1.1, el modelo hidrológico se estableció para estimar el flujo de aguas pluviales pico en varios puntos predeterminados dentro de la cuenca del Río Cangrejal. ERM calculó los valores de flujo de aguas pluviales máximas para cuatro escenarios diferentes y tres diferentes períodos de retorno (20, 50, y 100 años). Las estimaciones de flujo máximo representan el volumen máximo de agua que pasa por un punto dado como resultado de un evento de precipitación. La Tabla 5-9 presenta los caudales máximos, en metros cúbicos por segundo (m³/s), que se estimaron en el punto más relevante para analizar el riesgo de inundaciones en las zonas urbanas de La Ceiba.

Tabla 5-9 Estimaciones del flujo máximo para el Río Cangrejal

Ubicación	Período de Retorno	Flujos Pico Modelados para Cada Escenario (m ³ /s)			
		CA	CC	FUS	CC + FUS
Aguas Abajo La Ceiba	20	1814	2178	1888	2263
	50	2327	2772	2413	2869
	100	2654	3149	2749	3256

Fuente: Output del Modelo HEC-HMS, 2013.

Nota: Las abreviaciones corresponden a los siguientes escenarios:

CA: Condiciones Existentes

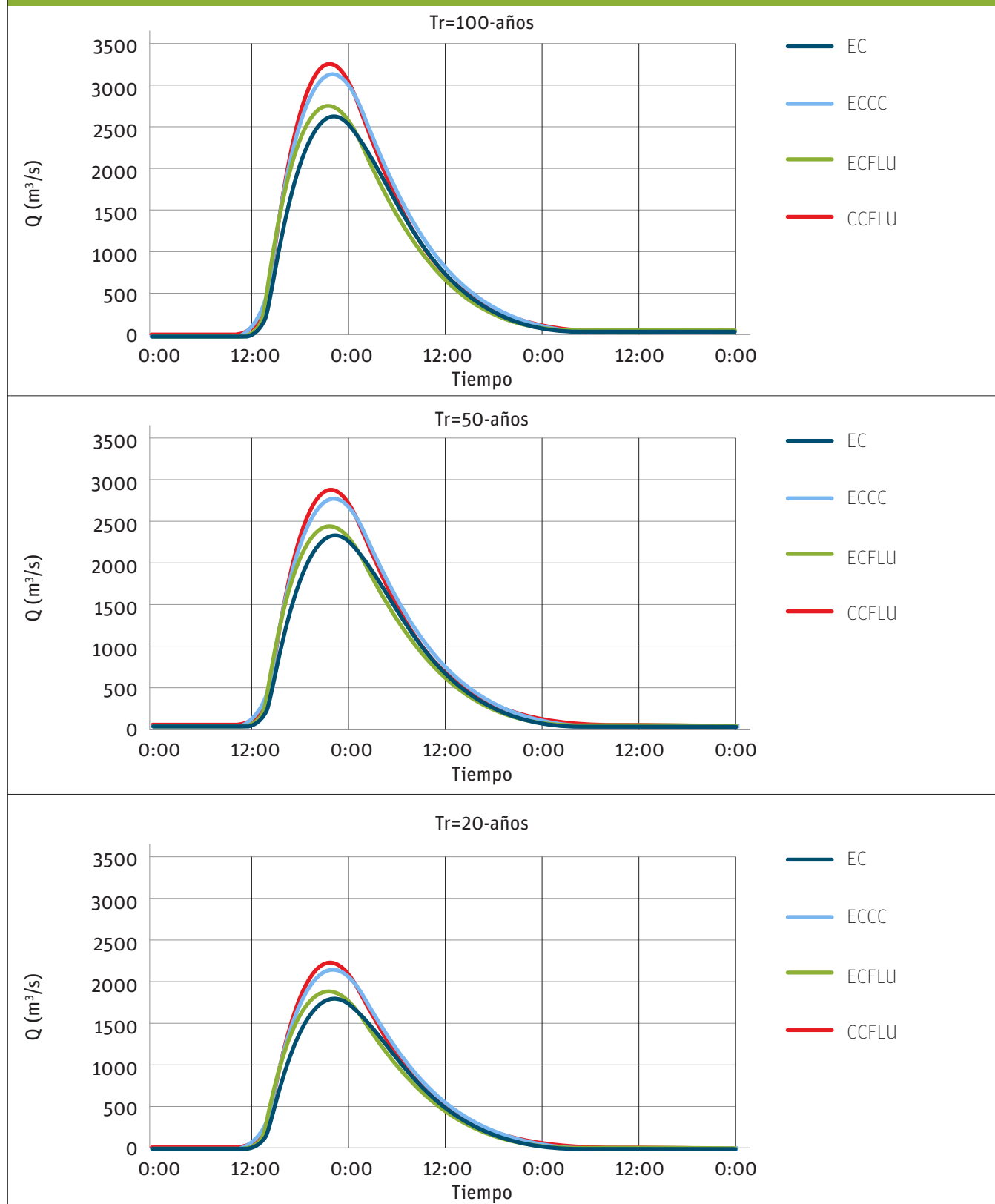
CC: Escenario Único del Cambio Climático

FUS: Escenario Único del Cambio del Uso del Suelo

CC + FUS: Escenario del Cambio Climático y uso Futuro del Suelo

La Figura 5-6 muestra los caudales máximos generados por el Modelo Hidrológico HEC-HMS para los cuatro escenarios diferentes.

Figura 5-6: Hidrogramas Generados en un punto Aguas Abajo para tres Períodos de Retorno Diferentes



Fuente: ERM, 2014.

Nota: El flujo de agua esta expresado en metros cúbicos por segundo (m³/s).

Las abreviaciones corresponden a los siguientes escenarios:

CA: Condiciones Existentes / CC: Escenario Único del Cambio Climático / FUS: Escenario Único del Cambio del Uso del Suelo
 CC + FUS: Escenario del Cambio Climático y uso Futuro del Suelo

Una vez que se estimaron los valores de flujo máximo con el modelo hidrológico, se utilizó el modelo hidráulico (HEC-RAS) para predecir la elevación del flujo de agua a lo largo del canal del río. Esta simulación hidráulica permitió crear mapas de inundaciones para los cuatro escenarios diferentes y tres períodos de retorno. Las Tablas 5-10 y 5-11 presentan las profundidades máximas de agua y las zonas estimadas de inundación, respectivamente.

Tabla 5-10 Estimaciones de la profundidad de agua según HEC-RAS

Escenario	Tr=20		Tr=50		Tr=100	
	Profundidad Máx. (m)	%D Profundidad	Profundidad Máx. (m)	%D Profundidad	Profundidad Máx. (m)	%D Profundidad
CA	5.03	0%	5.7	0%	5.92	0%
CC	5.44	8%	6.03	6%	6.37	8%
FUS	5.13	2%	5.82	2%	6.01	1%
CC+FUS	5.54	10%	6.13	8%	6.46	9%

Fuente: ERM, 2014

Tabla 5-11 Zonas de inundaciones según HEC-GeoRAS

Escenario	Tr=20		Tr=50		Tr=100	
	Área de Inundación (km ²)	%D Área	Área de Inundación (km ²)	%D Área	Área de Inundación (km ²)	%D Área
EC	2.57	0%	2.80	0%	2.95	0%
EC+CC	2.77	8%	3.02	8%	3.16	7%
EC+FLU	2.59	1%	2.83	1%	2.99	1%
CC+FLU	2.74	7%	3.06	9%	3.19	8%

Fuente: ERM, 2014

Las abreviaciones corresponden a los siguientes escenarios:

CA: Condiciones Existentes

CC: Escenario Único del Cambio Climático

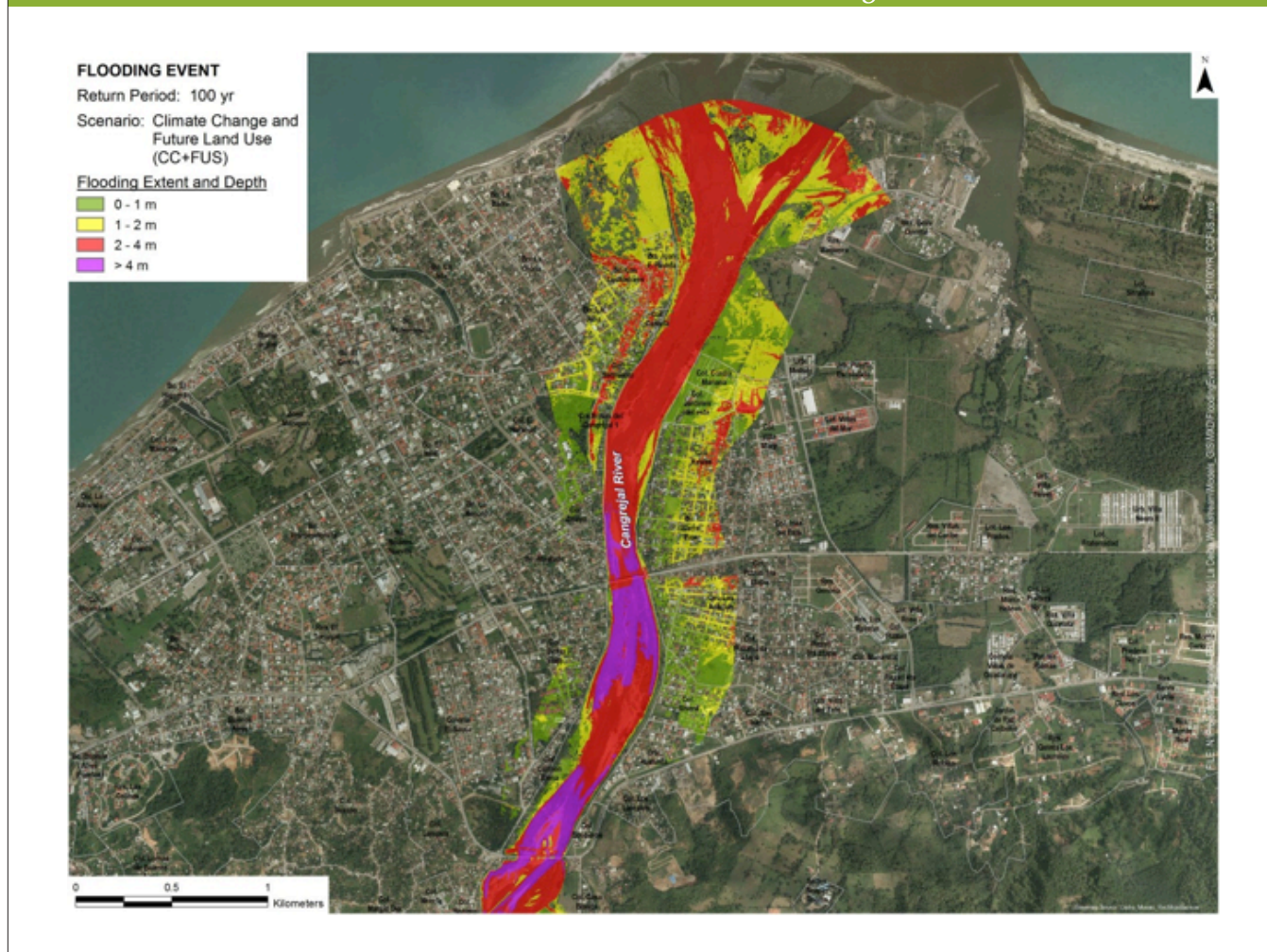
FUS: Escenario Único del Cambio del Uso del Suelo

CC + FUS: Escenario del Cambio Climático y uso Futuro del Suelo

Los resultados muestran que los posibles cambios climáticos, que llevan a episodios de lluvia de mayor volumen e intensidad, tuvieron el mayor efecto en los flujos máximos y el área bajo riesgo de inundación. Por el contrario, los cambios de uso del suelo pronosticados para el 2050 no parecen causar un aumento significativo de los caudales máximos previstos, en consonancia con la opinión de que la degradación de la cuenca de Cangrejal se verá limitada por los esfuerzos de conservación en curso.

La Figura 5-7 muestra el mapa de las inundaciones correspondiente a las condiciones pronosticadas durante un escenario extremo proyectado para La Ceiba como resultado de inundaciones fluviales.

Figura 5-7: Mapa de inundaciones mostrando las áreas bajo riesgo para un evento de tormenta a 100 años. –en inglés–



Fuente: ERM, 2014

Teniendo en cuenta la clasificación de peligros establecida por COPECO⁷⁷ como base para el análisis, los resultados de la modelación de las inundaciones fluviales predice una serie de áreas en las zonas urbanas de La Ceiba que se podrían clasificar como de alto riesgo. La clasificación utilizada por COPECO es como sigue:

- **Baja:** profundidad del agua entre 0 y 1 m;
- **Media:** profundidad del agua entre 1 y 2 m; y
- **Alta:** profundidad del agua superior a 2 m.

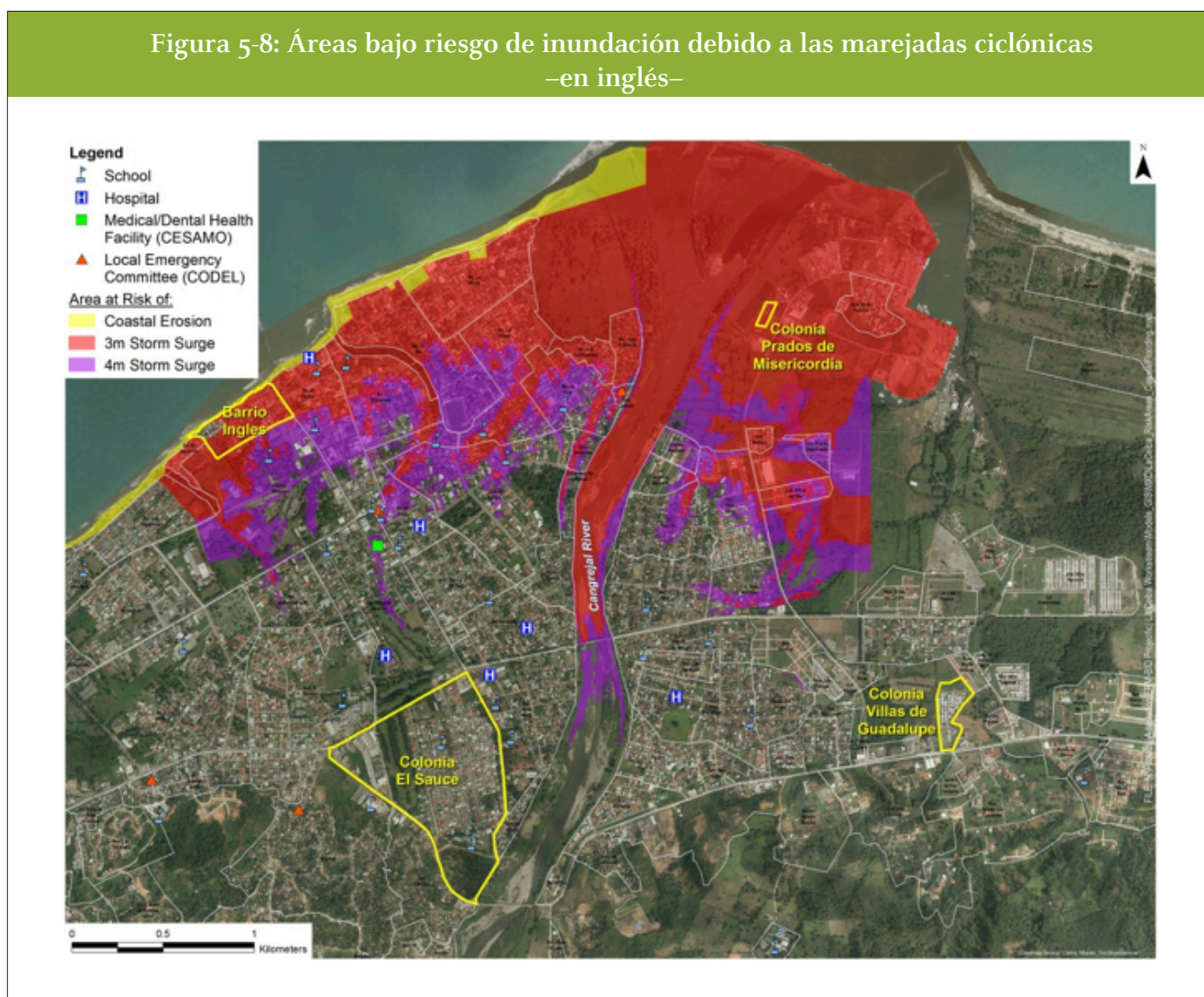
⁷⁷ COPECO, 2010. *Plan Municipal de Gestión de Riesgos*, Comisión Permanente de Contingencias (COPECO). Proyecto de Mitigación y Desastres Naturales (PMDN). Municipalidad de La Ceiba. Departamento de Atlántida. Sep. 2010. Ibérica de Estudios e Ingeniería, S.A.

5.3.2 Inundaciones Costeras

ERM evaluó el potencial de inundaciones a lo largo de la costa mediante la comparación de la profundidad asociada a un evento de 3 metros de marejada ciclónica, y el mapa digital de elevación detallado (DEM) disponible para una Sección parcial de la línea costera de La Ceiba. Los mapas se hicieron sobre un DEM con 1,5 m de resolución utilizando software de visualización (ArcGIS).

Se seleccionó un evento de marejada ciclónica de 3 metros dada la relativa frecuencia de ocurrencia basada en registros históricos. Para ilustrar el efecto adicional asociado con el aumento potencial del nivel del mar, que se supuso sería aquí de 60 cm, también se representó un evento de marejada ciclónica de 4 metros en un mapa de elevación costera.

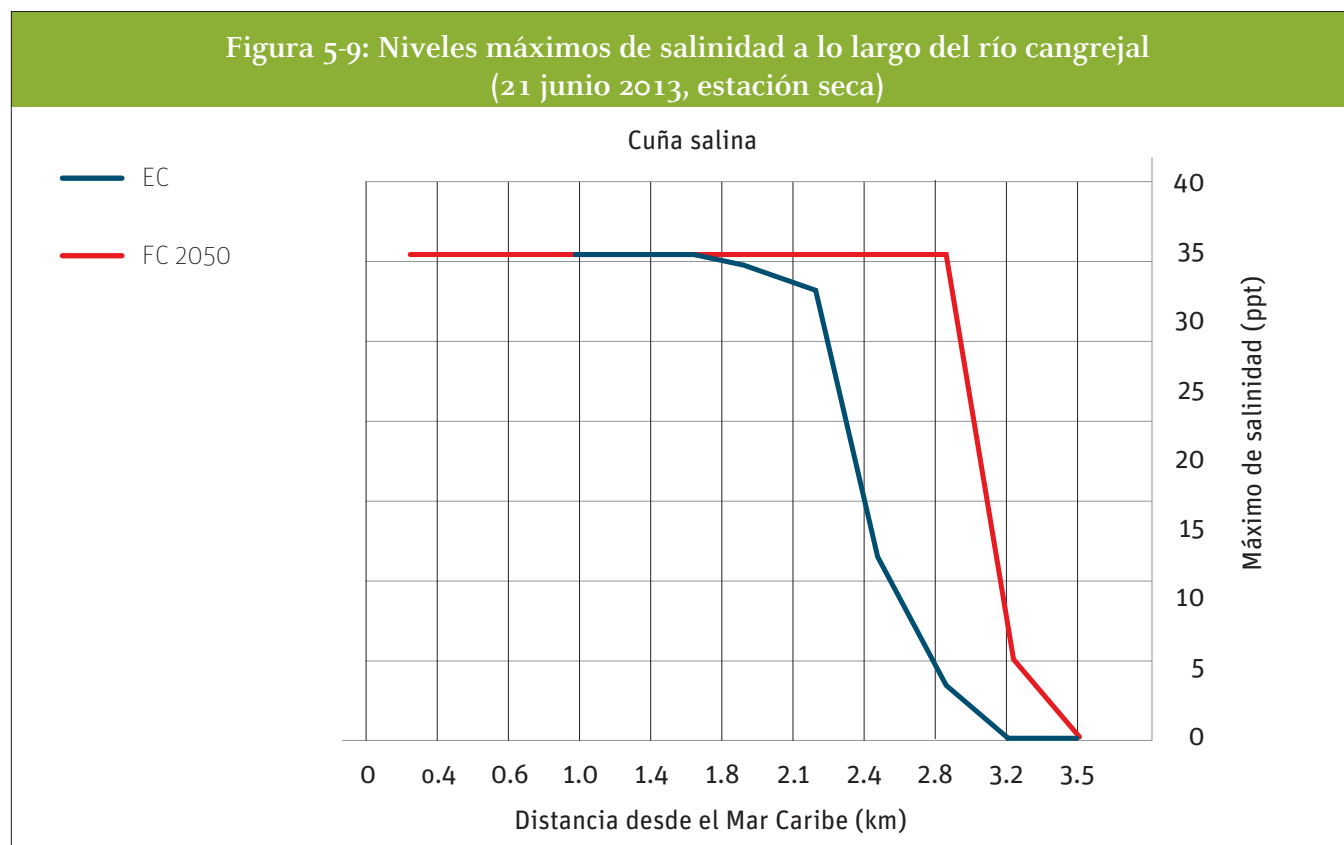
La Figura 5-8 muestra las áreas bajo riesgo de inundaciones, en relación con los dos eventos de marejadas ciclónicas descritas anteriormente.



Fuente: ERM, 2014

5.3.3 Intrusión Salina

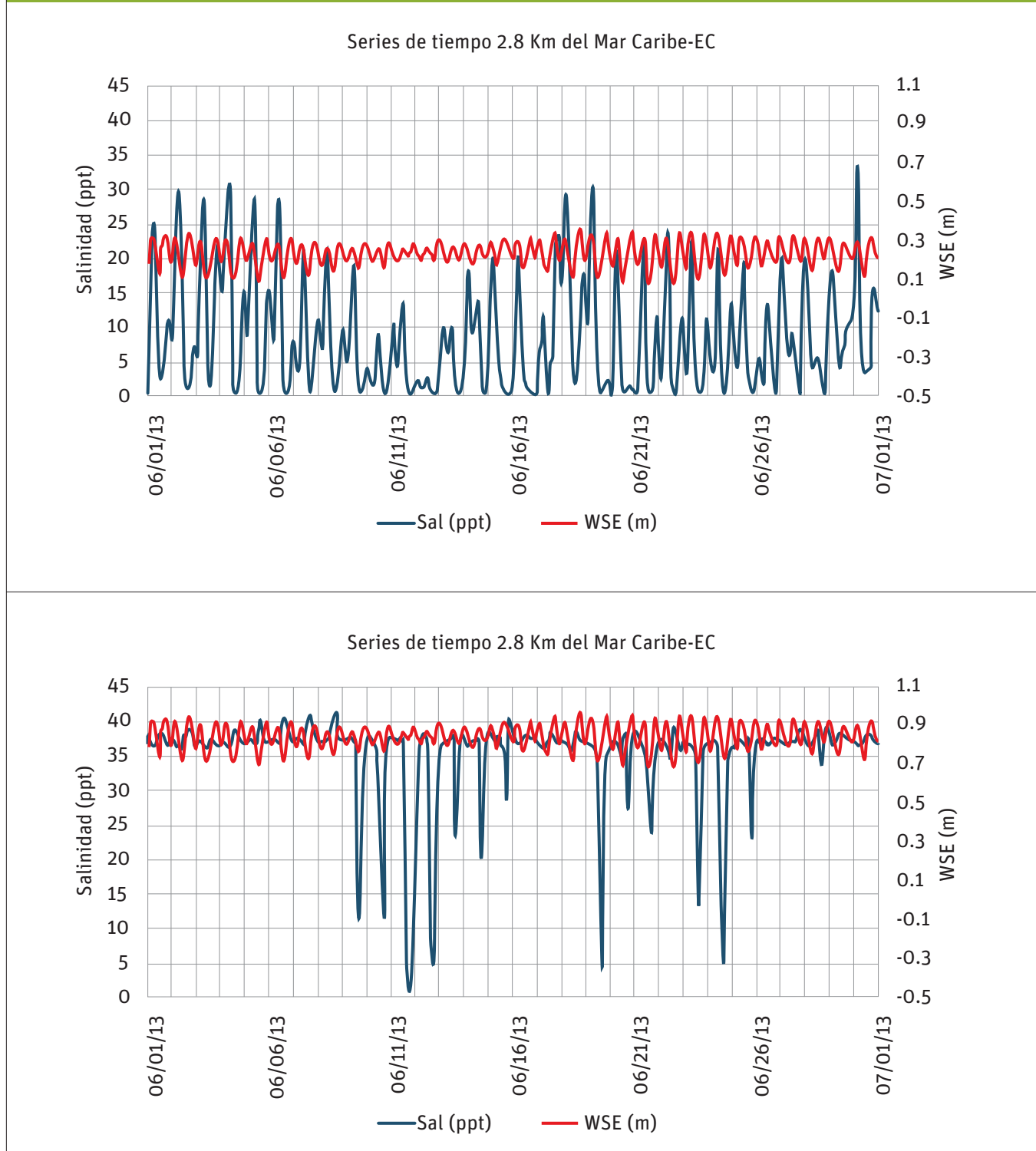
Los resultados del modelo hidrodinámico (CE-QUAL-W2) indicaron que la cuña salina puede extenderse hasta 2,8 km aguas arriba desde la desembocadura del río Cangrejal, como se ilustra en la Figura 5-9. Esta Figura también muestra que la cuña salina puede alcanzar hasta 3.2 km tierra adentro cuando se toma en cuenta un aumento de 60 cm en el nivel medio del mar y las condiciones de flujo de corriente bajas (4,88 m³/s).



La Figura 5-10 muestra la elevación de la salinidad y de las aguas superficiales (WSE) en series de tiempo para el segmento N^o 4 (ubicado aproximadamente a 0,37 kilómetros aguas abajo del Muelle de Cabotaje Highway Bridge) del 01 de junio 2013 al 1 de julio de 2013. Este período representa las condiciones secas en La Ceiba. Como era de esperar, la serie de tiempo de la salinidad WSE también muestra que los niveles altos de salinidad están relacionados con la marea alta.

La Figura 5-10 también muestra que los niveles de salinidad se vuelven considerablemente más altos bajo condiciones futuras del nivel del mar en la misma ubicación y época del año (temporada seca). Los niveles máximos de salinidad mostrados representan la salinidad máxima en cada uno de los diez segmentos analizados por la rejilla CE-QUAL-W2. Estos valores máximos se observaron en la parte inferior de cada segmento que se muestra en la Figura 5-11.

Figura 5-10: Series cronológicas se Salinidad-WSE para las condiciones existentes y futuras



La Figura 5-11 muestra la extensión de la cuña salina según lo pronosticado por el modelo hidrodinámico, incluyendo la ubicación de un subconjunto de los pozos existentes y previstos obtenidos de SANAA⁷⁸. En condiciones futuras, la cuña salina se extiende aproximadamente 0,4 km más hacia el interior. Se espera que el movimiento de la línea de sal en el acuífero de aguas subterráneas sea de magnitud similar.

Figura 5-11: Medida prevista de la cuña salina con respecto a las ubicaciones conocidas de los pozos de agua



⁷⁸ SANAA-DIAT, 2012. *Análisis de posibilidad de aguas subterráneas en el municipio de La Ceiba*. Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) y La División de Investigación y Análisis Técnico (DIAT). Marzo 2012.

Efectos Potenciales sobre las Aguas Subterráneas (Análisis Cualitativo)

Como se describe en la Sección 3.2, La Ceiba se enfrenta a problemas de intrusión salina en pozos de aguas subterráneas utilizadas como recursos de agua potable. En los lugares donde el agua subterránea es bombeada de los acuíferos que están hidráulicamente conectados con el mar, los gradientes inducidos pueden causar la migración de agua salina hacia los pozos en tierra.

En el 2010, un estudio⁷⁹ realizado por el Sr. Carlos Tamayo propuso evaluar la intrusión salina actual y futura en el acuífero costero de La Ceiba, que abastece el agua para usos residenciales y agroindustriales de la región cercana. El estudio se basó en dos evaluaciones del sitio anteriores, una realizada por Tom Culhane en el 2006 y la otra por el Dr. Héctor R. Fuentes en el 2007. Juntos, estos tres estudios combinan los esfuerzos recientes para comprender el alcance y la evolución del problema de la intrusión salina en La Ceiba.

El estudio aplicaba un modelo de análisis para estimar, en condiciones estables de la zona, la interfaz agua dulce-agua salada para varios escenarios. Sin embargo, dada la falta de datos de campo, se hicieron una serie de hipótesis, entre ellas: “la selección de los valores de conductividad hidráulica adecuados para el sitio, el porcentaje de la recarga de la infiltración, la ubicación de división de las aguas subterráneas, las tasas de producción de los pozos, la frecuencia de bombeo, y la aplicabilidad de los datos de Estados Unidos en esta región”.

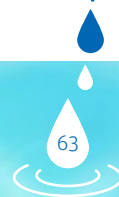
A pesar de las limitaciones de datos, el estudio arroja algunas conclusiones relevantes para los administradores de recursos hídricos y para estudios futuros. En primer lugar, confirma que el “gradiente hidráulico dentro [del área urbana entre los ríos Danto y Cangrejal] es considerable, y que los materiales gruesos contenidos en el suelo proporcionan una idea de su alto nivel de transmisibilidad, que, además, implica que el agua subterránea es propensa a la contaminación en los puntos de poca profundidad”.

Como era de esperar, otra importante conclusión subraya la importancia de la tasa de recarga de aguas subterráneas para prevenir los problemas derivados de la intrusión de agua salina subterránea. Basados en el análisis de varios escenarios de recarga y de ascenso del nivel del mar, con el modelo Ghyben-Herzberg, “el escenario de gran caudal con baja recarga y aumento del nivel del mar es aquel, en el cual, el avance de la haloclina es más evidente.”

El creciente riesgo de contaminación de agua salina debido a la influencia de la baja recarga y extracción de aguas subterráneas tiene implicaciones para el manejo de los recursos hídricos. Ya se ha documentado a través de entrevistas con el SANAA que la ubicación de los pozos de agua potable ahora toma en cuenta la distancia a la costa y la profundidad de perforación para reducir el riesgo de que los pozos se contaminen. Un enfoque a más largo plazo, sin embargo, requeriría que SANAA y la Municipalidad de La Ceiba regularan la extracción de las aguas subterráneas. Los urbanistas quizás también deseen considerar el tipo y distribución de la urbanización, lo que podría disminuir aún más las tasas de recarga de aguas subterráneas.

ERM recomienda que el análisis de intrusión salina realizado aquí, se considere como cualitativo y preliminar. Las conclusiones basadas en los resultados del modelo deben ser evaluadas con cautela debido a que la intrusión salina en el agua subterránea puede presentar una tendencia diferente a la exhibida por la intrusión salina en los cuerpos de agua superficiales. Basados en este análisis, ERM recomienda un estudio de las aguas subterráneas intrusión de agua salada más extenso que incluya trabajo de campo (para confirmar hipótesis formuladas en estudios anteriores) y la aplicación de un modelo de agua subterránea que aprovecha un inventario completo de los usuarios de los recursos hídricos en la ciudad.

⁷⁹ Tamayo, C. 2010. *Modeling Sewater Intrusion in the Coastal Groundwater Aquifer of La Ceiba, Honduras – Central America*. Master's Thesis. Florida International University. Reviewed by Dr. Fang Zhao, Dr. Fernando Miralles-Wilhem, and Dr. Hector R. Fuentes (Chair).



5.4 Evaluación de las opciones propuestas por las partes interesadas

Esta Sección incluye un análisis técnico de las diversas opciones propuestas por las partes interesadas para mitigar los riesgos de inundaciones asociadas con el desbordamiento del río Cangrejal. Estas intervenciones estructurales se basaron en ideas proporcionadas por las principales partes interesadas, en un taller llevado a cabo en febrero del 2014. ERM definió aún más estas ideas en la medida que éstas podrían ser corridas a través de los modelos hidrológicos e hidráulicos para probar su eficacia.

Al igual que en el análisis de la línea base, ERM simuló cuatro escenarios de cambio climático y de uso del suelo para los eventos de precipitación de 1 en 20, 1 en 50 y 1 en 100 años de probabilidad de ocurrencia. El objetivo de este análisis fue establecer qué estructuras podrían proporcionar una mayor protección a La Ceiba contra las inundaciones relacionadas con el río.

5.4.1 Adaptación No. 1: Levantar diques a lo largo del Río Cangrejal

Esta medida estructural incluye la instalación y aumento de los diques a lo largo de la sección urbana más baja del río Cangrejal. La longitud y la altura de estas estructuras se definieron sobre la base de los resultados del modelo hidráulico que muestran los puntos críticos donde se desborda el río Cangrejal. La Figura 5-12 muestra la ubicación de los diques adicionales, como se han simulado para esta intervención.

Según los resultados mostrados en la Tabla 5-12, la instalación de diques tuvo un efecto positivo sobre el área total inundada, logrando una reducción del 35% aproximadamente, mientras que la profundidad máxima del agua mostró un pequeño incremento del 5%.

Los diques, como se han simulado, contendrían el exceso de flujo del río durante los eventos climatológicos extremos. Sin embargo, los diques existentes hoy en día, no son lo suficientemente altos para contener el exceso de flujo; y en algunas áreas, estos muestran signos de erosión natural y artificial. De acuerdo con estimaciones anteriores, el costo de instalación y para elevar los diques entre 0,8 y 2,0 metros, oscilaría entre \$ 1.000.000 y \$ 2.000.000, dependiendo del tipo de diseño y material.

5.4.2 Adaptación No. 2: Restaurar un canal natural hacia el océano

Varios canales naturales del río Cangrejal se han rellenado debido al desarrollo urbano rápido y no planificado de La Ceiba. ERM probó el efecto de la restauración de una de estas salidas naturales, mediante la simulación de canal que corre desde la orilla oeste del río hasta el estuario por el estadio, como se muestra en la Figura 5-13.

ERM evaluó la eficiencia de esta adaptación asumiendo que el exceso de caudal del río podría ser transportado a través de este canal abierto. El análisis indicó que esta adaptación no era técnicamente favorable. Se requeriría un canal ancho de aproximadamente 80 metros para eliminar el exceso de flujo y por lo tanto evitar las inundaciones que derivan de eventos extremos de precipitación. Tal esfuerzo no sólo sería económicamente inviable, pero también fue evidente que no hay terrenos disponibles en la zona urbana de La Ceiba para proporcionar ese canal abierto.

Figura 5-12: Adaptación No. 1: Diques adicionales a lo largo del Río Cangrejal



Figura 5-13: Adaptación No. 2: Canal desde el Río Cangrejal hasta el mar Caribe



5.4.3 Adaptación No. 3: Embalse de control de flujo

Esta adaptación consiste en evaluar la construcción de una presa de control de flujo en un punto aguas arriba para regular dicho flujo durante eventos de precipitación extrema. Como se ilustra en la Figura 5-14, ERM asumió que este embalse podría ubicarse en Las Mangas, en la confluencia de cuatro de los principales ríos que atraviesan la cuenca del Río Cangrejal.

La capacidad de esta presa se basó en el diseño propuesto para el proyecto hidroeléctrico Cangrejal, específicamente, 9,3 millones de metros cúbicos. ERM también modeló un segundo diseño de embalse con una capacidad de almacenamiento más grande, basado en el conocimiento de otras estructuras de control de inundaciones. El segundo depósito tendría una capacidad de almacenamiento de 13,3 millones de metros cúbicos.

ERM consideró los cuatro escenarios del cambio climático y del uso del suelo para los tres periodos de retorno. Según los resultados hidrológicos e hidráulicos del modelo, la presa – a pesar de la capacidad modelada - no fue satisfactoria como medida de control de flujo durante eventos de precipitación extremas.

5.4.4 Adaptación No. 4: Desviación del exceso de flujo a través de un túnel artificial

Esta intervención requeriría la construcción de un túnel, el cual actuaría como un canal y podría eliminar el exceso de flujo del río, y re-direccionarlo al estuario cerca del Muelle de Cabotaje. La Figura 5-15 ilustra este concepto.

Los resultados del modelo mostraron que la capacidad proporcionada por un túnel no produciría una reducción significativa en los volúmenes en exceso. Para lograr una reducción satisfactoria en los flujos máximos sería necesario construir un gran número de túneles, lo que sería inviable debido a las limitaciones técnicas y económicas. Por lo tanto, la construcción de túneles artificiales fue descartada como una opción debido a las preocupaciones técnicas y de costos.

Figura 5-14: Adaptación No. 3: Ubicación de la presa para el control de flujo



Figura 5-15: Adaptación No. 4: Ubicación del túnel artificial



La Tabla 5-12 resume los resultados del modelo para las intervenciones ensayadas.

Tabla 5-12 Efectividad de las intervenciones propuestas para un evento de tormenta a 100 años

Escenario/Adaptación	Profundidad Máx.(m)	% D Profundidad comparada con el Escenario CA	Área Total Inundada (km ²)	% D Area Total
CA	5.92	0%	2.95	0%
No. 1 (Diques)	6.12	3%	2.03	-31%
No. 2 (Canal abierto)	4.82	-19%	2.50	-15%
No.3 (Embalse)	5.91	0%	2.94	0%
No. 3B (Embalse 2)	5.82	-2%	2.90	-2%
No.4 (Túnel artificial Q=500 m ³ /s)	5.48	-8%	2.72	-8%
No.4B (Artificial tunnel Q=750 m ³ /s)	5.15	-13%	2.61	-12%
CA+CC	6.37	8%	3.16	7%
No. 1 (Diques)	6.69	5%	2.08	-34%
No. 2 (Canal abierto)	5.44	-15%	2.76	-13%
No.3 (Embalse)	6.36	0%	3.15	0%
No. 3B (Embalse 2)	6.33	-1%	3.14	-1%
No.4 (Túnel artificial Q=500 m ³ /s)	5.92	-7%	2.97	-6%
No.4B (Túnel artificial Q=750 m ³ /s)	5.81	-9%	2.86	-9%
CA+FUS	6.01	1%	2.99	1%
No. 1 (Diques)	6.23	4%	2.04	-32%
No. 2 (Canal abierto)	4.95	-18%	2.54	-15%
No.3 (Embalse)	5.99	0%	2.98	0%
No. 3B (Embalse 2)	5.85	-3%	2.91	-3%
No.4 (Túnel artificial Q=500 m ³ /s)	5.52	-8%	2.77	-7%
No.4B (Túnel artificial Q=750 m ³ /s)	5.27	-12%	2.65	-11%
CC+FUS	6.46	9%	3.19	8%
No. 1 (Diques)	6.81	5%	2.08	-35%
No. 2 (Canal abierto)	5.53	-14%	2.81	-12%
No.3 (Embalse)	6.45	0%	3.18	0%
No. 3B (Embalse 2)	6.39	-1%	3.16	-1%
No.4 (Túnel artificial Q=500 m ³ /s)	6.02	-7%	3.01	-6%
No.4B (Túnel artificial Q=750 m ³ /s)	5.78	-11%	2.91	-9%

5.5 Conclusiones

En base a los análisis técnicos presentados anteriormente, los siguientes puntos resumen los hallazgos con respecto a los resultados, las limitaciones y las áreas para nuevos estudios:

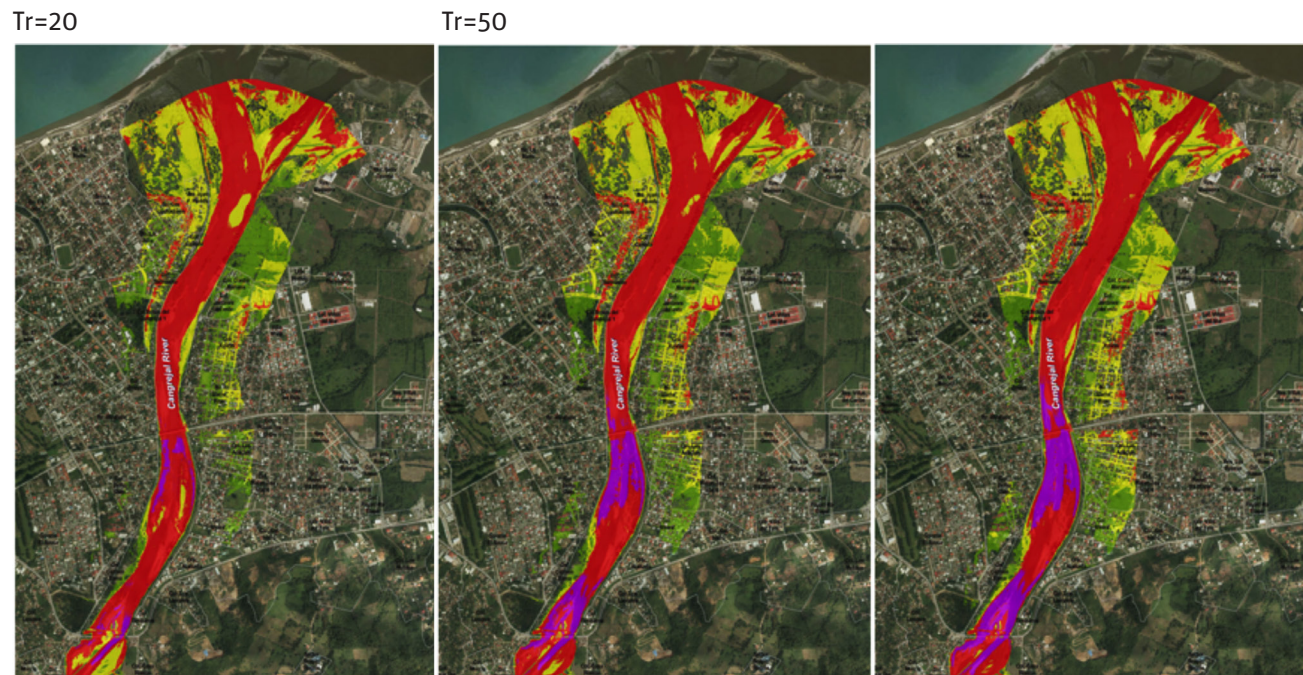
Análisis de las Inundaciones del Río Cangrejal

- ERM estableció un modelo hidrológico para predecir el comportamiento de la Cuenca en respuesta a las precipitaciones y el uso del suelo. Se utilizó un modelo hidráulico para simular el transporte del caudal del río a través de La Ceiba y visualizar el posible alcance de la inundación. Es importante tener en cuenta que los modelos hidrológico e hidráulico no fueron calibrados en base a datos históricos. Mas bien, los resultados del modelo se compararon con los resultados de estudios anteriores.^{80, 81}
- El flujo máximo calculado para un modelo hidrológico en un evento a 50-años bajo las condiciones climáticas y uso del suelo existentes (CA) fue 44% más alto que el flujo máximo reportado para el estudio USGS del 2002 (1030 m³/s). Sin embargo, los flujos máximos estimados en nuestros modelos fueron similares a los reportados en el estudio del 2011 de Smith et al.
- Los resultados del modelo para los tres eventos de precipitación de 24 horas, asumido en nuestro análisis, mostró una distribución espacial similar, tal como se ilustra en la Figura 5-16. La huella de la inundación es significativa, pero es importante tener en cuenta que la inundación se puede extender más allá de lo que se muestra, dado que la visualización está limitada por el contorno para el cual los datos topográficos detallados estaban disponibles.

^{80.} Kresch, D.L., Mastin, M.C. and Olse, T.D. 2002. Fifty-Year Flood-Inundation Maps for La Ceiba, Honduras. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-254. U.S. Department of the Interior-U.S. Geological Survey

^{81.} Smith, J.B., Strzepek, K.M., Cardini, J., Castaneda, M., Holland, J., Quroz, C., Wigley, T.M.L., Herrero, J., and Hearne, J.F. 2011. Coping with Climate variability and Climate Change in La Ceiba, Honduras. Climatic Change. 108:457-470. DOI 10.1007/s10584-011-0161-2

Figura 5-16: Mapas de las inundaciones para los tres periodos de retorno



Nota: El verde indica una profundidad de agua de 0-1 m, amarillo 1-2 m, rojo 2-4 m, morado >4 m.

- Tal como se describe en la *Sección 5.4*, ERM evaluó la eficacia hipotética de las intervenciones propuestas por cuatro de las partes interesadas para mitigar el riesgo de inundación. Nuestro análisis indicó que, el reconstruir el sistema de diques reduciría la extensión del área de inundación en un 35% para un periodo de tormentas a 100 años, asumiendo el cambio climático y los cambios para el uso del suelo (es decir, el peor de los casos) proyectados. Lógicamente, dicho sistema sería mucho mejor si los eventos fueran de menor intensidad, y fuese posible eliminar el riesgo de inundación para eventos asociados con tormentas más frecuentes.
- El explorar cuatro escenarios de usos del suelo y de cambio climático permitieron identificar el cambio climático, o mejor dicho, un aumento en la intensidad de precipitación, como el principal motor de mayor riesgo en el futuro. El escenario futuro del uso del suelo utilizado se desarrolló con la colaboración de las partes interesadas locales y resultó en una instantánea del uso del suelo futuro que no conllevaría a cambios muy marcados en la escorrentía, y por lo tanto, el caudal del río.

Análisis de las Inundaciones Costeras

- El análisis espacial simple llevado a cabo para evaluar los efectos de las marejadas ciclónicas a lo largo del litoral, dejó en claro que, una gran parte de la ciudad estaba expuesta a este tipo de eventos. La zona más cerca del océano es la más vulnerable, ya que alberga un gran número de comercios (por ejemplo, hoteles, restaurantes) y activos públicos (por ejemplo, la cárcel de la ciudad, parques, el muelle), así como, lugares de importancia cultural para la ciudad, incluyendo el recientemente designado, *Casa de la Cultura*, en la antigua casa de aduanas. Las proyecciones del cambio climático para la región sugieren tormentas tropicales más frecuentes, lo que aumentaría el riesgo general a lo largo del litoral.

Análisis de la Intrusión Salina

- El modelo hidrodinámico elegido para este análisis (es decir, CE-QUAL-W2) permitió evaluar la intrusión salina a lo largo del Río Cangrejal, pero no en las aguas subterráneas. Se requiere un estudio adicional para evaluar el riesgo de la intrusión salina en el acuífero subterráneo, y por lo tanto, en el suministro de agua potable, que se extrae principalmente de los pozos ubicados en toda la ciudad.
- Estudios previos, como el de Tamayo (2010), han intentado caracterizar el tema de la intrusión salina. Sin embargo, estos se han quedado cortos en el estudio del modelo hidrológico y de aguas subterráneas. Tal esfuerzo podría proporcionar la base técnica para un esfuerzo de planificación de los recursos hídricos a largo plazo.
- También es importante tener en cuenta que el modelo utilizado para este análisis no fue calibrado debido a que faltaban los datos sobre la calidad del agua en el Río Cangrejal. Los datos históricos sobre el caudal de la estación de aforo Las Mangas también fueron insuficientes para calibrar el modelo adecuadamente. Sin embargo, el registro más bajo observado en Las Mangas se utilizó como condición de frontera con el fin de garantizar los que los resultados eran conservadores.

6. Principales recomendaciones y conclusiones

Este caso de estudio es un ejemplo de la variedad y la magnitud potencial de los desafíos que enfrentan las ciudades de la costa en América Central, específicamente en lo que respecta a la sostenibilidad de los recursos hídricos y la vulnerabilidad a los riesgos naturales inducidos por el clima. Aunque algunos de estos desafíos, tales como la provisión de servicios básicos de saneamiento y drenaje de aguas pluviales, son compartidos por otras naciones en desarrollo de todo el mundo, la variabilidad climática que caracteriza a las zonas tropicales hace que esta región sea susceptible a los cambios climáticos repentinos, provocando sequías o lluvias intensas en función de las temperaturas oceánicas prevalecientes en los océanos Pacífico y Atlántico.

Debido a su ubicación en la costa, La Ceiba es particularmente susceptible a las marejadas ciclónicas provocadas por las tormentas tropicales y huracanes, y, en menor medida, los frentes fríos. Las marejadas ciclónicas son un riesgo significativo a lo largo del litoral. Por otra parte, tres factores interrelacionados pueden influir en la frecuencia y magnitud de las inundaciones costeras en el futuro: los ciclones más fuertes, el ascenso del nivel del mar y la erosión del litoral. Se espera que las dos primeras tendencias continúen dada la trayectoria actual de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. También se espera que la erosión del litoral continúe remodelando el litoral de La Ceiba, a menos que se implementen intervenciones específicas.

La Ceiba también está ubicada en la llanura aluvial del río Cangrejal, y el desarrollo ha aumentado rápidamente a lo largo de sus orillas, sin una zona de retroceso adecuada que tome en cuenta su llanura aluvial. Aunque el río no se desborda con frecuencia, cuando lo hace, la extensión de la inundación puede ser significativa. Este riesgo se sería aún mayor si aumenta la intensidad de las precipitaciones como ha sido previsto por expertos sobre el cambio climático. Si no se toman las medidas adecuadas para proteger la ciudad cuando las aguas del río suben, el área afectada podría ser significativa y miles de residentes, así como la infraestructura pública clave, como puentes y la planta de tratamiento de aguas residuales, se verían afectadas.

Además de la amenaza de las inundaciones costeras y fluviales, el drenaje deficiente de la ciudad es una molestia para los residentes y un lastre en la actividad económica año tras año. Las inundaciones urbanas en La Ceiba están vinculadas a la insuficiencia del sistema de drenaje existente para transportar de manera eficiente, las aguas pluviales lejos de las áreas bajas donde tienden a acumularse y causar inundaciones. En algunas zonas, las inundaciones hacen que las aguas negras y la basura se devuelvan hacia las calles, creando así condiciones insalubres. A menos que sea mitigado, el desarrollo urbano incontrolado puede sobrecargar aún más la infraestructura de drenaje existente, lo que agravaría los problemas de las inundaciones urbanas existentes y las preocupaciones en materia de seguridad pública.

El riesgo de la intrusión salina en el acuífero del litoral completa la lista de problemas potenciales que amenazan los recursos hídricos de la ciudad y de la población que depende de ellos. Aunque muchos factores pueden aumentar el riesgo de salinización, la intrusión salina suele asociarse con la extracción de aguas subterráneas (excesivo bombeo), la reducción de la recarga de las aguas subterráneas, y el ascenso potencial del nivel del mar - todos factores que pueden estar presentes en La Ceiba. Esto exige acción por parte de funcionarios locales con el fin de regular la extracción de aguas subterráneas de acuerdo con una base técnica, la cual podría ser proporcionada por un estudio hidrogeológico de campo.

6.1 Principales recomendaciones

En línea con los objetivos establecidos por el Banco Interamericano de Desarrollo, ERM ha llevado a cabo una evaluación técnica para analizar el riesgo y la vulnerabilidad a las amenazas naturales y los desafíos de infraestructura mencionados anteriormente. Esta evaluación se llevó a cabo como una experiencia para la adaptación al cambio climático, lo que dotó al proceso con un enfoque, no sólo a largo plazo, o no sólo para el diseño de medidas de adaptación, sino también para la planificación adecuada de las intervenciones de mitigación a corto plazo.

Para reducir el nivel actual de riesgo y de vulnerabilidad en La Ceiba, se debería abordar una estrategia integral que incluya las siguientes prioridades:

- i. Mitigar el riesgo de las inundaciones costeras, fluviales y urbanas;
- ii. Reducir la vulnerabilidad crítica e los desastres, tales como los asentamientos de poblaciones en zonas de alto riesgo;
- iii. Proporcionar las bases técnicas para regular el uso de las aguas subterráneas, asegurar la sostenibilidad del agua potable en el futuro;
- iv. Expandir la infraestructura de drenaje de aguas pluviales, así como, garantizar una cobertura adecuada de la red de alcantarillado y la capacidad de tratamiento de aguas residuales;
- v. Fortalecer las capacidades técnicas y de ejecución de proyectos de las instituciones responsables de la planificación y manejo de los recursos hídricos urbanos.

Basados en las prioridades anteriores, nuestras principales recomendaciones se han organizado en torno a tres líneas de acción estratégicas:

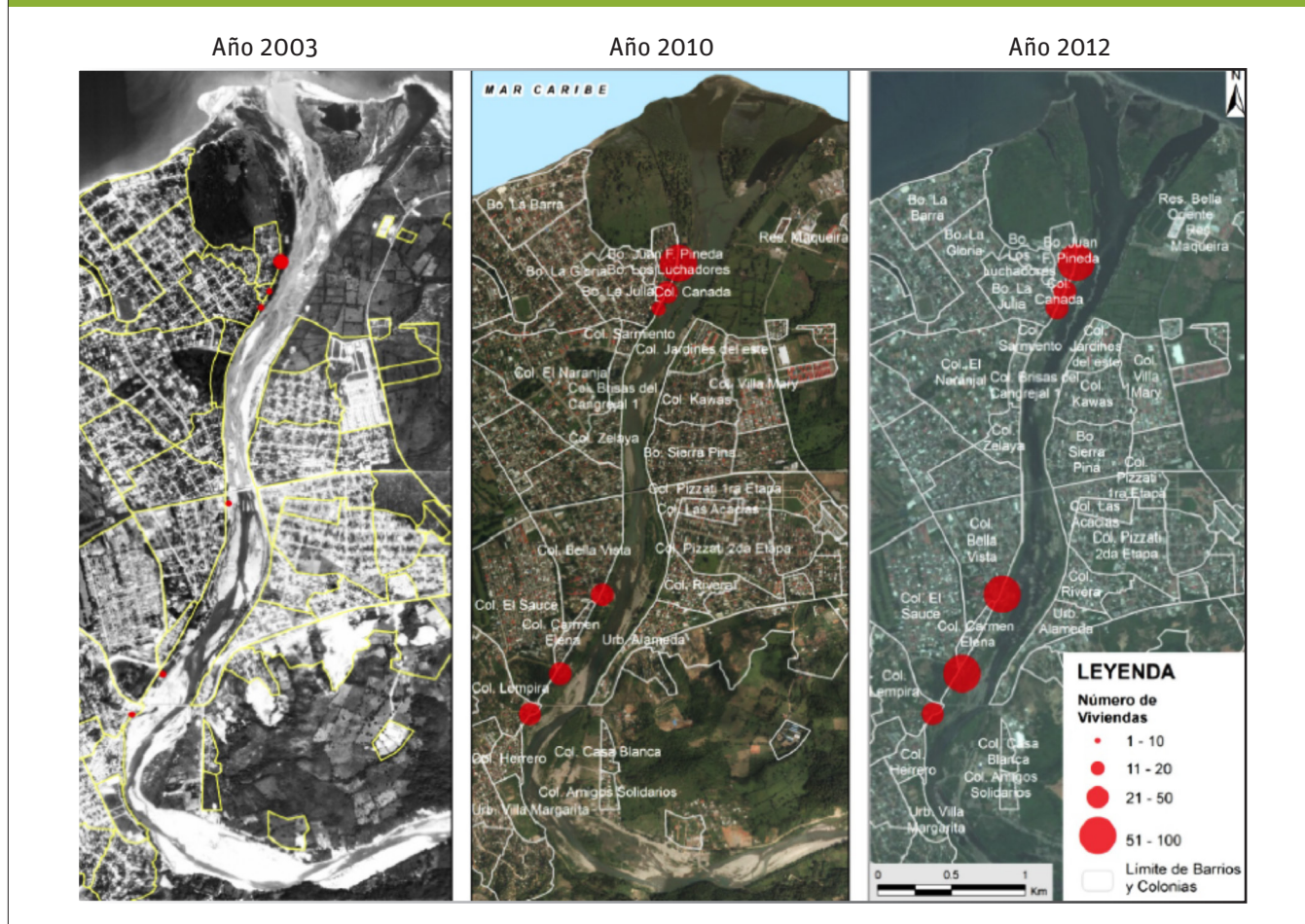
- Manejo Integrado de los Riesgos de Inundación
- Conservación de los Recursos Hídricos; y
- Fortalecimiento Institucional

6.1.1 Manejo Integrado de los Riesgos de Inundación

Un enfoque integrado para el manejo de riesgos de inundación – del litoral, fluviales y las inundaciones urbanas – lo cual comprendería la implementación de medidas con miras a reducir el riesgo de exposición a eventos de inundaciones, o disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones afectadas. Por ejemplo, en el caso del río Cangrejal, es necesario evitar que ocurran las inundaciones, y al mismo tiempo, abordar las zonas propensas a la vulnerabilidad crítica, identificadas en este caso de estudio.

De acuerdo con los resultados documentados en la Sección 5.4, la reconstrucción del sistema de diques a lo largo del río fue la única medida estructural que mostró resultados favorables. La construcción de diques adicionales sería clave para prevenir los acontecimientos de desbordamiento, y mitigar su impacto en las poblaciones adyacentes. Sin embargo, también es importante reconocer que el asentamiento gradual de las comunidades en la llanura de inundación del río es una necesidad urgente. Por lo tanto, se recomienda también, que las 450 familias estimadas en las zonas de alto riesgo sean reubicadas. La Figura 6-1 muestra la ubicación y el tamaño estimado de estas comunidades vulnerables.

Figura 6-1: Ubicación y extensión estimada de los asentamientos a lo largo del Río Cangrejal



Fuente: CREDIA, 2014

El río Cangrejal se ha convertido, no sólo en un imán para los cientos de marginados y familias de bajos ingresos, pero también se ha convertido en un vertedero de basura ilegal. En consonancia con un enfoque que entrelaza la reducción del riesgo con resultados de desarrollo sostenible, existe la oportunidad de aprovechar el potencial natural y económico del río, por lo que es el foco de una iniciativa público-privada destinada a establecer un parque recreativo y turístico a lo largo de su orilla del lado oeste. Los beneficios esperados incluyen: desalentar asentamientos ilegales adicionales a lo largo del río, proporcionando oportunidades de recreación para los residentes locales, y aumentar el atractivo de la ciudad como un centro para el turismo. Remodelar la relación de la ciudad con su río principal sería mejorar la calidad de vida e impulsar la economía local.

Al abordar el riesgo planteado por las marejadas ciclónicas y las inundaciones costeras, una de nuestras principales recomendaciones es dar prioridad a las acciones para proteger la costa contra la erosión adicional. Una de estas medidas consiste en la construcción de escolleras para frenar los procesos erosivos existentes a lo largo de la costa, incluyendo un programa de regeneración de playas.

Sin embargo, también es importante abordar la razón subyacente de la erosión del litoral, lo que probablemente se debe a la aparente reducción de los sedimentos depositados por el río Cangrejal a lo largo del litoral. Esto podría ser causado por

varios factores, incluyendo una disminución en el caudal del río o el exceso de extracción de sedimentos finos del lecho del río por las empresas de extracción autorizadas. Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo un estudio del transporte de sedimentos y geomorfológico, para proporcionar las bases técnicas para nuevas medidas, incluyendo el diseño y la instalación de las escolleras antes mencionadas, así como, una reevaluación de la actividad extractiva en el río Cangrejal. Considerando la importancia del material de construcción para la actividad extractiva, también se recomienda que se lleve a cabo un análisis estratégico del sector para identificar los sitios alternativos donde estos materiales se pueden extraer de forma segura.

Con respecto a las inundaciones urbanas, ERM recomienda elaborar un Plan de Saneamiento de Aguas Pluviales Maestro para identificar, alcanzar, y dar prioridad a corto plazo y a largo plazo, las inversiones en infraestructura necesarias para el manejo de las aguas pluviales para el desarrollo actual y futuro. También es importante que el plan considere el sistema de alcantarillado sanitario actual, y busque la manera de separar los sistemas de drenaje y de alcantarillado.

6.1.2 Conservación de los Recursos Hídricos

Tal como se analizó en la Sección 5.3.3, La Ceiba se enfrenta al riesgo de salinización de su acuífero de aguas subterráneas, el cual se utiliza como la principal fuente de agua potable. En la medida en que, la proliferación de pozos no autorizados continúe, dando como resultado la disminución del nivel freático, el riesgo de salinización y contaminación aumentaría. Esto pone de manifiesto, que es necesario regular la extracción de aguas subterráneas para asegurar su sostenibilidad. Dicha regulación tendría que tener en cuenta las condiciones existentes del acuífero subterráneo y la tasa actual y proyectada de la extracción de agua. Un estudio de modelación hidrogeológica y de aguas subterráneas, junto con un inventario exhaustivo de los pozos de agua subterránea en la ciudad, podría proporcionar la base técnica sobre la cual las directrices de uso del agua serían otorgadas a las partes públicas y privadas.

6.1.3 Fortalecimiento Institucional

Las prioridades señaladas en este Capítulo, tales como la reducción de la vulnerabilidad de La Ceiba ante los desastres naturales, o el desarrollo de una infraestructura adecuada de agua y saneamiento, requiere de entidades gubernamentales una fuerte gobernanza y las competencias de ejecución de proyectos. La ejecución exitosa de proyectos, tales como los enunciados anteriormente, requiere que las entidades de la implementación tengan la capacidad necesaria en términos de planificación, contratación, gestión financiera, supervisión, entre otras habilidades. Por lo tanto, es necesario fortalecer la capacidad operativa e institucional de los organismos encargados de promover el desarrollo sostenible de la ciudad de La Ceiba, la reducción del riesgo y la vulnerabilidad de las poblaciones a los desastres naturales, y el manejo del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos. .

6.2 Análisis costo-beneficios

Con aproximadamente 192.000 habitantes⁸² La Ceiba es la tercera ciudad más grande de Honduras y su centro de turismo más importante, con fácil acceso a varios destinos recreativos y eco-turísticos como Roatán y las Islas de la Bahía, y el Parque Nacional Pico Bonito. La producción agrícola, tales como la piña por la *Standard Fruit Company*, es también el principal motor de la actividad económica.

En contraste, la ciudad también es muy vulnerable a los desastres naturales y aún carece de una adecuada cobertura de algunos servicios básicos (por ejemplo, saneamiento, drenaje y agua potable), lo que limita su desarrollo socioeconómico. Al evaluar los beneficios de las posibles medidas tendientes a eliminar o mitigar los riesgos abordados en este caso de estudio, la atención se centra en la estimación de los siguientes parámetros:

⁸² Comisión Económica para América latina (CEPAL), 2013. "Honduras, Estimaciones y Proyecciones de Población a Largo Plazo 1950-2100"

- Costos directos a las personas para reemplazar su vivienda o enseres personales dañados por los peligros naturales, tales como las inundaciones;
- Costos directos relacionados con el número de horas adicionales gastadas para desplazarse debido al cierre de calles inundadas;
- Pérdidas en productividad equivalentes al número de horas de trabajo perdidas debido al cierre de empresas relacionados con las tormentas (ingresos no percibidos);
- La incidencia de la mortalidad infantil (<5 años) relacionada con el agua o la contaminación del medio ambiente;
- Las diferencias en los valores de la propiedad relativos a los activos en las zonas propensas a las inundaciones; y,
- El aumento potencial en la actividad económica (por ejemplo, el turismo, el comercio) relacionado con una mejor calidad de vida urbana.

Este enfoque de la cuantificación de los beneficios derivados de las intervenciones de reducción del riesgo de desastres, es consistente con el utilizado anteriormente para el manejo ambiental y los proyectos de riesgos climáticos en Honduras⁸³. La cuantificación de los beneficios vistos aquí, se basa en el método de *costo de daños evitados*. El cálculo de los daños se complementa con el valor de las mejoras que no se habrían producido sin la presencia del proyecto de mejora.

La gestión del riesgo climático es un esfuerzo a largo plazo, especialmente cuando las instituciones locales también deben reforzarse y adaptarse a las nuevas circunstancias. Por lo tanto, se ha supuesto aquí que los beneficios se acumularían durante 20 años. La intención aquí no es evaluar la rentabilidad de una sola medida o intervención, sino más bien mostrar, como se indica en la Tabla 6-1, la magnitud de los beneficios esperados al abordar varios de los riesgos presentes en La Ceiba.

Tabla 6-1 Valor Actual Neto de los Beneficios Estimados por la Reducción de Riesgos de Desastres

Concepto	Hogares Afectados (%)	Número de Hogares	Costo por Hogar	Pérdida Anual Estimada	Valor neto anual, 20 años (\$US)
Beneficios Directos					
Inundación Río Cangrejal	5	1,700	300	510,000	6,038,590
Inundación del Litoral	15	5,100	2,200	11,220,000	40,853,644
Erosión del Litoral	0.5	170	15,000	2,550,000	2,550,000
Inundaciones Urbanas	30	10,200	700	7,140,000	80,242,117
Beneficios Indirectos					
Ingresos no percibidos	25	8,500	63	2,016,000	17,163,344
Escolaridad Perdida	25	8,500	63	535,500	4,559,013
Mejoras en la Salud Pública					5,129,425
Revalorización Sector Inmobiliario. Inmobiliario Appreciation					15,130,000
Crecimiento Económico					21,264,178
Beneficios Totales					\$192,930,312

⁸³ World Bank. 2012. "Honduras Disaster Risk Management Project". Project Appraisal Project No. 73042HN. Washington, D.C.: World Bank.

Como se muestra arriba, al reducir los riesgos derivados de los peligros naturales, en la mayor medida posible, produciría beneficios, en moneda corriente en dólares, de aproximadamente \$192 millones. Este análisis es simplemente una evaluación de los beneficios que se derivarían si se abordan todos los riesgos. Como tal, implica lo siguiente:

- El valor monetario de los daños evitados a las personas, la propiedad y los activos y los servicios públicos (infraestructura vial, sistemas de agua);
- El valor del ahorro en dólares en el tiempo de desplazamiento, como también el tiempo de llevar los niños a la escuela, (cuando el transporte público no está disponible) y el cuidado de los niños que no pudieron asistir a la escuela debido a las inundaciones;
- El aumento en el valor de las propiedades una vez que ya no están bajo el riesgo de inundaciones o erosión del litoral;
- El valor monetario del aumento de la productividad laboral ya que los trabajadores no se enfermarían o por el contrario, no poder ir a trabajar debido a las inundaciones; y
- Aumento de la inversión y la actividad económica como resultado de las inversiones clave en infraestructura, reducción del riesgo de desastres naturales, y una mejor calidad de vida.

El hacer frente a los riesgos y desafíos discutidos aquí, requerirá de una inversión significativa. Sin embargo, este análisis muestra que existe un amplio margen para que las inversiones sean rentables a largo plazo, suponiendo una tasa de descuento del 10%. La Tabla 6-2 muestra el potencial de la tasa interna de retorno para tres montos de inversión.

Tabla 6-2 Tasa Interna de Retorno según el Monto de Inversión

Beneficios Totales	Monto de Inversión Potencial (en millones de USDólares)	Tasa Interna de Retorno (10% tasa de descuento)
\$193 MM	30	43%
	90	18%
	120	14%

6.3 Aspectos ambientales y sociales

En general, se espera que en la búsqueda de las recomendaciones incluidas aquí, no haya impactos ambientales negativos significativos que puedan poner en riesgo el entorno ambiental natural. Sin embargo, se recomienda que se lleven a cabo evaluaciones ambientales antes de realizar cualquier tipo de obras civiles, para asegurar que se ponen en marcha los planes de manejo adecuados.

Se debe poner especial énfasis en el impacto a las comunidades circundantes. Por ejemplo, la reconstrucción del sistema de diques es probable que produzca sólo impactos localizados a corto plazo del tipo esperado las obras de construcción civil, sin embargo, las comunidades cercanas pueden verse afectadas por el ruido y la contaminación (por ejemplo, el polvo) y los impactos debe manejarse como corresponde.

Otro aspecto relevante se refiere a las comunidades en zonas de alto riesgo, que podrían ser objeto de reasentamiento. En este sentido, y teniendo en cuenta dicha medida, sería probable que esto aumente la ansiedad y las expectativas entre las comunidades seleccionadas, por lo tanto, se requiere que se diseñe cuidadosamente un plan de reasentamiento robusto y bien ejecutado, en colaboración con las autoridades locales, y de acuerdo con Política de Reasentamiento Involuntario del Banco (OP -710).

7. Referencias

CATIE-TNC (2012). *Análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras*. Developed for the United States Agency for International Aid (USAID).

Cardini, Richards, and Nichols (2005). *Presentation: Coastal ReFuente Analysis*. USAID-MIRA.

Comisión Económica para América Latina (CEPAL). 2013. "Honduras. Estimaciones y Proyecciones de Población a Largo Plazo 1950-2100."

COPECO, 2010. *Plan Municipal de Gestión de Riesgos*. Comisión Permanente de Contingencias (COPECO). Proyecto de Mitigación y Desastres Naturales (PMDN). Municipalidad de Ceiba. Departamento de Atlántida. Sep., 2010. Ibérica de Estudios e Ingeniería, S.A.

CREDIA (2013). *Descripción de las condiciones existentes y escenario tendencial de cobertura vegetal y uso del suelo para el horizonte 2050*.

Harmeling, S. (2009). *Global Climate Risk Index 2010: Who is Most Vulnerable?; Weather-related Loss Events Since 1990 and how Copenhagen Needs to Respond*. GermanWatch Briefing Paper.

INTEMAS. Manual de Referencias Hidrológicas para el Diseño de Obras de Drenaje Menor. INTEMAS y el Fondo Hondureño de Inversión Social. Dirección de Medio Ambiente.

International Institute for Sustainable Development (2013). *Climate Risk Management for Smallholder Agriculture in Honduras*. New York.

Inypsa-Procorredor (2011). *Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Región IV Valle de Lean: Municipio de La Ceiba*.

Kuhl, L. (2011). *From a culture of disaster to a culture of adaptation*. Master's Thesis.

Kresch, D.L., Mastin, M.C., and Olsen, T.D. 2002. *Fifty-Year Flood-Inundation Maps for La Ceiba, Honduras*. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-254. U.S. Department of the Interior-U.S. Geological Survey

McCarthy, J. et al. (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, New York.

McGray H, Hammill A, Bradley R. (2007). *Weathering the Storm: Options for Framing Adaptation and Development*. World Research Institute (WRI) Report.



Mertz, O., Halsnæs, K., Olesen, J., Rasmussen, R. 2009. *Adaptation to Climate Change in Developing Countries*. Environmental Management 43:743-752.

Nakagawa, Y. Shaw, R. (March 2004). *Social Capital: A Missing Link to Disaster Recovery*. United Nations Center for Regional Development. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, Vol. 22, No. 1, pp. 5-34

NOAA (August 6, 2013). *Defining Storm Surge, Storm Tide and Inundation*.

NOAA National Climatic Data Center (2009). Mitch: The Deadliest Atlantic Hurricane since 1780.

SANAA (March 2012). *Análisis de Posibilidad de Aguas Subterráneas en el Municipio de la Ceiba*. Division de Investigación y Análisis Técnico (DIAT). Documento No. 827.

Smith and Wigley (2005). *Presentation: Climate Change Scenarios*. USAID-MIRA.

Tamayo, C., Fuentes H. (2013). Abstract: Modeling Seawater Intrusion and Sea Level Rise Effects on the Coastal Aquifer of Northern Honduras.

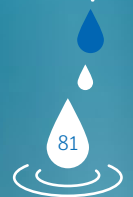
Uribe A., et al. (May 1999). *Reducing Vulnerability to Natural Hazards: Lessons Learned from Hurricane Mitch A Strategy Paper on Environmental Management*. Inter-American Development Bank.

USDA, 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55.

Wanielsita, M., Kersten, R., and Eaglin, R. 1997. *Hydrology: Water Quantity and Quality Control*. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc. Pg. 567.

World Bank. 2012. *"Honduras. Disaster Risk Management Project."* Project Appraisal Report No. 73042HN. Washington, D.C.: World Bank.

World Health Organization (n.d.). *Flooding and communicable diseases*.

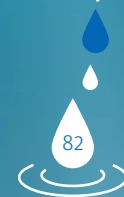


Anexo A:

Escenario Proyectado del Uso de la Tierra para La Ceiba **Adaptación al Cambio Climático y Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en La Ceiba, Honduras**

Contenido

A.0	Introducción	84
A.1	Objetivo	84
A.2	Área de estudio	84
A.3	Metodología	85
	A.3.1 Selección del Software de Modelaje.....	85
	A.3.2 Calibración del Modelo.....	85
A.4	Aplicación de la metodología.....	86
	A.4.1 Recopilación y Generación de una Base de Datos Cartográfica.....	86
	A.4.2 Taller de Validación.....	89
A.5	Resultados preliminares	90
	A.5.1 Tasas de Cambio en el Uso de la Tierra.....	90
	A.5.2 Independencia de variables.....	90
	A.5.3 Modelo de Evaluación.....	90
	A.5.4 Proyecciones del uso de la Tierra para el 2050.....	90
A.6	Resultados del taller.....	92
A.7	Resultados finales.....	93
	A.7.1 Ajustes hechos al Modelo.....	93
	A.7.2 Tendencias Observadas.....	93



Lista de Tablas

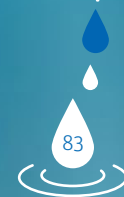
Tabla A-1:	Mapas de Usos del Suelo y Ortofotos	86
Tabla A-2:	Categorías del uso histórico del suelo.....	87
Tabla A-3:	Categorías del uso actual del suelo	88
Tabla A-4:	Listado de Mapas de las Variables Explicativas	88
Tabla A-5:	Lista de mapas intermedios.....	88
Tabla A-6:	Tasas de Cambio en el Uso de la tierra.....	90

Lista de Figuras

Figura A-1:	Breve Taller de Validación.....	89
Figura A-2:	Distribución Preliminar del Uso de la Tierra para el 2050, Áreas Urbanas y de Ríos	91
Figura A-3:	Distribución Preliminar del Uso de la Tierra para el 2050, Cuenca del Río Cangrejal	91
Figura A-4:	Ajuste de la Distribución del Uso de la Tierra para el 2050, Áreas Urbanas y del Río.....	94
Figura A-5:	Ajuste de la Distribución del Uso de la Tierra para el 2050, Cuenca del Río Cangrejal....	95

Lista de Mapas

Mapa A-1:	Escenario Preliminar del Uso de la Tierra 2050.....	92
Mapa A-2:	Mapa del Ajuste del Uso de la Tierra para el 2050.....	95



A.0 Introducción

El riesgo de inundaciones por el desbordamiento del río Cangrejal se ha convertido en una preocupación genuina por los residentes y las autoridades de La Ceiba. Para evaluar el riesgo que representa este peligro natural, ERM ha llevado a cabo una evaluación técnica para predecir la posible extensión de las inundaciones como consecuencia de las precipitaciones extremas. La evaluación no sólo consideró el riesgo de las inundaciones en las condiciones actuales, sino que también tomó en cuenta, cómo el cambio en los patrones climáticos y en el uso de la tierra influirían en ese riesgo en el futuro

ERM utilizó un modelo hidrológico, un modelo hidráulico, y el software topográfico y cartográfico para evaluar la extensión de la inundación de ríos en La Ceiba. Los modelos fueron seleccionados basados en su juicio profesional, teniendo en cuenta la disponibilidad de data de entrada/input y el nivel de análisis requerido. Además, los modelos hidrológico (HEC-HMS) e hidráulico (HEC-RAS) están disponibles al público, y tienen una historia de aceptación en una variedad de aplicaciones

El uso de la tierra es un input clave en el modelado de la respuesta de la cuenca a las precipitaciones. Mientras que el uso actual de la tierra se puede determinar basado en imágenes satelitales recientes o datos de teledetección, para predecir cuál sería el uso predominante de la tierra en toda la cuenca del Río Cangrejal, se requiere una combinación de análisis estadísticos y aportes de expertos.

Las proyecciones de uso de la tierra que se presentan aquí, se generaron en base a las tendencias históricas del uso de la tierra, obtenidas mediante el uso de software estadístico, y calibradas según la retroalimentación de los expertos locales durante un taller de medio día de duración, celebrado en La Ceiba, en diciembre del 2013. Este anexo documenta la metodología utilizada en la construcción del escenario proyectado del uso de la tierra.

La fundación CREDIA dirigió el análisis estadístico descrito en el presente anexo, con el apoyo del personal de ERM. CREDIA también facilitó el taller, que se centró en la validación de los factores antropogénicos y las características físicas del terreno que determinan el escenario futuro para el uso de la tierra.

A.1 Objetivo

El objetivo de un escenario del uso de la tierra a futuro, es predecir la distribución potencial del uso de la tierra a través de la cuenca del Río Cangrejal para el horizonte planificado del 2050. La distribución del uso de la tierra en el año 2050 es un input clave para la evaluación de riesgos de inundación que ERM llevará a cabo para la ciudad de La Ceiba.

A.2 Área de estudio

El área de estudio comprende los 560 kilómetros cuadrados que pertenecen a la cuenca del Río Cangrejal. La gran extensión de área en este estudio, requirió de un doble análisis: una mirada minuciosa a los patrones de urbanización en el área urbana de La Ceiba, y un análisis de alto nivel de los factores antropogénicos y naturales a través de la cuenca del Río Cangrejal.



A.3 Metodología

A.3.1 Selección del Software de Modelaje

DYNAMICS es un paquete de software que permite al usuario construir diferentes tipos de modelos: estáticos, dinámicos o complejos; locales y regionales; y con o sin retroalimentación dinámica (Soares Filho, et al, 2009). Para el modelado de los patrones de uso de la tierra, se utilizó DYNAMICS para construir un modelo que simulara los cambios basados en las tasas de cambio, derivadas mediante la comparación de las condiciones actuales e históricas. También permitió que se le asignara el peso a las variables asociadas con estos cambios.

Para construir el modelo, fue necesario hacer la geo-referencia correcta de todos los datos requeridos y almacenarlos en formato de mapas de bits. Los mapas indican el uso histórico del suelo y el uso actual del suelo, y se diseñaron con el objetivo principal de estandarizar los tipos de uso de la tierra o categorías. También se construyó un mapa para cada variable en la cual se pensó determinar el cambio de uso de la tierra. Estas variables incluían los asentamientos humanos, ríos, carreteras, pendiente y otras condiciones que pueden restringir el uso de la tierra, tales como las áreas protegidas, cuencas o zonas de humedales declaradas para la protección, u otras políticas de zonificación y usos del suelo.

A.3.2 Calibración del Modelo

A.3.2.1 Tasas de Cambio

Las tasas de cambio se determinaron mediante la comparación de la distribución del uso de la tierra a través de mapas históricos (1986, 1994, 2002 and 2003) y mapas más recientes (2009, 2010 and 2012).

A.3.2.2 Pesos de la Evidencia

Utilizando el método de geo-estadística de pesos de evidencia, se determina la influencia que los valores de una variable tienen para lograr el cambio. El resultado de este análisis es una probabilidad de cambio en el mapa, donde la probabilidad está dada por las características locales en base a las tasas históricas de cambio y las variables explicativas.

Los pesos de evidencia pueden ser modificados de acuerdo a la opinión de los expertos, definiendo cuan influyente puede ser una variable, en un mayor o menor grado.

A.3.1.3 Correlación entre las variables

El evento único de los pesos de evidencia es que todas las variables son espacialmente independientes, y las pruebas estadísticas se aplican para verificar esto, tales como: la prueba de Independencia Chi-cuadrado, la prueba de los Crammers, la prueba de contingencia, la prueba de la entropía, y la prueba conjunta de información de incertidumbre. Si dos variables no son independientes entre sí, una de ellas debe ser suprimida o fusionada (Soares Filho, et al, 2009).

A.3.1.4 Evaluación

Mediante una serie de pesos de evidencia, mapas de las variables de conducción y el uso histórico, se hace una proyección de uso de la tierra en la situación actual. Luego, este mapa (de uso actual de la tierra simulado) debe ser espacialmente comparado con el mapa de uso actual de la tierra. Esta comparación debe centrarse en los cambios, porque por lo general, un mapa simulado tiene muchas similitudes con su par observado, debido a las áreas que no cambiaron (Paegelow y Camacho Olmedo 2005).

A.3.1.5 Proyección de las trayectorias en los cambios de uso

Una vez que el modelo ha sido adecuadamente calibrado, se procesa para simular el uso de la tierra para el escenario futuro, tomando la situación actual como el punto de partida.

A.4 Aplicación de la metodología

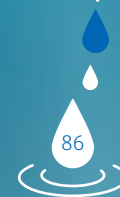
A.4.1 Recopilación y Generación de una Base de Datos Cartográfica

Todos los productos cartográficos que pueden ser útiles para la construcción de un modelo, especialmente los mapas del uso de la tierra, han sido identificados en esta etapa (Véase la Tabla B-1).

Tabla A-1: Mapas de Usos del Suelo y Ortofotos

Mapas	Fuente	Resolución Espacial
Honduras uso de la tierra 1984	COHDEFOR	30 x 30 m
Honduras uso de la tierra 1994	COHDEFOR	30 x 30 m
Cobertura vegetal Honduras 2002	Rainforest Alliance	30 x 30 m
Honduras uso de la tierra 2003	IHT	30 x 30 m
Honduras uso de la tierra 2009	ESNACIFOR	500 x 500 m
PROCORREDOR 2010	PROCORREDOR	15x 15 m
La Ceiba uso de la tierra 2010	COPECO	30 x 30 m
PROCORREDOR uso de la tierra 2012	PROCORREDOR	15 x 15 m
Ortofotos PROCORREDOR 2010	PROCORREDOR	0.3 x 0.3 m
Ortofoto área urbana de La Ceiba 2003	Desconocida	0.5 x 0.5 m

El equipo analizó la coincidencia espacial de los mapas de uso histórico (1986, 1994, 2002 y 2003) con mapas de uso actual (2009, 2010 y 2012), llegando a la conclusión de que no había suficiente coincidencia entre los mapas que debían compararse, ya que se habían utilizado diferentes metodologías en la producción de estos mapas. También superpusieron los mapas en las ortofotos de PROCORREDOR del 2010, y señalaron que, los mapas históricos que tenían un mayor nivel de detalle y correspondían más a lo observado en las ortofotos, que fue el mapa (IHT) del 2003, al menos para la zona en estudio, y por lo tanto, este fue el seleccionado como mapa histórico del uso de la tierra.



A.4.1.1 Corrección del mapa del uso histórico – 2003

El mapa del 2003 presenta 10 categorías de uso de la tierra para el área bajo estudio. Este no mostró la suficiente fiabilidad como para discriminar entre tipos de bosques o pastizales, matorrales, y los usos agrícolas, pero si diferenció entre los bosques y las áreas deforestadas, por lo que las categorías se agruparon como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla A-2: Categorías del uso histórico del suelo

Categorías	Grupos de Categorías
Bosque de coníferas denso	Bosque
Bosque de coníferas disperso	
Bosque latifoliado frondoso	
Bosque mixto	
Superficies de agua	Cauces de los ríos
Erial S.A. a pasto	Despojados
Pastizales SA, potreros	
Áreas urbanas	Área urbana
Infraestructura localizada	
Infraestructura vial y otras	

Para el análisis del uso histórico del suelo, ERM estudió la cobertura del suelo derivada de imágenes satelitales LANDSAT para la cuenca sur. ERM seleccionó las imágenes del satélite USGS LANDSAT 5 de libre disposición. (Thematic Mapper). El LANDSAT 5 fue lanzado el 1ero. de marzo de 1984 y ofrece una resolución espacial de 30 metros (m), la cual captura la reflectancia visible e infrarroja de la superficie terrestre a través de siete bandas⁸⁴. Esta configuración de la banda de onda satélite, está diseñada específicamente para la cartografía de la cubierta terrestre regional que se está llevando a cabo en este estudio.

- Se hizo una corrección detallada del área urbana con lo observado en la ortofoto del 2003.
- Se fusionó la categoría de “infraestructura vial y otras” con el uso de la tierra vecina.
- Nota: Una limitación en el estudio fue conseguir datos cartográficos que podían ser comparados a través de diferentes años y exhibir un buen nivel de detalle.

A.4.1.4 Mapa de Uso Actual - 2010

Se desarrolló un mapa del uso actual del suelo partiendo de las ortofotos, PROCORREDOR, 2010. Cada área de territorio fue escaneada para ver dónde podrían estar. Debido al alto nivel de detalle de las ortofotos, fue posible digitalizar cada área de territorio con el uso de otra, para poder diferenciar el uso de un tamaño mínimo de áreas de 500 m². Las categorías de uso de la tierra identificadas, así como el grupo final, se muestran en la siguiente tabla.

⁸⁴ 1 Blue 0.45 – 0.52 30, 2 Green 0.52 – 0.60 30, 3 Red 0.63 – 0.69 30, 4 Near infrared 0.76 – 0.90 30, 5 Shortwave infrared 1.55 – 1.75 30, 6 Thermal infrared 10.40 – 12.50 120, 7 Shortwave infrared 2.08 – 2.35 30.

Tabla A-3: Categorías del uso actual del suelo

Categorías	Grupo de Categorías
Bosques	Bosques
Cuerpos de agua	Cauces de ríos
Bancos de arena	
Agricultura tradicional	Sin bosques
Cultivos permanentes	
Matorrales y pastizales	
Suelo sin vegetación	
Área urbana	Área urbana
Institucional	

A.4.1.4 Mapas de las variables explicativas

Se obtuvo un mapa para cada una de las variables, pero algunos necesitaron ser completados. La siguiente tabla muestra una lista de cada mapa.

Tabla A-4: Listado de Mapas de las Variables Explicativas

Mapa	Fuente	Actualización
Centros poblados (pueblos, comunidades, barrios)	IGN, INE	1988 (parcial). Completado con la ortofoto del 2010
Red vial	--	Ortofoto 2010
Canales de agua	IGN	1970
Contorno de elevación	IGN	1970
Áreas bajo planes de manejo forestal	ICF	2013
Cuenca declarada	ICF	2013
Áreas protegidas	ICF	2013

A.4.1.4 Productos Cartográficos Intermedios

Todos los mapas fueron rasterizados con un tamaño de celda de 15 x 15 m. Para algunas variables explicativas, fue necesario calcular un mapa que se derivara de la primera, según se muestra en la siguiente TABLA.

Tabla A-5: Lista de mapas intermedios

Mapa Inicial	Mapa Intermedio
Centros poblados	Distancia a los centros poblados
Red vial	Distancia a las carreteras
Red vial	Distancia a las principales carreteras
Canales de agua	Distancia a los canales de drenaje
Contorno	Pendientes

Además de los mapas mencionados anteriormente, la distancia a los bosques, las áreas deforestadas, y a las zonas urbanas, se calcularon para cada modelo de iteración y para cada año, ya que estas distancias están cambiando la dinámica del uso de la tierra.

A.4.2 Taller de Validación

Se llevó a cabo un breve taller para validar las proyecciones de uso de la tierra y la obtención de insumos para mejorar la calibración de los resultados del modelo de simulación del uso de la tierra. El taller contó con la participación de 16 expertos locales, incluyendo representantes de la municipalidad de La Ceiba (GAM CODEM, UTM), SEPLAN, CREDIA, SANAA, USAID, Digta-SAG, CURLA, SERNA, CICH, UNICAH y UPNFM, además de la participación del representante del BID.

Durante el taller, se presentó la metodología utilizada en el estudio y los resultados preliminares; a continuación, se organizaron cuatro grupos y se les entregó mapas impresos del uso actual de la tierra y el uso proyectado para el año 2050; un mapa con las variables de conducción y otros materiales de instrucción que podrían ser utilizados para indicar los cambios en el mapa. Se pidió a los grupos poner a prueba la validez del uso de la tierra proyectado, y sugerir cambios que pudiesen aplicarse a las áreas específicas, nuevas variables a considerar, o variar el potencial de influencia de algunas variables en los cambios de conducción en el patrón de uso de la tierra.

Figura A-1: Breve Taller de Validación



A.5 Resultados preliminares

A.5.1 Tasas de Cambio en el Uso de la Tierra

Las tasas de cambio de uso de la tierra son las que definen el porcentaje de células “X” en uso para transformarse en un uso “Y” para el año siguiente. Se identificaron tres transiciones principales, como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla A-6: Tasas de Cambio en el Uso de la tierra

Transición		Tasa (%)
De	A	
Bosque	Deforestado	4.69
Deforestado	Bosque	5.89
Deforestado	Área urbana	0.35

Las tasas de variación siempre se ven afectadas por el nivel de detalle y la falta de correspondencia espacial. La comparación de los mapas de uso de la tierra tiende a sobreestimar las tasas; ya que se hace la comparación del cambio, de célula a célula (en este caso las células son 15 x 15 m). Sin embargo, cuando todas las células se consideran en la sobreestimación de la tasa de cambio “de X a Y”, es en cierta medida, compensada por la sobreestimación de la tasa de cambio de “Y a X”.

A.5.2 Independencia de variables

Sólo un par de las variables encontradas fueron correlacionados entre sí, para las tres transiciones: “Distancia a las carreteras principales/ distancia a las áreas urbanas”, por lo que la variable “distancia a las principales carreteras” fue eliminada por las transiciones “de bosque deforestado” y “bosque deforestado” y la variable, “distancia a las áreas urbanas” se eliminó de la transición, “desde área deforestada a área urbana”.

A.5.3 Modelo de Evaluación

El uso de la tierra para el año 2010 fue proyectado según un mapa de uso de la tierra del 2003. El uso de la tierra cambia en el mapa simulado y el mapa observado para el año 2010, el cual se evaluó utilizando escenas de ventanas que varían desde una célula a células de 15 x 15, ya que a veces los cambios no se producen en una célula dada, pero pueden ocurrir en las células vecinas. La correspondencia aumentó de un 43,8% cuando se usaron escenas de una célula, a un 70,1% con las escenas de células 15 x 15.

A.5.4 Proyecciones del uso de la Tierra para el 2050

Los resultados de las proyecciones del uso de la tierra, antes del taller, se presentan en los siguientes gráficos y mapas.



Figura A-3: Distribución Preliminar del Uso de la Tierra para el 2050, Cuenca del Río Cangrejal

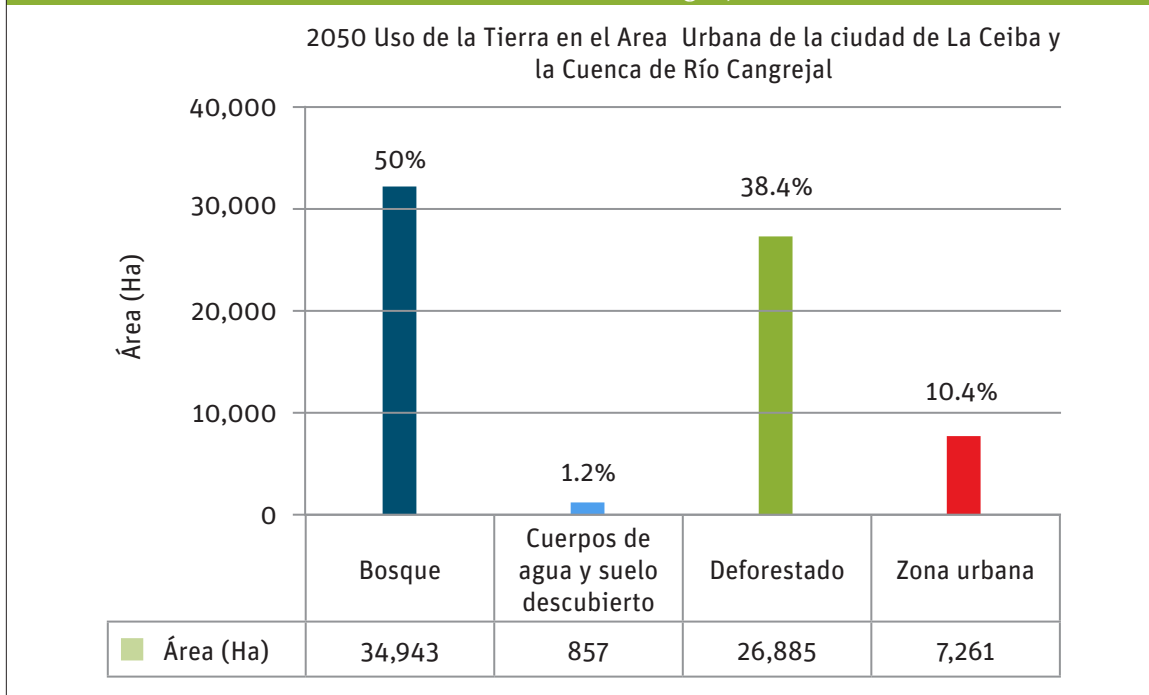
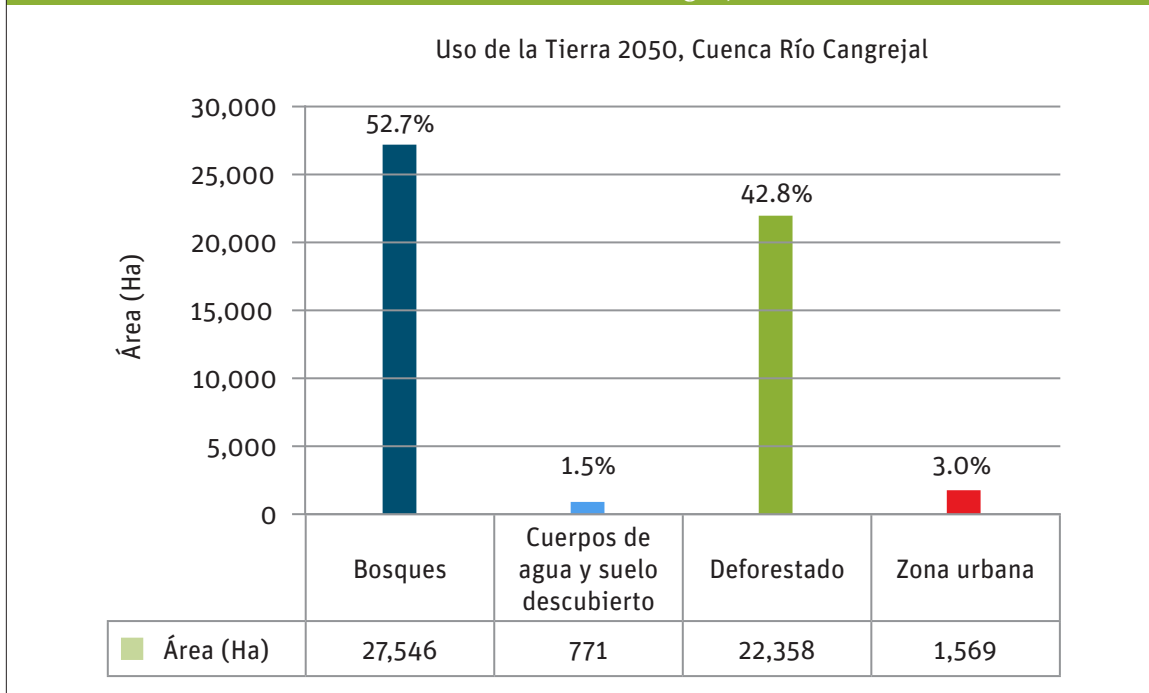
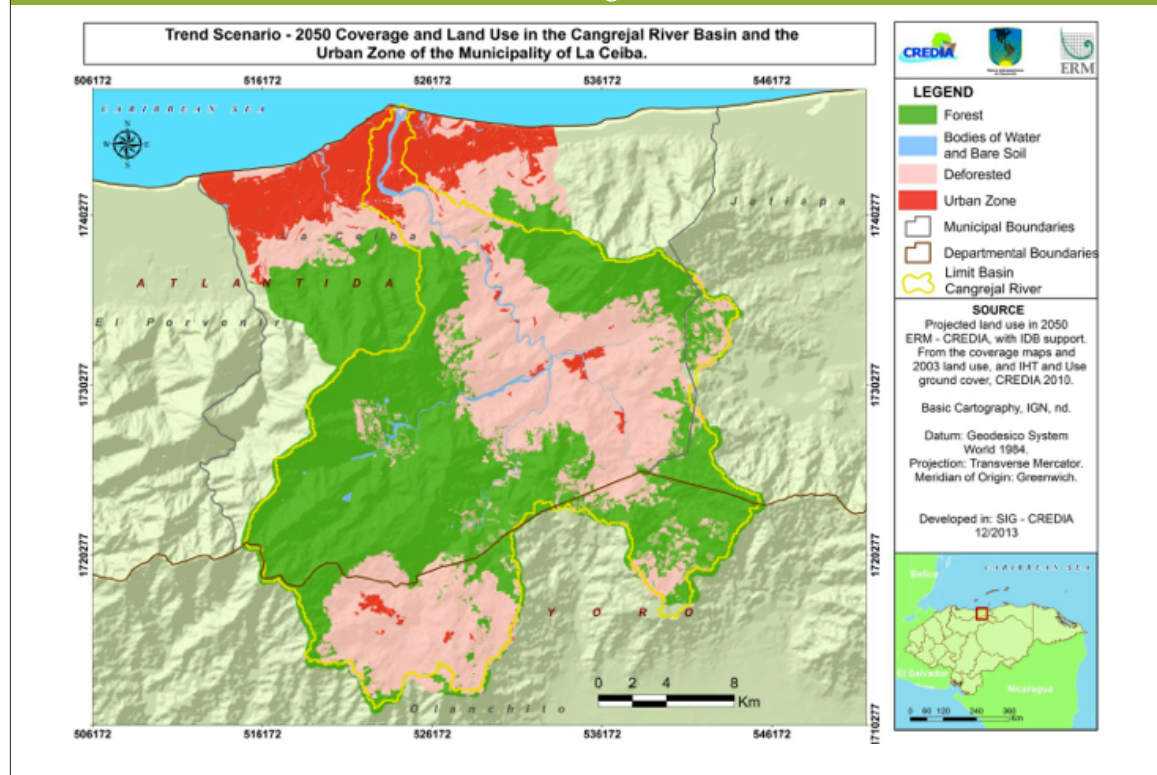


Figura A-3: Distribución Preliminar del Uso de la Tierra para el 2050, Cuenca del Río Cangrejal



Mapa A-1: Escenario Preliminar del Uso de la Tierra 2050 –en inglés–



A.6 Resultados del taller

En términos generales, el escenario preliminar del uso de la tierra para el año 2050 fue bien recibido. Los expertos locales expresaron que los resultados estuvieron en línea con sus expectativas, pero ofrecieron los siguientes elementos adicionales:

- Algunas de las partes interesadas indicaron que si no se toman medidas, entonces la tendencia a la deforestación podría aumentar aún más, mientras que otro grupo tuvo una visión más optimista, de que quizás las tendencias de deforestación podrían disminuir como resultado de todo el trabajo que se está llevando a cabo en la cuenca superior, incluyendo la reforestación y protección de las áreas forestadas.
- Se sugirieron variables adicionales, incluyendo dar razón de la inseguridad y violencia en algunos barrios ubicados en el lado oeste del Río Cangrejal. Se espera que este factor frene el crecimiento urbano en esas zonas. Por lo tanto, se ha desarrollado e integrado en el modelo, un mapa de seguridad con otras variables.
- Se sugirió también que el potencial de influencia del proyecto “Calle Ocho” a punto de ser desarrollado, necesitaba ser considerado. Este proyecto consiste en la pavimentación de una calle que corre paralela, desde el centro hasta el oeste, a la calle principal CA13. Este tramo de carretera fue integrado en la variable “distancia a las carreteras principales”.

- Teniendo en cuenta los aspectos relacionados con la permisología, éstos también fueron sugeridos como una variable adicional. Por ejemplo, no hay ordenanzas de zonificación aprobadas, ni una definición de lo que constituye el uso aceptable de una parcela de tierra. Los permisos son otorgados por lo general para la construcción y para verificar la tenencia de tierras, las restricciones y las áreas de riesgo. Estas son verificadas y determinadas en el campo, o mediante el conocimiento directo de los técnicos encargados. Por lo tanto, así se hace difícil poder incluir este aspecto.
- Por último, las partes interesadas también constataron que la agricultura en la parte superior de la cuenca del Río Cangrejal, está cambiando de agricultura de subsistencia a monocultivos, como el aceite de palma. Aunque esto mejoraría sustancialmente la economía familiar, también implicaría un cambio drástico en el equilibrio ecológico.

Durante este estudio, se abordaron diferentes partes interesadas de los varios sectores y sus opiniones fueron diferentes. Algunos dicen que hay iniciativas gubernamentales que están sobre la mesa para su discusión y que se basan en fomentar la producción del aceite de palma. Otros concluyen que este cultivo es muy perjudicial, ya que aumenta la deforestación. Incluso, otros han mencionado que hay muchas restricciones a la agricultura en las laderas y que el gremio del aceite de palma (palmeros) se encuentra en proceso de certificación de las plantaciones, que excluye a las zonas de ladera de la producción, como una medida para promover las zonas boscosas. A pesar de todas estas restricciones, los productores introdujeron estos cultivos en sus áreas de producción en el 2010. Por esta razón dejamos este punto en la mesa de discusión, y por lo tanto, este análisis no toma en cuenta las posibles tendencias relacionadas con la producción de aceite de palma.

- El peso dado a la zona protegida *Nombre de Dios*, se incrementó basado en las aportaciones de las partes interesadas; esto disminuiría la tasa de deforestación.
- Otra sugerencia fue la de eliminar la categoría de “área urbana” para todas las áreas que están distantes del centro de La Ceiba. Estas probablemente corresponden a los centros poblados rurales y deberían aparecer como “Deforestados”.
- Las partes interesadas también señalaron que algunos caminos habían desaparecido en la parte superior y media de la Cuenca del Río Cangrejal. Estos caminos fueron añadidos en su respectivo mapa de variables.

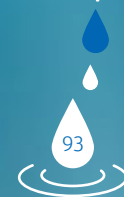
A.7 Resultados finales

A.7.1 Ajustes hechos al Modelo

Se hicieron cambios como resultados del taller, y de nuevo se llevó a cabo un proceso de evaluación del modelo, y así se pudo ver un aumento en el encaje (*model fit*) del modelo, presentando un ajuste (*setting*) del 49% para las ventanas de una célula, de hasta un 74,6% para las ventanas de células 15 x 15. Recordemos que la evaluación llevada a cabo, fue sólo para áreas que cambian de uso, y no para las áreas que permanecen sin cambios.

A.7.2 Tendencias Observadas

- La tendencia a la deforestación en los márgenes del río Cangrejal, es evidente y fuertemente influenciada por la carretera que corre paralela al río y a los asentamientos humanos que se extienden a lo largo de este camino.



- Otro resultado importante es que las secciones de bosque que se encontraban en las áreas deforestadas, han desaparecido.
- La reparación de la cobertura vegetal se incrementó dentro de las áreas protegidas y las áreas declaradas como cuencas hidrográficas protegidas.
- El desarrollo aumentó hacia el este y en menor medida hacia el oeste, ya que la parte este de la ciudad es más segura. También se observó que aparecieron asentamientos informales en el sur, dentro de la zona de amortiguamiento de los Parques Nacionales Nombre de Dios y Pico Bonito.
- Los siguientes gráficos y mapas desglosan los resultados finales del escenario base del uso de la tierra y la cobertura del suelo para el 2050.

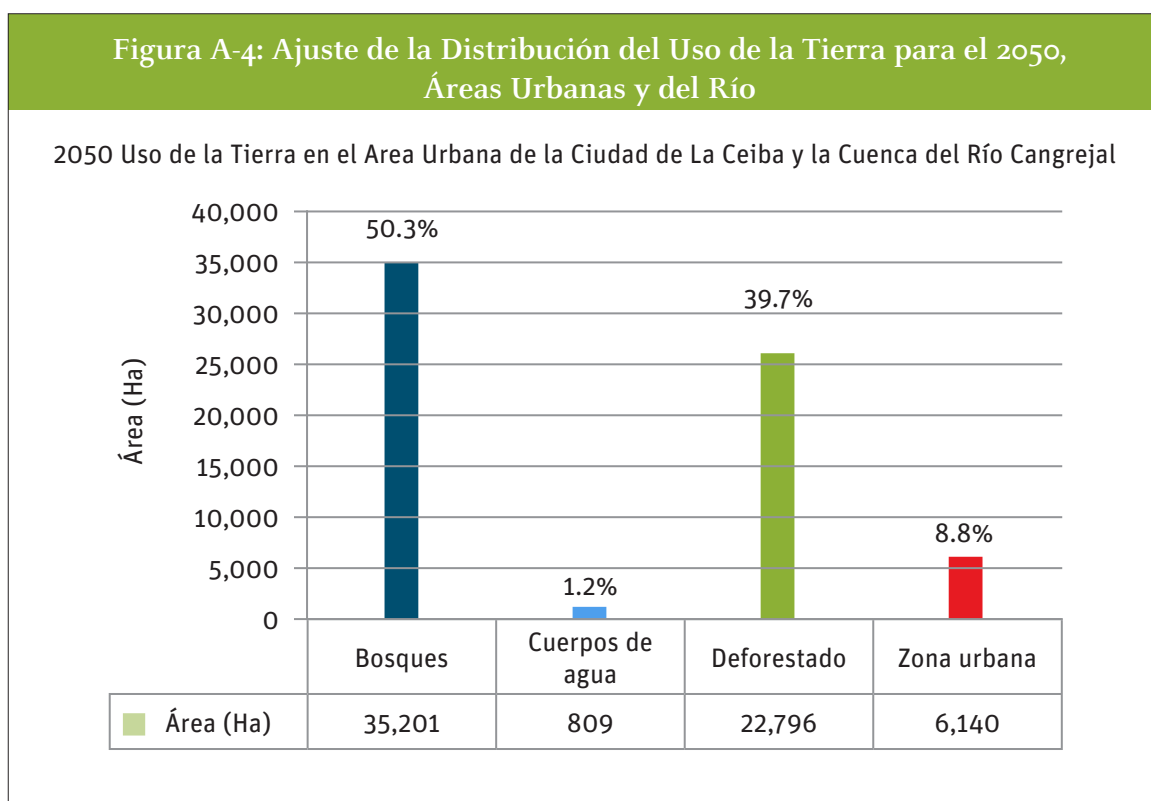
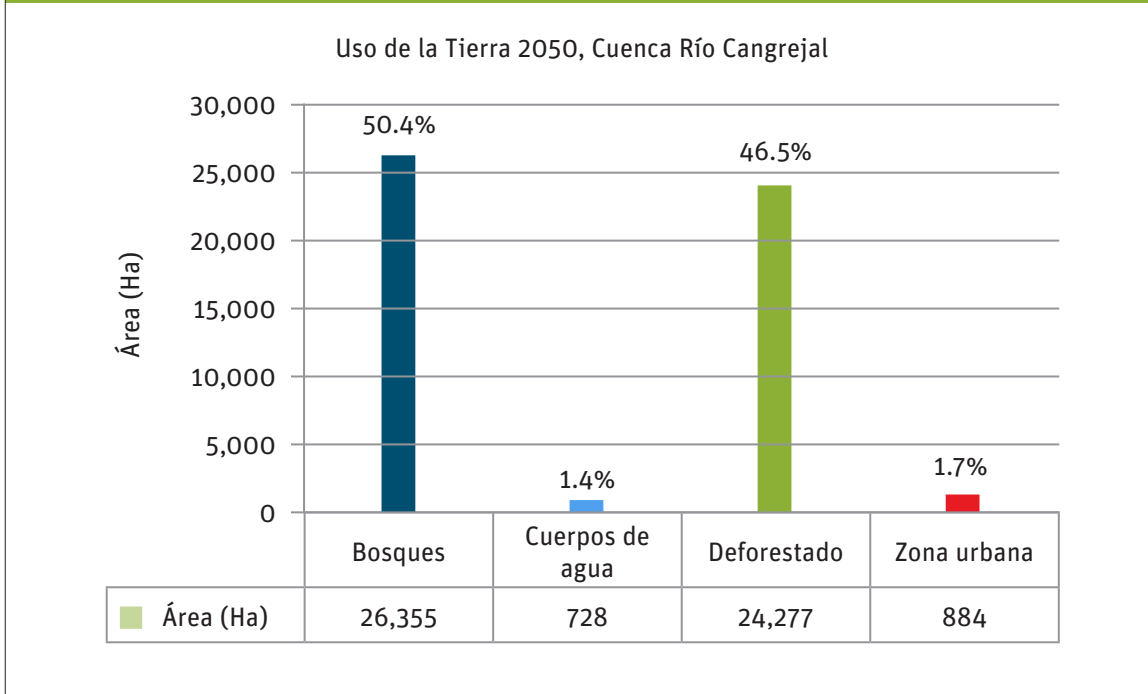
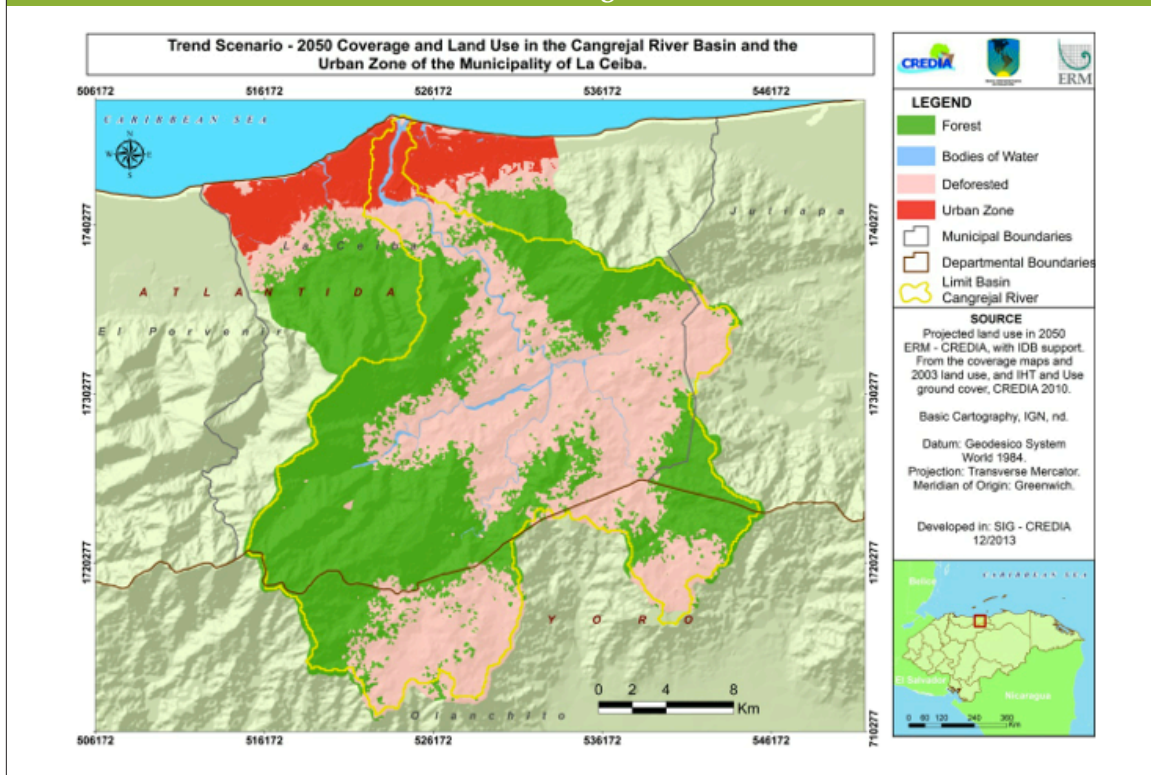


Figura A-5: Ajuste de la Distribución del uso de la tierra para el 2050, Cuenca del Río Cangrejal



Mapa A-2: Mapa del Ajuste del Uso de la tierra para el 2050
-en inglés-



Anexo B:

Selección del Escenario del Cambio Climático Futuro **Adaptación al Cambio Climático y Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en La Ceiba, Honduras**



B.0 Selección del escenario del cambio climático para La Ceiba

El enfoque y el alcance del proceso de adaptación se determinaron en gran medida por las proyecciones del clima futuro y los impactos previstos en los sistemas naturales y humanos. Cada vez más, hay disponibilidad de proyecciones climáticas regionales confiables, así como proyecciones a escala reducida que permiten predecir las variables climáticas esenciales (por ejemplo, temperatura, precipitación, intensidad de las tormentas) a escalas sub-regionales. En esta sección se describe el método utilizado para seleccionar las variables climáticas que conforman el futuro escenario del cambio climático asumidas en este caso de estudio.

En el 2010, el Ministerio de Energía, Recursos Naturales y Ambiente ⁸⁵(SERNA) de Honduras, publicó la Estrategia Nacional de Cambio Climático del país. Este documento contiene proyecciones climáticas para la planificación del horizonte 2050, bajo dos escenarios de gases de efecto invernadero (GEI). Un estudio⁸⁶ realizado por Argeñal (2010) documenta el uso del modelo climático V5.3 MAGICC / SCENGEN⁸⁷ para generar estas proyecciones.

MAGICC es un modelo climático unidimensional, que permite predecir los cambios en la temperatura media mundial y los cambios en el nivel del mar, en respuesta a los cambios en la concentración de GEI en la atmósfera. El módulo SCENGEN toma el output del modelo MAGICC, junto con un conjunto de modelos de circulación global⁸⁸, para pronosticar la precipitación, la temperatura y la presión atmosférica a una resolución espacial de 250 km. A continuación, el modelo PRECIS⁸⁹ se utilizó para reducir la escala de las proyecciones MAGICC / SCENGEN a una rejilla de resolución de 50 km.

Las proyecciones generadas por MAGICC y los modelos de circulación global escogidos y compilados de ocho (8) estaciones meteorológicas en toda Honduras, para el periodo 1961-1990, fueron tomados de datos históricos. Una de estas estaciones está ubicada en el Aeropuerto de La Ceiba. La información obtenida de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica) (ENEE) para la temperatura anual y la precipitación, complementaron los datos de la estación.

Las proyecciones de los modelos climáticos no se basan en un solo punto de vista del futuro, sino más bien en una serie de posibles escenarios de gases de efecto invernadero (GEI) comúnmente conocidos como SRES⁹⁰ (Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones). Estos escenarios consideran diferentes tendencias del desarrollo mundial para los próximos 100 años y están, en un sentido amplio, basados fundamentalmente en los supuestos de la población y el crecimiento económico. Hay cuatro familias de escenarios IE-EE, es decir, A1, B1, A2 y B2.

En la Estrategia Nacional de Cambio Climático, SERNA reconoció las proyecciones correspondientes a los escenarios de emisiones A2 y B2. El escenario A2 se construyó sobre la base del aumento continuo del crecimiento de la población y el desarrollo económico orientado regionalmente, mientras que el escenario B2 asume un crecimiento, continuo pero más lento, de la población y un cambio tecnológico más fragmentado. En este sentido, el escenario A2 representa una mayor tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero en relación con el B2, y por lo tanto, representa un escenario conservador.

⁸⁵. Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas (SERNA)

⁸⁶. Argeñal, F. (2010). *Variabilidad Climática y Cambio Climático en Honduras*. SERNA. PNUD.

⁸⁷. Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change (MAGICC). Spatial Climate-Change Scenario GENerator (SCENGEN).

⁸⁸. Veinte modelos de circulación global fueron evaluados y un subconjunto fue seleccionado en base al mejor encaje (fit) con la data observada. Los modelos que generaron las mejores predicciones de temperatura fueron: CCC1TR, CSI2TR, ECH4TR, GISSTR, HAD2TR, mientras que los que mejor reflejaron la temperatura fueron: CSI2TR, ECH3TR, ECH4TR, HAD2TR, y HAD3TR.

⁸⁹. Provee Climas Regionales para Estudios de Impacto

⁹⁰. The Special Report on Emissions Scenarios was developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 2001.



Basados en el análisis de los resultados del modelo MAGICC/SCENGEN, y posterior reducción de escala con PRECIS, se podría destacar lo siguiente en relación a las proyecciones para el horizonte de tiempo 2050:

- Se prevé que la temperatura media anual se incremente en 2 grados Celsius (°C) en las regiones del este y sur de Honduras, con valores más moderados a lo largo de la costa norte, que variarían desde 1.4 hasta 1.6°C para la región de La Ceiba;
- Los meses en los cuales se predijo un aumento mayor en las temperaturas fueron junio, julio y agosto;
- La diferencia en las proyecciones de temperatura entre los escenarios A2 y B2 fue de 0.2°C;
- Se prevé que la precipitación media anual disminuya en todo el país. A lo largo de la costa norte, este descenso en precipitación anual podría variar entre 10% y 25% para el 2050, con las mayores caídas que corresponderían a los meses de junio, julio y agosto.

Las proyecciones respaldadas por el gobierno cumplieron parcialmente con las necesidades de información requeridas para el proyecto, que también requerían proyecciones para el cambio en la intensidad de las precipitaciones y el cambio en el ascenso del nivel del mar. Estas variables adicionales son insumos esenciales para el modelo hidrológico realizado para el estudio de la cuenca del Río Cangrejal. ERM también llevó a cabo investigaciones adicionales para identificar las previsiones específicas para la región de La Ceiba, y recopilar los datos pertinentes a las condiciones asociadas a los fenómenos meteorológicos relacionados con las tormentas en el futuro, como los huracanes.

Como resultado de la revisión de la literatura, el estudio⁹¹ realizado por Smith et al. (2011) surgió como una fuente clave de información sobre las proyecciones correspondientes al ascenso del nivel del mar y las variables relacionadas con las tormentas (por ejemplo, la intensidad de la precipitación). Smith et al. También se basó en el modelo MAGICC/SCENGEN para generar las proyecciones del cambio de la temperatura media global, que luego se redujeron en escala para producir cambios estimados en la temperatura y la precipitación mensual a nivel regional

Las proyecciones de temperaturas para el 2050 variaron entre 1 y 2 °C, con un aumento medio de 1,5 °C, coherente con los resultados en el estudio Argeñal. En vista de este aumento proyectado de las temperaturas para el 2050, el aumento de la precipitación total durante eventos de lluvia intensos oscilaría entre el 6% y el 13% según un análisis basado en la información de dos estudios⁹² revisados por sus iguales (peer-review) publicados anteriormente. También se espera un aumento del 6 al 8% de la velocidad máxima del viento en los huracanes y un aumento del 17 al 25% en la precipitación (radio de 100 km del centro) de los huracanes para el año 2050.

Las proyecciones del ascenso del nivel del mar seleccionadas para este caso de estudio, se basaron en Cardini y Richards (2005), y citado por Smith et al. (2011): “ Las proyecciones del ascenso del nivel del mar para la región, muestran un aumento de 5 al 20 cm para el año 2025 y hasta de 60 cm para el año 2050 (con estimaciones medias de 12 cm para el año 2025 y de 20 cm para el 2050”.

Tomados en conjunto, los estudios por Argeñal (2010), Smith et al. (2011), Cardini y Richards (2005), y la Estrategia Nacional de Cambio Climático (SERNA, 2010), sirvieron de base para las proyecciones del cambio climático utilizadas en este caso de estudio. La TABLA B-1 resume el valor y la fuente seleccionada para cada variable de cambio climático.

⁹¹ Smith et al., 2011.

⁹² K. E. Trenberth et al. (2003). *The Changing Character of Precipitation*. Bulletin of the American Meteorological Society. Issue 84, 1205; and Knutson TR, Tuleya RE (2004). *Impact of CO₂-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: Sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization*. Journal of Climate, Vol. 17, Number 18, Pag. 3477–3495.



Tabla B-1: Proyecciones del Cambio Climático Seleccionadas

Parámetro	Proyección	Fuente
Temperatura	1.5 °C Aumento	Consecuente con las proyecciones medias por Argeñal (1.4-1.6°C) y Smith et al (1-2°C).
Precipitación Total (sólo eventos relacionados con las tormentas)	14% Aumento	Argeñal indica una disminución general en la precipitación. Smith et al. concluye un aumento en la precipitación asociado con eventos de tormenta
Intensidad de Precipitación	13% Aumento	Smith et al. concluye un aumento en la intensidad de la lluvia debido a eventos de corta duración como los huracanes
Velocidad del Viento	8% Aumento	Smith et al., 2011.
Nivel del Mar	0.60 m Aumento	La proyección refleja un valor más conservador, estimado por Cardini y Richards (2005), según citado en Smith et al., 2011.

Nota: Proyecciones relativas a 1990.

