



**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
VICERECTORIA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN
MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
DEPARTAMENTO DE SUELOS Y AGUA**

**“EVALUACIÓN DE LA AMENAZA AL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR
COMO CONSECUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO A TRAVÉS DE LA
POSIBLE INUNDACIÓN PERMANENTE Y EXTREMA EN ÁREAS COSTERAS
DE COSTA ABAJO DE COLÓN, PROVINCIA DE COLÓN, REPÚBLICA DE
PANAMÁ”**

POR:

LUZ NEYLA MEDINA ARDILA

CIP: 8-927-2070

**TESIS DE MAESTRÍA PRESENTADA COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA
OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS
EN MANEJO DE SUELOS Y AGUAS**

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ
2025**

APROBACIÓN
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN
MANEJO DE SUELOS Y AGUAS

LUZ NEYLA MEDINA ARDILA

CIP: 8-927-2070

**“EVALUACIÓN DE LA AMENAZA AL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR
COMO CONSECUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO A TRAVÉS DE LA
POSIBLE INUNDACIÓN PERMANENTE Y EXTREMA EN ÁREAS COSTERAS
DE COSTA ABAJO DE COLÓN, PROVINCIA DE COLÓN, REPÚBLICA DE
PANAMÁ”**

COMITÉ EVALUADOR:

PROF.

Dr. Carlos Him González
DIRECTOR

PROF.

Mgtr. Noé Aguilar
ASESOR

PROF.

Mgtr. Amilcar Beitia
ASESOR

PROF.

Mgtr. Leanne Urriola
COORDINADOR DE LA
MAESTRÍA

Panamá, República de Panamá

2025

ÍNDICE DE CONTENIDO

ABREVIATURAS.....	viii
1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
3.2. ANTECEDENTES	5
3.3. JUSTIFICACIÓN	12
3.4. OBJETIVOS	13
3.4.1. Objetivo general.....	13
3.4.2. Objetivos específicos	13
3.5. HIPÓTESIS.....	14
3.6. ALCANCES Y LIMITACIONES	15
4. REVISIÓN DE LITERATURA	17
4.1. Climatología de Panamá	17
4.1.1. Fenómenos de variabilidad climática interanual.....	18
4.1.2. Fenómenos meteorológicos-oceánicos extremos.....	19
4.2. Dinámicas marinas en Panamá	19
4.2.1. Oleaje	19
4.2.2. Nivel del mar.....	20
4.3. Inundación costera	21
4.3.1. Inundaciones permanentes	21
4.3.2. Inundaciones extremas.....	22
4.4. Conceptos clave	22
4.5. Cambio climático y aumento del nivel del mar	23
4.5.1. Proyecciones del nivel del mar en Panamá.....	27
5. Impactos socioeconómicos y ambientales debido al ascenso del nivel del mar ...	29
6. Desafíos y oportunidades en la gestión costera	30
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33

7.1.	Ubicación del área de estudio	33
7.2.	Metodología para la generación de escenarios de ascenso del nivel del mar a nivel nacional	34
7.3.	Metodología para evaluar la amenaza del ascenso del nivel del mar a través de la posible inundación permanente y extrema en las costas de Costa Abajo de Colón..	36
7.3.1.	Parámetros del análisis de ascenso del nivel del mar	37
7.3.2.	Pasos de la metodología.....	38
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
8.1.	Visualización y análisis de datos geoespaciales	44
8.2.	Análisis específico de comunidades prioritarias en riesgo	46
8.3.	Evaluación del impacto	50
8.4.	Trabajo de campo.....	69
8.5.	Clasificación de niveles de riesgo.....	83
8.6.	Análisis general del impacto por ascenso del nivel del mar	85
8.7.	Generación de recomendaciones.....	87
9.	CONCLUSIONES	90
10.	RECOMENDACIONES.....	92
6.	BIBLIOGRAFÍA	93
7.	ANEXOS	100

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Lugares poblados costeros con exposición directa a la inundación por ascenso del nivel del mar, en la Costa Abajo de Colón.....	45
Cuadro 2	Ficha técnica de recopilación de información en Miguel de la Borda	69
Cuadro 3	Ficha técnica de recopilación de información en Gobeá.....	75
Cuadro 4	Ficha técnica de recopilación de información en Salud.....	79
Cuadro 5	Valores de ascenso del nivel del mar por comunidad	83
Cuadro 6	Nivel de riesgo para la inundación extrema proyectadas al 2050, escenario SSP5-8.5, confianza media y período de retorno de 50 años.....	84
Cuadro 7	Nivel de riesgo para la inundación permanente proyectadas al 2050, escenario SSP5-8.5, confianza media y período de retorno de 50 años.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proyecciones de aumento del nivel del mar publicados en el AR5 (líneas negras) y en el AR6 (líneas azules y rojas).....	27
Figura 2 Mapas de aumento del nivel medio del mar (SLR) en el año 2100, para los escenarios de estabilización media (izquierda) y de altas emisiones (derecha).....	28
Figura 3 Ubicación de los corregimientos Miguel de la Borda, Gobeá y Salud en la provincia de Colón, Panamá.	34
Figura 4 Distribución de lugares poblados potencialmente expuestos a inundación extrema y permanente en la Costa Abajo de Colón al año 2050, bajo el escenario climático SSP5-8.5 con cuantil 50, confianza media y período de retorno de 50 años	44
Figura 5 Proyección de inundación costera por ascenso del nivel del mar en Miguel de La Borda.....	47
Figura 6 Proyección de inundación costera por ascenso del nivel del mar en Gobeá	48
Figura 7 Proyección de inundación costera por ascenso del nivel del mar en Salud.....	49
Figura 8 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Boscosas con inundación permanente en Miguel de La Borda.....	50
Figura 9 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación permanente en Miguel de La Borda.....	51
Figura 10 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación permanente en Miguel de La Borda	53
Figura 11 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Boscosas con inundación extrema en Miguel de La Borda.....	54
Figura 12 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación extrema en Miguel de La Borda.....	55
Figura 13 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación extrema en Miguel de La Borda.....	56
Figura 14 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Boscosas con inundación permanente en Gobeá.....	57
Figura 15 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación permanente en Gobeá	58
Figura 16 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación permanente en Gobeá	59
Figura 17 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Boscosas con inundación extrema en Gobeá.....	60

Figura 18 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación extrema en Gobe	61
Figura 19 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación extrema en Gobe	62
Figura 20 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Bosc	63
Figura 21 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación permanente en Salud	64
Figura 22 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación permanente en Salud	65
Figura 23 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Bosc	66
Figura 24 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación extrema en Salud	67
Figura 25 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación extrema en Salud	68
Figura 26 Área inundable entre la orilla del mar y las infraestructuras. Se observa nula protección de barreras verdes	71
Figura 27 Zona inundada a orilla de la costa con viviendas en el fondo. Se observa nula protección de barreras verdes	71
Figura 28 Bohíos cercanos a zona inundada	71
Figura 29 Iglesia situada cerca de áreas de inundación	71
Figura 30 Infraestructura del Tribunal Electoral, elevada sobre pilotes, como una medida preventiva frente a eventos de inundación, situado a orilla de la zona de playa	72
Figura 31 Infraestructura del SINAPROC en condición de abandono	72
Figura 32 Modulares de atención médica del Ministerio de Salud situado a orilla de la zona de playa	72
Figura 33 Órgano Judicial situado a orilla de la zona de playa	72
Figura 34 Procuraduría de la Nación en proceso de construcción a orilla de la zona de playa	73
Figura 35 Socavación costera en la vía entre Miguel de La Borda y Gobe	76
Figura 36 Evaluación de la socavación costera, medición y toma de coordenadas	76
Figura 37 Protección vial con material rocoso	76
Figura 38 Cementerio de Gobe	76
Figura 39 Escuela y viviendas en Gobe situado a orilla de la playa	77
Figura 40 Ministerio de Salud de Gobe	77

Figura 41 Protección con gaviones en la orilla del río Gobeá	77
Figura 42 Poca vegetación ribereña en el río Gobeá	77
Figura 43 Escuela de Salud.....	79
Figura 44 Junta comunal e Infoplaza	79
Figura 45 Río Salud y espacio de pequeñas embarcaciones	80
Figura 46 Centro de Recreación de Salud - Turismo.....	80
Figura 47 Desembocadura del río Indio hacia el mar Caribe	82
Figura 48 Viviendas ubicadas a orillas del río Indio en el área poblada	82
Figura 49 Intervención comunitaria para restablecer el flujo del río hacia el mar ante obstrucción en la desembocadura	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Listado de lugares poblados potencialmente expuestos a inundación extrema y permanente en la Costa Abajo de Colón al año 2050, bajo el escenario climático SSP5-8.5 con cuantil 50, confianza media y período de retorno de 50 años	100
Anexo 2 Mapa de visita de campo en Miguel de La Borda.....	104
Anexo 3 Mapa de visita de campo en Salud	104
Anexo 4 Mapa de visita de campo en Gobeá.....	105

ABREVIATURAS

AR5	Quinto Informe de Evaluación del IPCC
AR6	Sexto Informe de Evaluación del IPCC
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
ENSO	El Niño-Oscilación del Sur (El Niño-Southern Oscillation)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIA	Ajustes Isostáticos Glaciales (Glacial Isostatic Adjustment)
GMSL	Nivel Medio del Mar Global (Global Mean Sea Level)
IHCantabria	Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)
MiAMBIENTE	Ministerio de Ambiente de Panamá
NHC	National Hurricane Center (Centro Nacional de Huracanes)
ONU	Organización de las Naciones Unidas
RCP	Trayectorias de Concentración Representativas (Representative Concentration Pathways)
RCP2.6	Escenario de bajas emisiones, en el que se implementan medidas agresivas de mitigación del cambio climático, resultando en un aumento de temperatura global de $\approx 1.5^{\circ}\text{C}$ para 2100.
RCP4.5	Escenario de emisiones intermedias con estabilización de emisiones a mediados del siglo XXI, proyectando un aumento de temperatura de $\approx 2.4^{\circ}\text{C}$ para 2100.
RCP6.0	Escenario intermedio-alto donde las emisiones continúan aumentando hasta mediados del siglo XXI, con estabilización posterior, proyectando un aumento de $\approx 3^{\circ}\text{C}$ para 2100.
RCP8.5	Escenario de altas emisiones sin medidas de mitigación, lo que lleva a un aumento de $\approx 4.3^{\circ}\text{C}$ para 2100.
SSP	Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (Shared Socioeconomic Pathways)
SSP1-1.9	Escenario de muy bajas emisiones, basado en un desarrollo sostenible con reducción rápida de emisiones y neutralidad de carbono antes de 2050.
SSP1-2.6	Escenario de bajas emisiones, con reducción progresiva de emisiones y sostenibilidad global moderada.
SSP2-4.5	Escenario de emisiones intermedias, con desarrollo desigual y esfuerzos moderados en mitigación.
SSP3-7.0 –	Escenario de altas emisiones, con un desarrollo fragmentado y sin políticas climáticas coordinadas.
SSP5-8.5	Escenario de emisiones muy altas, con un modelo de crecimiento económico impulsado por el uso intensivo de combustibles fósiles.
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical

1. RESUMEN

El ascenso del nivel del mar constituye una de las amenazas derivadas del Cambio Climático. Los efectos sobre los asentamientos humanos y los ecosistemas costeros son ya evidentes en el país. El estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto potencial del ascenso del nivel del mar proyectado al 2050. Utilizando el escenario Climático SSP5-8.5 del IPCC, sobre tres comunidades prioritarias: Miguel de La Borda, Gobeá y Salud de la Costa Abajo de Colón. Se realizó un análisis geoespacial de datos de elevación, proyecciones de inundación permanente y extrema, elaborados a partir de modelos oceanográficos e información temática sobre uso del suelo, infraestructura, cobertura boscosa, áreas agrícolas e infraestructuras. Se emplearon herramientas SIG (ArcGIS Pro), para delimitar las zonas afectadas, identificar áreas expuestas y cuantificar el impacto físico-espacial. La evaluación incorporó capas provistas por el Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República. Adicionalmente se incorporaron observaciones de campo para documentar las condiciones actuales de los sitios. Los resultados indican que las tres comunidades presentan niveles de riesgo similares, con proyecciones de inundación permanente entre 0.52 y 0.53 metros y de inundación extrema entre 0.64 y 1.73 metros. Se estimó una afectación significativa sobre las áreas pobladas, la infraestructura vial, zonas agrícolas, ecosistemas costeros incluyendo bosques secundarios, pastos y rastrojos. El estudio concluye que el ascenso del nivel del mar constituye una amenaza creciente y multifactorial que afectará no solo la infraestructura y el entorno natural, sino también la seguridad alimentaria y los medios de vida rural y costero. Se resalta la necesidad de integrar estos resultados a los instrumentos de planificación territorial para promover medidas de adaptación y fortalecer la resiliencia comunitaria y productiva.

Palabras clave: ascenso del nivel del mar, adaptación, cambio climático, inundación permanente, inundación extrema, riesgo climático, Colón, ArcGIS, Panamá.

2. ABSTRACT

Sea level rise constitutes one of the threats derived from Climate Change. The effects on human settlements and coastal ecosystems are already evident in the country. The study aimed to assess the potential impact of sea level rise projected for 2050, using the IPCC's Climate Scenario SSP5-8.5, on three priority communities: Miguel de La Borda, Gobeá, and Salud in the Costa Abajo region of Colón.

A geospatial analysis was conducted using elevation data, projections of permanent and extreme flooding developed from oceanographic models, and thematic information on land use, infrastructure, forest cover, agricultural areas, and other facilities. GIS tools (ArcGIS Pro) were employed to delineate affected zones, identify exposed areas, and quantify the physical-spatial impact. The assessment incorporated datasets provided by the Ministry of Environment and the Office of the Comptroller General of the Republic. Additionally, field observations were included to document current site conditions.

The results indicate that the three communities present similar levels of risk, with projections of permanent flooding between 0.52 and 0.53 meters, and extreme flooding between 0.64 and 1.73 meters. A significant impact was estimated on populated areas, road infrastructure, agricultural zones, and coastal ecosystems, including secondary forests, grasslands, and scrublands.

The study concludes that sea level rise represents a growing and multifactorial threat that will affect not only infrastructure and the natural environment but also food security and rural and coastal livelihoods. It highlights the need to integrate these results into territorial planning instruments to promote adaptation measures and strengthen community and productive resilience.

Keywords: sea level rise, adaptation, climate change, permanent flooding, extreme flooding, climate risk, Colón, ArcGIS, Panama.

3. INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa una de las principales amenazas globales del siglo XXI, con impactos directos sobre territorios costeros debido al ascenso progresivo del nivel del mar. En Panamá, cuya geografía costera es amplia y diversa, esta amenaza se vuelve particularmente relevante para las comunidades asentadas en zonas bajas. La presente investigación surge ante la necesidad de identificar, cuantificar y comprender cómo el ascenso del nivel del mar podría afectar comunidades vulnerables, con el fin de apoyar procesos de planificación, adaptación y reducción del riesgo climático.

Esta tesis se centra en el análisis de tres comunidades de la provincia de Colón, como Miguel de La Borda, Gobeia y Salud, seleccionadas por su alta exposición potencial, evidenciada en los resultados preliminares de capas de inundación proyectadas, así como por observaciones realizadas en visitas de campo. El objetivo general fue evaluar el impacto potencial del ascenso del nivel del mar sobre estas localidades al año 2050, considerando tanto eventos de inundación permanente como extrema, en un escenario de alta emisión (SSP5-8.5).

Para ello, se integraron herramientas de análisis geoespacial mediante el software ArcGIS Pro, utilizando datos oficiales como las capas de división político-administrativa, lugares poblados, infraestructura, cobertura de bosques y uso del suelo. A partir de estos insumos, se realizaron recortes, intersecciones y conversiones ráster-vector para calcular superficies y elementos afectados. Asimismo, se clasificaron los niveles de riesgo e impacto mediante criterios cuantitativos.

La relevancia de este estudio radica en que ofrece una aproximación técnica y práctica al problema de la amenaza por ascenso del mar en Panamá, generando información territorial útil para el desarrollo de planes de adaptación, ordenamiento costero y políticas públicas orientadas a la resiliencia climática.

3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático se ha convertido en una de las mayores preocupaciones a nivel global, afectando tanto a la naturaleza como a las comunidades que dependen de ella. Uno de los efectos más preocupantes es el ascenso del nivel del mar, un fenómeno que pone en riesgo la integridad de las zonas costeras alrededor del mundo. Según la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Panamá (2018), indica que los datos de mareógrafos en Puerto Colón (Cristóbal) el nivel medio del mar aumentó 1.4 mm por año durante el periodo 1909 y 1979. Esto implica un aumento de casi 10 cm para esos 70 años. De igual manera, resultados por datos satelitales para el periodo 1992-2012, indican un aumento de 1.8 mm por año, lo que es equivalente a 3.65 cm de aumento total para este último periodo. En ese sentido, se identifica un mayor nivel de exposición y vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en sitios como la Región Caribe Occidental de Panamá, particularmente el Archipiélago de Bocas del Toro y la Costa Abajo de Colón. De igual manera, la Cuarta Comunicación Nacional sobre Cambio Climático del Ministerio de Ambiente (2023), reafirma el alto impacto que tendrá el ascenso del nivel del mar hacia el año 2050.

El aumento del nivel del mar debido al cambio climático representa una seria amenaza para Costa Abajo de Colón, no solo por la pérdida de territorio, sino también por el impacto directo en las comunidades que dependen de estos espacios para su subsistencia. Esta región es especialmente vulnerable debido a su ubicación, la fragilidad de sus ecosistemas y la presencia de asentamientos costeros expuestos a inundaciones. Las proyecciones para el año 2050 son preocupantes, actividades clave como el turismo, la pesca y el comercio marítimo están en riesgo, y muchas familias podrían verse obligadas a dejar sus hogares. Además, la falta de información precisa sobre la magnitud de los impactos y las áreas más críticas dificulta la toma de decisiones y la implementación de soluciones efectivas para proteger a estas comunidades y garantizar su futuro frente al cambio climático.

3.2. ANTECEDENTES

En los últimos años, distintos estudios han analizado cómo el aumento del nivel del mar está afectando a Panamá, explorando sus consecuencias en diversas regiones y contextos. A continuación, se detallan algunos de estos estudios y sus hallazgos.

El artículo titulado **“El cambio climático y su proyección sobre el nivel del mar en la costa del Pacífico de Panamá (2008)”**, realizado por *Bogdan Kwiecinski* y *Luis D'Croz*, tuvo como objetivo analizar las tendencias históricas del nivel del mar en la costa del Pacífico panameño y proyectar su incremento hacia finales del siglo XXI. Se

procesaron más de 90 años de datos del nivel del mar registrados en el Puerto de Balboa (1909-1998). Se analizaron tendencias y anomalías del nivel del mar en periodos de 20 años mediante regresión lineal y modelos estadísticos. Entre los principales resultados se obtuvo que, durante el siglo XX, el nivel del mar en el Pacífico panameño aumentó aproximadamente 20 cm, se proyecta un incremento de hasta 55 cm para finales del siglo XXI y que los eventos extremos podrían exacerbar este incremento, llegando a 1 metro en escenarios críticos.

El informe titulado "**Monitoring Sea Level Rise in Panama**" (2011), liderado por *Claudia Atomei* en colaboración con el *Smithsonian Tropical Research Institute (STRI)*, analizó las tendencias del cambio del nivel del mar en Panamá utilizando datos de mareógrafos en seis estaciones costeras distribuidas en el Caribe y el Pacífico. El estudio empleó datos de mareógrafos provenientes de tres fuentes: el Programa de Monitoreo Físico del STRI (Bocas del Toro y Colón), el Joint Archive for Sea Level (JASL) y el Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL). Los datos abarcaron periodos históricos y recientes, desde 1907 hasta 2010, y fueron sometidos a análisis de regresión para identificar tendencias en el nivel del mar. También se analizaron los eventos extremos tomando los valores más altos registrados mensualmente en Bocas del Toro y Galeta. En la costa del Atlántico, todas las estaciones mostraron un aumento significativo en el nivel del mar, consistente con las tendencias globales proyectadas por el IPCC. En la costa del Pacífico, dos estaciones mostraron un aumento en el nivel del mar, mientras que una (Puerto Armuelles) presentó una ligera disminución. Los eventos extremos mostraron un incremento en su magnitud en ambas estaciones

analizadas del Atlántico (Bocas del Toro y Galeta). El estudio evidenció patrones de cambio que sugieren una aceleración reciente en la subida del nivel del mar en Panamá.

La investigación "**Evaluación del impacto del cambio climático en Guna Yala**" (2018) fue realizada como parte de un esfuerzo interdisciplinario para evaluar la vulnerabilidad de las islas de esta comarca frente al ascenso del nivel del mar, por el Ministerio de Ambiente en el marco de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. En el estudio se emplearon datos de sensores remotos, modelos climáticos del IPCC y encuestas a comunidades indígenas para evaluar la pérdida de playas y el impacto socioeconómico del cambio climático en Guna Yala. El estudio concluyó que varias islas están en riesgo de desaparición debido a la transgresión marina. Se recomendó la reubicación de comunidades indígenas y la implementación de planes de adaptación culturalmente sensibles.

La evaluación del impacto del cambio climático en Guna Yala constituyó el punto de partida para los análisis sobre desplazamientos asociados al ascenso del nivel del mar. El desplazamiento climático o movilidad climática, se entiende como el movimiento de personas dentro de un territorio debido a los efectos del cambio climático, incluyendo eventos y procesos ambientales tanto repentinos como de evolución lenta, que pueden ocurrir de manera aislada o en combinación con otros factores. En Panamá, se han documentado tres casos de desplazamiento climático: **Gardi Sugdub**, cuya población fue trasladada a tierra firme, conformando la nueva comunidad denominada *Isberyala*. **Paso Ancho**, en Chiriquí, afectada por los huracanes Eta e Iota. **La Solución**, en Isla Colón, Bocas del Toro, desplazada debido a inundaciones costeras.

El estudio titulado "**Análisis de aumento del nivel del mar en Isla Colón, Bocas del Toro**" (2021), realizado por *Ciniglio, Machado, Vallarino y Grajales Saavedra*, tuvo como objetivo principal evaluar los impactos del ascenso del nivel del mar en Isla Colón mediante la generación de mapas georreferenciados de áreas vulnerables proyectados para los años 2050, 2080 y 2110. Se utilizaron datos georreferenciados obtenidos del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, analizados y procesados mediante el software Civil 3D para modelar proyecciones de inundación en la isla. Además, se llevaron a cabo encuestas sociales a 300 habitantes para medir la percepción pública sobre el ascenso del nivel del mar y concienciar a la población sobre la vulnerabilidad de la isla. Algunos de los resultados son: Proyección 2050: Un aumento de 10 cm del nivel del mar afectaría principalmente las zonas costeras, incluidas Playa Boca del Drago, Playa Estrella y áreas hoteleras. Proyección 2080: Con un aumento de 20 cm, se preveía que la inundación afectaría áreas residenciales y turísticas clave, incluidas partes del aeropuerto internacional. Proyección 2110: Un aumento de 30 cm impactaría significativamente la conexión terrestre de la isla y comprometería infraestructuras críticas. El análisis de encuestas reveló un conocimiento limitado sobre el tema entre los habitantes, aunque con un alto nivel de interés por participar en planes de mitigación y adaptación. Este estudio proporcionó herramientas prácticas para la planificación territorial y la gestión de riesgos en Isla Colón.

La investigación sobre "**Determinación de riesgos de desastres e incidencia del cambio climático en la comunidad de Punta Chame, Panamá**" (2022), elaborado por *Jenny M. Guevara T., Abdiel I. Douglas, Karina García-Maraña, Yesenia Barria*, tuvo

como objetivo principal evaluar los riesgos de desastres relacionados con el cambio climático en Punta Chame, Panamá. Se utilizaron entrevistas semiestructuradas con actores clave de la comunidad, junto con la Herramienta Rápida de Estimación de Riesgo (QRE) de la ONU, para identificar amenazas, vulnerabilidades y capacidades locales. Las principales amenazas fueron identificadas como erosión costera, inundaciones, marejadas y vendavales. La herramienta QRE posicionó a los incendios como el mayor riesgo debido a la gran cantidad de vegetación y estrés hídrico en la región. Se elaboró un plan piloto de adaptación climática para aumentar la resiliencia comunitaria frente a estos riesgos. El estudio destaca la necesidad de planes locales de gestión de riesgos y adaptación al cambio climático en comunidades vulnerables.

El estudio titulado **"Estudio del Cambio del Nivel del Mar en la Dinámica Costera de Punta Chame"** (2024) fue realizado por *Ricardo Augusto Domínguez Álvarez* y *Ariel Aizpurúa*, en colaboración con la Universidad Tecnológica de Panamá y ESRI Panamá. Su objetivo principal fue analizar el impacto del ascenso del nivel del mar en las líneas costeras de Punta Chame, Panamá, utilizando herramientas de geoprocésamiento como el software ArcGIS Pro y datos de imágenes satelitales. Se utilizó un enfoque cuantitativo y experimental basado en la comparación de imágenes satelitales tomadas entre 2003 y 2023. Estas imágenes, provenientes de los programas Landsat y Sentinel-2, fueron procesadas para identificar cambios en la línea costera mediante la herramienta de análisis de diferencias simétricas (Symmetric Difference Analysis) de ArcGIS Pro. Los resultados revelaron una significativa transgresión marina, con una erosión del 16 % en las costas nororientales y del 84 % en las

suroccidentales de Punta Chame. Estas cifras resaltan la vulnerabilidad de la región ante el ascenso del nivel del mar, especialmente en áreas de baja elevación. El estudio concluyó que, de no implementarse medidas de monitoreo y mitigación, las costas de Punta Chame podrían experimentar daños irreparables, amenazando tanto a la biodiversidad como a las comunidades locales. Este estudio subrayó la necesidad de implementar estaciones de monitoreo en tiempo real en las costas panameñas, así como políticas públicas orientadas a la adaptación al cambio climático. Además, demostró la eficacia del software ArcGIS Pro para el análisis de la dinámica costera y la proyección de riesgos.

El proyecto **"Dinámicas Marinas en Panamá" (2024)**, liderado por el Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE) y el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria, España), abarcó un estudio integral sobre el impacto del ascenso del nivel del mar en las costas panameñas. El estudio recopiló datos históricos sobre dinámicas marinas y utilizó proyecciones climáticas del IPCC para modelar escenarios futuros. Se generaron mapas de riesgo costero basados en datos geoespaciales y observaciones in situ. Además, se emplearon modelos de simulación para estimar el ascenso del nivel del mar bajo diferentes escenarios climáticos. Entre los principales hallazgos, se proyectó un aumento del nivel del mar de 0.27 metros en el Caribe y 0.19 metros en el Pacífico para el año 2050 bajo un escenario optimista. También se identificaron zonas críticas como Isla Carenero, Changuinola, Bastimento (Bocas del Toro), Boca Chica y Pedregal (Chiriquí), así como las islas de la comarca Guna Yala. El estudio propuso medidas de adaptación como infraestructura resiliente,

soluciones basadas en la naturaleza y reubicación de comunidades en riesgo. Este proyecto aportó herramientas fundamentales para la gestión costera en Panamá, como bases de datos y mapas de riesgo costero.

El estudio titulado **“Impactos del Aumento del Nivel del Mar en Costas Panameñas” (2024)**, elaborado por *Carlos Gordón*, tuvo el objetivo de analizar los impactos proyectados del aumento del nivel del mar en Panamá, con un enfoque en las áreas más vulnerables, evaluando las afectaciones en ecosistemas, infraestructura y usos del suelo para el año 2050. El análisis empleó datos de MiAMBIENTE y herramientas geoespaciales del Observatorio de Riesgo Urbano de Florida State University (FSU) y ESRI Panamá. Se incluyeron mapas de cobertura boscosa y uso de suelo, edificaciones existentes y proyecciones de inundación costera basadas en el escenario climático SSP5-8.5. Entre los principales resultados se estima que aproximadamente 232,000 hectáreas, equivalentes al 3 % de la superficie total del país, estarán afectadas para 2050. Para la provincia de Panamá serían 44,300 hectáreas, principalmente bosques de mangle, pastos y cultivos de arroz; Bocas del Toro: 41,215 hectáreas, con mayor afectación en bosques latifoliados, bosques de rafia y pastos; Chiriquí: 35,801 hectáreas, principalmente en bosques de mangle, cultivos de arroz y pastos. El 50 % de los manglares y el 90 % de los estanques de acuicultura se encuentran en riesgo, afectando significativamente la biodiversidad y las actividades económicas, como la exportación de camarones. Los usos del suelo más afectados: Bosques de mangle (94,711 hectáreas), bosques latifoliados (35,965 hectáreas), pastos (25,618 hectáreas) y cultivos, principalmente arroz (12,447 hectáreas) y caña de azúcar (3,463 hectáreas).

3.3. JUSTIFICACIÓN

Según la Cuarta Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Panamá, se proyecta que el aumento del nivel del mar podría afectar el 2.01 % de la superficie total del territorio nacional. En el escenario SSP5-8.5 (escenario de altas emisiones), se estima que el nivel del mar tendrá un aumento de 0.27 metros en la costa Caribe y 0.19 metros en la costa Pacífica. Algunas de las zonas más vulnerables incluyen Isla Carenero, Changuinola, Bastimento (Bocas del Toro), Boca Chica, Pedregal (Chiriquí), Kusapin, Tobobe (Ngäbe-Buglé), Río Hato, Natá, Aguadulce (Coclé), Paris, Parita, Llano Bonito (Herrera), Isla Iguana (Los Santos), Portobelo, Santa Isabel (Colón), Punta Chame (Panamá Oeste), y las islas de la comarca Guna Yala (Ministerio de Ambiente, 2023).

Las consecuencias de este fenómeno incluyen la intrusión de agua marina, erosión costera, inundación de humedales, contaminación de acuíferos y pérdida de hábitats para especies marinas y costeras. Ante este panorama, es necesario priorizar acciones para reducir estos impactos y proteger las comunidades y ecosistemas.

Este análisis no solo es relevante para investigadores y estudiantes, sino también para cualquier persona interesada en comprender mejor como el cambio climático está transformando nuestras costas. Contar con este conocimiento permite tomar decisiones informadas y desarrollar estrategias más efectivas para la protección del ambiente y la planificación del territorio a nivel nacional y local.

3.4. OBJETIVOS

3.4.1. Objetivo general

Evaluar la amenaza que representa el aumento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático, analizando las proyecciones de inundación permanente y extrema al año 2050 en las zonas costeras de Costa Abajo de Colón, identificando los lugares específicos afectados, describiendo los hallazgos y realizando trabajo de campo para conocer y evaluar las condiciones del área de estudio.

3.4.2. Objetivos específicos

- Analizar y modelar las áreas que podrían sufrir inundaciones extremas y permanentes proyectadas en las zonas costeras de Costa Abajo de Colón, resaltando sus puntos más vulnerables y sus características particulares.
- Identificar los lugares más afectados por las inundaciones proyectadas y describir los hallazgos, destacando las áreas en mayor riesgo y el uso del suelo.
- Realizar visitas de campo para observar el uso del suelo en las áreas identificadas como afectadas, evaluando como el aumento del nivel del mar está afectado ecosistemas, agricultura, infraestructura y actividades humanas.

- Desarrollar un análisis integral de las proyecciones, hallazgos de campo y datos socioeconómicos y ambientales, con el fin de obtener una visión completa del impacto del aumento del nivel del mar en estas regiones.
- Elaborar recomendaciones para gestionar y adaptarse a los riesgos del ascenso del nivel del mar, basado en el análisis geoespacial, los hallazgos de campo y las características específicas de cada lugar.

3.5. HIPÓTESIS

Hipótesis Nula (H_0): El aumento del nivel del mar proyectado al año 2050 no representará una amenaza significativa en términos de inundación permanente y extrema para las zonas costeras de Costa Abajo de Colón, ni generará impactos relevantes en los ecosistemas, la infraestructura, agricultura y las actividades humanas en estas regiones.

Hipótesis Alternativa (H_1): El aumento del nivel del mar proyectado al año 2050 representará una amenaza significativa en términos de inundación permanente y extrema para las zonas costeras de Costa Abajo de Colón, afectando negativamente los ecosistemas, la infraestructura, agricultura y las actividades humanas en estas regiones.

3.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

Este estudio tiene como propósito evaluar la amenaza que representa el ascenso del nivel del mar como consecuencia del cambio climático en la Costa Abajo de Colón, con un enfoque en la proyección de inundaciones permanentes y extremas para el año 2050. A través del análisis de datos geoespaciales y trabajo de campo, se identificarán los lugares más vulnerables y se analizará el impacto en la infraestructura, el ecosistema, la agricultura y las actividades humanas en estas áreas costeras.

Para ello, se generarán mapas de inundación para escenarios de incremento del nivel del mar, utilizando datos del escenario SSP5-8.5 con una confianza media, período de retorno de 50 años y cuantil de 50. Esto permitirá identificar los sectores más vulnerables en la Costa Abajo de Colón, con énfasis en asentamientos humanos, infraestructura crítica (viviendas, carreteras), ecosistemas frágiles y actividades económicas.

Se realizarán visitas a las zonas identificadas como afectadas en la Costa Abajo de Colón, específicamente sitios como Miguel de la Borda, Gobeia y Salud, sin embargo, algunas áreas quedarán excluidas debido a restricciones logísticas y presupuestarias. El trabajo de campo permitirá documentar las condiciones de las infraestructuras, estructuras, ecosistemas, viviendas, suelo, entre otros.

A partir de los hallazgos del estudio, se propondrán medidas de adaptación, incluyendo estrategias de manejo costero, infraestructura resiliente y posibles acciones de reubicación de comunidades en riesgo.

Si bien el estudio pretende ofrecer una evaluación de la amenaza que representa el ascenso del nivel del mar en la Costa Abajo de Colón, existen diversas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. Debido a limitaciones de tiempo, recursos y logística, el estudio de campo se concentrará en localidades específicas dentro de la Costa Abajo de Colón. Algunas áreas identificadas como vulnerables no serán evaluadas presencialmente (debido a la accesibilidad de los lugares), lo que puede afectar la validación de datos en esos sectores.

Además, aunque el escenario SSP5-8.5 representa un panorama de altas emisiones y permite evaluar un posible escenario crítico para 2050, la evolución del cambio climático y las acciones globales entorno a la mitigación podrían modificar estos resultados. Por ello, es fundamental considerar la incertidumbre inherente a las proyecciones del nivel del mar y eventos extremos al momento de aplicar estos hallazgos en la planificación territorial.

Este estudio se centra en la amenaza del ascenso del nivel del mar como factor principal de riesgo. No aborda otras amenazas relacionadas a la dinámica costera, como erosión, sedimentación, contaminación o los efectos directos de eventos meteorológicos extremos (tormentas, marejadas, otros), los cuales también pueden incidir en la vulnerabilidad de estas zonas. Por lo tanto, los resultados y recomendaciones deben ser interpretados dentro del marco de este enfoque particular.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Climatología de Panamá

Panamá se encuentra ubicada en el istmo centroamericano y está rodeada por los océanos Pacífico y Atlántico, lo cual ejerce una fuerte influencia en el clima del país, ya que se ve directamente afectado por estas dos vastas masas oceánicas y los desplazamientos de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Además, debido a su posición, está expuesto a una variedad de fenómenos meteo-oceánicos extremos, como ciclones tropicales, tsunamis, vientos intensos, eventos de El Niño/La Niña, lluvias torrenciales y sequías prolongadas, entre otros (Ministerio de Ambiente, 2023).

La amenaza vinculada a la inundación y la erosión costera se basa principalmente en factores como el oleaje, la marea meteorológica, la marea astronómica y el aumento del nivel medio del mar. La precipitación y el flujo de los ríos también pueden desempeñar un papel significativo en la contribución a la inundación costera (Muis et al., 2015).

La costa de la República de Panamá se extiende, aproximadamente, a lo largo de 3000 km, de los cuales 1,700 km corresponden al litoral Pacífico y 1,288 km al litoral caribeño. La costa del Pacífico panameño es irregular, con una plataforma continental amplia (200 m de profundidad promedio) y con un declive gradual. Por el contrario, la costa caribeña es regular y presenta una plataforma continental angosta (5-35 Km) (Rodríguez y Windevoxhel, 1998).

El incremento continuo en las emisiones de gases de efecto invernadero sugiere que muchos de los impactos adversos del cambio climático serán inevitables y comenzarán a manifestarse en las próximas décadas. Por lo tanto, es de vital importancia desarrollar e implementar políticas y estrategias de adaptación que permitan mitigar estos efectos y aumentar la resiliencia del país frente a los desafíos climáticos futuros.

Se estima que aproximadamente el 50% de la población nacional reside en la zona costera (Rodríguez y Windevoxhel, 1998), a menudo en condiciones de extrema pobreza. Esta realidad incrementa la vulnerabilidad de la región frente a los eventos extremos y los cambios en las condiciones climáticas.

4.1.1. Fenómenos de variabilidad climática interanual

El fenómeno ENSO (El Niño - Oscilación Sur) es la principal fuente de variabilidad climática interanual en Centroamérica y el Trópico, combinando una corriente cálida costera en el Pacífico Ecuatorial (El Niño) y cambios atmosféricos asociados (Fernández y Ramírez, 1991; Vega y Stolz, 1997). ENSO tiene dos fases: El Niño, caracterizado por el calentamiento del Pacífico Ecuatorial y sequías en la vertiente Pacífica panameña, y La Niña, con enfriamiento anómalo y mayores lluvias en el Caribe (Olmedo, 2015).

En cuanto a las dinámicas marinas, ENSO genera anomalías significativas en el nivel del mar, incluyendo sobrelevaciones observadas durante eventos fuertes como 1982-1983 y 1997-1998 (Widlansky et al., 2015; CEPAL, 2011). Estas variaciones son resultado tanto de la expansión térmica como de alteraciones en los temporales (Muis et al., 2018).

4.1.2. Fenómenos meteorológicos-oceánicos extremos

Panamá, aunque está al sur del cinturón de huracanes, ha sido afectada por ciclones tropicales como Otto (2016), que causó inundaciones y pérdidas humanas, aunque los impactos directos son limitados por su baja latitud y temperaturas del mar (NHC Otto report, 2017). Los eventos "Norte", comunes entre noviembre y abril, generan vientos fuertes y oleajes significativos, afectando ocasionalmente la costa Caribe (Colle & Mass, 1995; Ortiz et al., 2014). En cuanto a tsunamis, se han registrado 11 eventos en 150 años, siendo el más notable el de 1882 en San Blas, con más de 100 muertes. Otros ocurrieron en 1913, 1934, 1962 y 1991, este último sin víctimas humanas (Camacho, 1994; Martínez & Toulkeridis, 2020).

4.2. Dinámicas marinas en Panamá

4.2.1. Oleaje

El oleaje en el Caribe está influenciado por cinco tipos de viento, incluyendo el *Caribbean Low-Level Jet* (CLLJ), frentes fríos (*Nortes*), vientos alisios y transiciones extratropicales (ET) de ciclones tropicales. Los oleajes más intensos son generados por ciclones tropicales, seguidos por los Nortes, mientras que el CLLJ y los alisios dominan en frecuencia. Las alturas de ola típicas alcanzan los 2 metros, con máximos extremos de 4-5 metros en periodos de retorno de 50 años (CEPAL, 2011). En el Pacífico este tropical, el oleaje proviene principalmente de tormentas extratropicales y mares de fondo del Pacífico Sur, intensificados por condiciones locales. También se genera un mar de viento estacional por el *Panama Jet*. Las alturas de ola varían entre 0 y 2.5 metros, con

picos de hasta 7 metros en áreas específicas como Santa Catalina, Veraguas (Amador et al., 2006; ARAP, 2010).

4.2.2. Nivel del mar

4.2.2.1. Nivel medio del mar

Según CEPAL (2011) y Losada et al. (2013), existen variaciones estacionales significativas en el nivel medio del mar en la costa Pacífica de Centroamérica. Además, se observa una tendencia de aumento de aproximadamente 2 mm/año en la costa Atlántica Norte de América del Sur y el Caribe, mientras que en el Pacífico ecuatorial, incluyendo Centroamérica, el incremento es de 1-1.5 mm/año.

4.2.2.2. Marea astronómica

La marea astronómica en Panamá varía significativamente entre las costas Caribe y Pacífica. En el Caribe, el régimen es micromareal, con amplitudes máximas inferiores a 0.5 m, mientras que en el Pacífico supera los 3 m, alcanzando valores de 3-4 m según Martínez (2020) y hasta 6-7 m según ARAP (2010), aunque estos últimos probablemente incluyan otros factores del nivel del mar (CEPAL, 2011).

En la costa Caribe panameña, las mareas son de régimen mixto semidiurno, con un rango medio de 0.21-0.24 m y pleamares vivas de 0.33-0.36 m, dependiendo de la ubicación (Lizano, 2006). La amplitud máxima de marea llega a 0.5 m, con un desfase temporal de casi 2 horas entre Bocas del Toro y Puerto de Caledonia en Guna Yala (ARAP, 2010).

En el Pacífico, la marea es semidiurna pura, con ciclos de 12 horas. Los rangos medios de marea varían entre 2.31 m en Puerto Armuelles y 3.84 m en Balboa, con pleamares

máximas de 2.92-4.99 m. Los valores más altos se observan en zonas semi-cerradas, como el Golfo de Panamá (Lizano, 2006).

4.2.2.3. Marea meteorológica

Existen pocos estudios sobre la marea meteorológica (*storm surge*) en las costas de Centroamérica. Según CEPAL (2011), el cuantil del 0.99 de esta marea es inferior a 0.2 m en ambas costas. Por su parte, Losada et al. (2013) reportaron valores del percentil 99% de entre 0.3-0.4 m en el Pacífico y 0.1-0.2 m en el Caribe. Muis et al. (2020), al analizar niveles extremos del mar incluyendo mareas astronómicas y meteorológicas, estimaron niveles de retorno de 100 años de 0.3 m en el Caribe y de 2-3.5 m en el Pacífico panameño.

4.3. Inundación costera

Se refiere al resultado de la interacción de varios factores geológicos e hidrodinámicos que afectan las zonas costeras, incluyendo mareas, oleaje, y fenómenos meteorológicos. Puede manifestarse tanto en forma de inundaciones permanentes, asociadas al ascenso del nivel del mar, como inundaciones temporales, producto de condiciones extremas de las dinámicas marinas (IH Cantabria, 2024).

4.3.1. Inundaciones permanentes

Las inundaciones permanentes ocurren debido al aumento progresivo y sostenido del nivel medio del mar. A medida que el nivel del mar se eleva por efectos del cambio climático, las tierras bajas costeras quedan permanentemente sumergidas. Este tipo de inundación es un fenómeno irreversible a escala humana y afecta de manera crónica los ecosistemas, la infraestructura y los asentamientos costeros. Se evalúa considerando

escenarios futuros de aumento del nivel medio del mar combinados con condiciones de pleamar (IH Cantabria, 2024).

4.3.2. Inundaciones extremas

Estas ocurren como resultado de eventos extremos de oleaje y mareas meteorológicas, en combinación con condiciones climáticas adversas, como tormentas o huracanes. A diferencia de las inundaciones permanentes, las inundaciones extremas dependen de condiciones climáticas y oceanográficas específicas, muchas veces asociadas a eventos con períodos de retorno largos, como los que ocurren una vez cada 100 años. Sin embargo, el cambio climático está aumentando la frecuencia y magnitud de estos eventos, lo que hace que inundaciones consideradas antes como "excepcionales" se vuelvan más comunes (IH Cantabria, 2024).

4.4. Conceptos clave

El escenario **SSP5-8.5**, es uno de los cinco escenarios ilustrativos de trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) utilizados por el IPCC para proyectar posibles futuros climáticos. Este escenario asume un desarrollo socioeconómico impulsado por un crecimiento económico rápido y una alta dependencia de combustibles fósiles, lo que resulta en emisiones de gases de efecto invernadero muy altas. Bajo este escenario, se proyecta un aumento significativo de la temperatura global y otros cambios climáticos asociados (IPCC, 2021c).

Un **cuantil** es una medida estadística que divide un conjunto de datos ordenados en intervalos con igual número de observaciones. En el contexto de los informes del IPCC,

los cuantiles se utilizan para expresar la incertidumbre en las proyecciones climáticas, indicando rangos probables de variables como la temperatura o el nivel del mar.

La **confianza**, es la validez de un resultado basada en el tipo, la cantidad, la calidad y la coherencia de la evidencia (por ejemplo, la comprensión mecánica, la teoría, los datos, los modelos, y el juicio experto) y el nivel de acuerdo. La confianza se expresa de forma cualitativa (IPCC, 2013).

La **confianza baja**, en los informes del IPCC, el término "confianza baja" se emplea para indicar que la evidencia disponible es limitada o que existe un consenso limitado entre los expertos sobre un hallazgo en particular. Esto sugiere que las conclusiones deben interpretarse con precaución debido a la incertidumbre asociada.

La **confianza media**, se utiliza cuando hay una cantidad moderada de evidencia y un consenso moderado entre los expertos sobre un hallazgo específico. Indica que las conclusiones son más sólidas que aquellas con confianza baja, pero aún existe un grado de incertidumbre que debe considerarse.

El **período de retorno**, es una estimación del intervalo de tiempo promedio entre la ocurrencia de un evento (por ejemplo, inundación o lluvia extrema) de (o por debajo/por encima de) un tamaño o intensidad definidos.

4.5. Cambio climático y aumento del nivel del mar

El cambio climático se define como una alteración en el estado del clima que puede identificarse mediante pruebas estadísticas por cambios en el promedio y/o la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente décadas o más. Este cambio puede deberse a procesos internos naturales, forzamientos externos,

como las modulaciones de los ciclos solares y las erupciones volcánicas, o a cambios persistentes inducidos por el ser humano, como alteraciones en la composición de la atmósfera o el uso del suelo (IPCC, 2021a).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) ofrece una definición específica en su Artículo 1, donde describe el cambio climático como "un cambio de clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables". De esta manera, la CMNUCC distingue entre el cambio climático atribuido a actividades humanas que modifican la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuida a causas naturales.

En el Reporte de Evaluación 6 del IPCC, destaca cómo el cambio climático ha intensificado el ascenso del nivel del mar, con consecuencias significativas en regiones costeras y sistemas naturales. Los impactos observados incluyen el aumento de los daños causados por ciclones tropicales, exacerbados por el ascenso del nivel del mar y las lluvias intensas. Además, procesos de cambio lento, como la acidificación oceánica, el ascenso del nivel del mar y las disminuciones regionales de precipitación, se atribuyen con alta confianza al cambio climático inducido por el ser humano. Las áreas bajas, como los pequeños Estados insulares y los atolones, enfrentan una vulnerabilidad creciente debido a su alta dependencia de medios de vida sensibles al clima, desplazamientos poblacionales y pérdida acelerada de servicios ecosistémicos (IPCC, 2021b).

A futuro, el ascenso del nivel del mar continuará y se acelerará, afectando asentamientos costeros, infraestructura y ecosistemas. Este fenómeno comprometerá la supervivencia de ecosistemas costeros bajos, como los humedales. Los niveles de calentamiento global de 3°C o más aumentarán considerablemente las áreas expuestas a peligros climáticos, en comparación con un calentamiento de 2°C o menos, lo que exacerbará las desigualdades regionales y los riesgos para la seguridad alimentaria, especialmente en regiones vulnerables como América Central (IPCC, 2021b).

El ascenso del nivel del mar presenta un desafío único de adaptación debido a su carácter progresivo y al aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos asociados. Las estrategias de adaptación, como la protección, la acomodación, los avances y la reubicación planificada, son más efectivas si se implementan en combinación, con planificación anticipada y alineadas con valores socioculturales y prioridades de desarrollo. Estas respuestas son esenciales para reducir los riesgos a largo plazo en comunidades costeras (IPCC, 2021b).

El AR6, introduce nuevos escenarios de emisiones, denominados Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (*Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs)) para analizar la respuesta climática frente a diferentes niveles de gases de efecto invernadero (GEI), usos del suelo y contaminantes. Estos escenarios, que inician en 2015, incluyen SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, representando niveles de emisiones que van de muy bajas, bajas, intermedias, altas y muy altas emisiones de GEI, respectivamente (IPCC, 2021b).

Cada escenario varía en función de factores socioeconómicos, estrategias de mitigación del cambio climático y control de contaminantes. En los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5, las emisiones de CO₂ se duplican para 2100 y 2050, respectivamente, en comparación con los niveles de 2015. En SSP2-4.5, las emisiones permanecen estables hasta mediados del siglo, mientras que en SSP1-1.9 y SSP1-2.6 disminuyen hasta alcanzar emisiones netas de cero hacia 2050, seguidas de emisiones negativas en algunos casos.

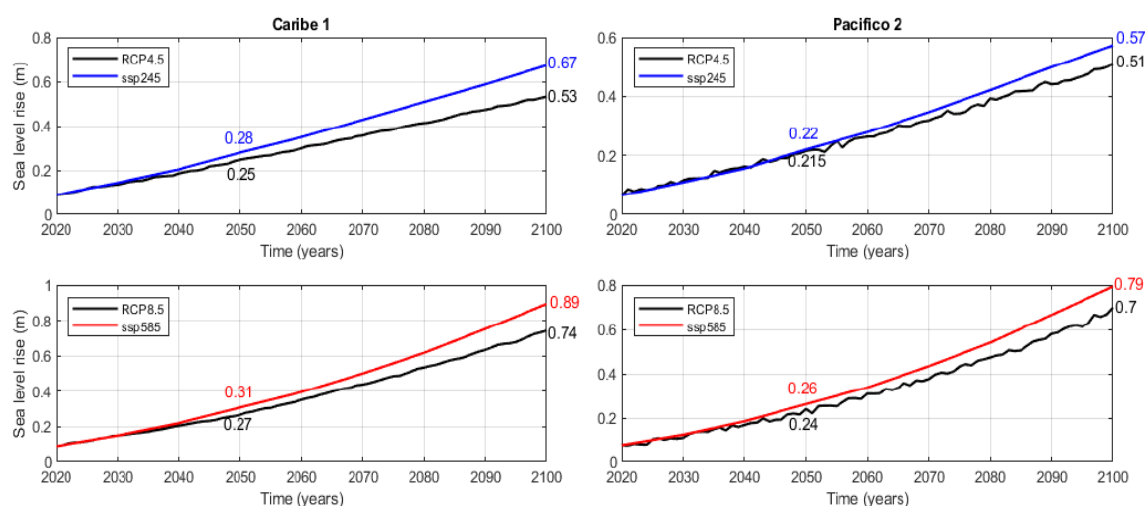
Las variaciones en el nivel medio del mar (GMSL), consecuencia del cambio climático, afectan significativamente a las zonas costeras debido al calentamiento oceánico, la pérdida de hielo polar y cambios en la redistribución de masa terrestre y oceánica. Estas variaciones se ven influenciadas por procesos como ajustes isostáticos glaciales (GIA), circulación oceánica y movimientos verticales del suelo (Melet et al., 2018; Slangen et al., 2017).

Según los informes AR5 y AR6 del IPCC, las principales causas del aumento del nivel del mar incluyen la expansión térmica, el uso de agua terrestre, la pérdida de glaciares y hielo, y los GIA que generan movimientos verticales del suelo. Las proyecciones globales del nivel del mar en el AR5 estiman un aumento de 0.4 m (RCP2.6) a 0.63 m (RCP8.5) para 2100 en comparación con 1986-2005. En el AR6, las estimaciones varían entre 0.28-0.55 m (SSP1-1.9) y 0.63-1.01 m (SSP5-8.5) para el mismo año, tomando como referencia el periodo 1995-2014 (IHCANTABRIA, 2024).

4.5.1. Proyecciones del nivel del mar en Panamá

De acuerdo con los resultados del estudio “*Dinámicas marinas de Panamá*” realizado por IH Cantabria en colaboración con el Ministerio de Ambiente, se destacó que el análisis de los datos del mareógrafo de Cristóbal muestra un aumento del nivel medio del mar de 1.4 mm/año durante el periodo 1909-1979, mientras que este valor aumenta a 1.8 mm/año en base a datos satelitales (BIOMARCC- USAID, 2013).

Figura 1 Proyecciones de aumento del nivel del mar publicados en el AR5 (líneas negras) y en el AR6 (líneas azules y rojas)



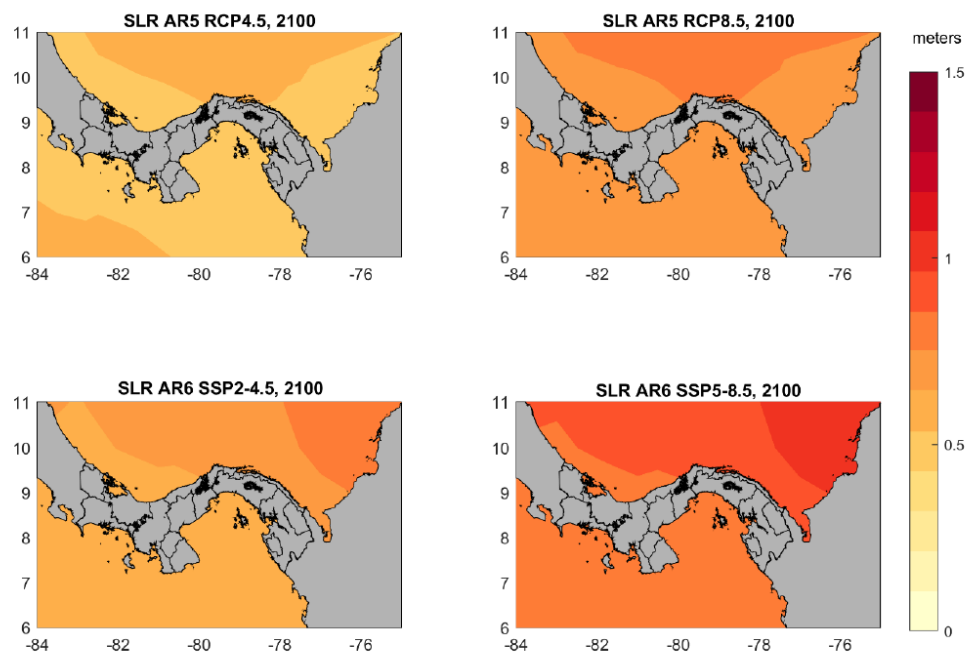
Fuente: IH CANTABRIA y Ministerio de Ambiente, 2024.

El estudio evaluó las variaciones en el nivel medio del mar entre 2020 y 2100 en cuatro puntos frente a las costas Caribe y Pacífico de Panamá. Para ello, se compararon las proyecciones de los informes AR5 y AR6 bajo escenarios climáticos de estabilización media (RCP4.5 y SSP2-4.5) y de altas emisiones (RCP8.5 y SSP5-8.5). En particular, se

contrastó el promedio del conjunto de modelos del AR5 con el percentil 50% del conjunto del AR6.

Los resultados indican diferencias mínimas hacia 2050 (≤ 4 mm), pero estas aumentan entre 6 y 15 mm hacia finales de siglo. Según el AR5, se proyecta un aumento de 0.53-0.74 m en el Caribe y de 0.51-0.7 m en el Pacífico para 2100, mientras que el AR6 estima incrementos mayores, de 0.67-0.89 m y 0.57-0.79 m, respectivamente.

Figura 2 Mapas de aumento del nivel medio del mar (SLR) en el año 2100, para los escenarios de estabilización media (izquierda) y de altas emisiones (derecha)



Fuente: IH CANTABRIA y Ministerio de Ambiente, 2024.

En conclusión, la representación de las proyecciones del nivel del mar a nivel nacional, basada en los escenarios y datos de los informes AR5 y AR6 para el año 2100, permite una comprensión más integral de los patrones espaciales del ascenso del nivel del mar en

Panamá. Los resultados evidencian diferencias entre ambos informes, destacando valores más altos en el AR6, (Figura 2).

5. Impactos socioeconómicos y ambientales debido al ascenso del nivel del mar

El ascenso del nivel del mar es una de las manifestaciones más preocupantes del cambio climático y tiene efectos profundos en las áreas costeras. Este fenómeno afecta a los ecosistemas naturales, las actividades económicas y las comunidades humanas, generando desafíos de gran escala que requieren estrategias de mitigación y adaptación integrales.

Los ecosistemas costeros, como manglares, arrecifes de coral, humedales y playas, están particularmente amenazados por el ascenso del nivel del mar. Estos ecosistemas actúan como barreras naturales contra las tormentas y las marejadas, además de ser hábitats esenciales para diversas especies marinas. Según el IPCC (2021), el aumento del nivel del mar incrementa la frecuencia de inundaciones costeras y la erosión, afectando gravemente estos hábitats críticos.

En Panamá, el estudio de MiAMBIENTE e IHCantabria (2024) destaca que los manglares son uno de los ecosistemas más vulnerables. Se proyecta que aproximadamente el 50 % de los manglares podría desaparecer en zonas como Chiriquí y Bocas del Toro debido al aumento del nivel del mar y a la intrusión salina, lo que resultará en una pérdida significativa de biodiversidad y la disminución de servicios ecosistémicos como la captura de carbono y la protección costera.

Por otro lado, los arrecifes de coral enfrentan riesgos por el aumento de la temperatura del agua y la acidificación de los océanos, además de los impactos del ascenso del nivel del mar. Esto afecta su capacidad de regeneración y su función como hábitat para especies marinas (Nicholls & Cazenave, 2010). La degradación de estos ecosistemas también pone en peligro las actividades humanas que dependen de ellos, como la pesca y el turismo.

El impacto económico del ascenso del nivel del mar se manifiesta en la pérdida de infraestructura, tierras productivas y comunidades desplazadas. Según el IPCC (2021), los costos de adaptación y recuperación de las inundaciones costeras se duplicarán en las próximas décadas si no se implementan medidas efectivas.

En Panamá, se estima que alrededor del 3 % del territorio nacional podría quedar afectado para el año 2050 debido al aumento del nivel del mar, incluyendo tierras agrícolas y urbanas. El desplazamiento de comunidades costeras también tendrá implicaciones sociales, como la pérdida de identidad cultural y el aumento de desigualdades sociales (MiAMBIENTE, 2024).

6. Desafíos y oportunidades en la gestión costera

El ascenso del nivel del mar y el cambio climático han planteado retos significativos en la gestión costera, pero también han abierto oportunidades para implementar estrategias innovadoras y sostenibles. La revisión de estrategias globales y locales muestra la importancia de integrar medidas de adaptación y mitigación en la planificación costera para abordar los impactos socioeconómicos y ambientales de manera efectiva.

A nivel global, muchas regiones vulnerables han implementado estrategias que combinan enfoques basados en infraestructura y soluciones naturales. Por ejemplo, los Países Bajos, conocidos por sus esfuerzos en la gestión del agua, han desarrollado sistemas avanzados de diques y defensas costeras, junto con planes de restauración de humedales para reducir la vulnerabilidad a las inundaciones (Nicholls & Cazenave, 2010).

En América Latina, países como Uruguay han adoptado sistemas de monitoreo costero en áreas clave, como Montevideo, para evaluar el impacto del ascenso del nivel del mar y tomar decisiones informadas sobre el uso del territorio (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 2018). En Panamá, el Ministerio de Ambiente (2023) ha priorizado la reubicación de comunidades costeras vulnerables, como las de la comarca Guna Yala, y la restauración de ecosistemas costeros como manglares y arrecifes.

En el Caribe, varias islas han adoptado soluciones basadas en la naturaleza, como la reforestación de manglares y la protección de arrecifes de coral, que funcionan como barreras naturales contra las tormentas. Un caso destacado es la reforestación en Cuba, que ha permitido reducir la erosión costera y aumentar la biodiversidad marina (Caribbean Community Climate Change Centre, 2017).

En Asia, ciudades como Yakarta, Indonesia, han diseñado planes de adaptación que combinan el fortalecimiento de infraestructuras con la participación comunitaria en la restauración de ecosistemas (World Bank, 2019). Estas medidas buscan no solo reducir la exposición a riesgos, sino también mejorar la resiliencia social y económica de las comunidades.

La planificación costera adaptativa es una herramienta fundamental para enfrentar el ascenso del nivel del mar. Según el IPCC (2021), una planificación efectiva debe incluir:

- Evaluación de riesgos: Identificar las áreas más vulnerables mediante mapas de riesgo y modelos de proyección.
- Participación comunitaria: Involucrar a las comunidades locales en el diseño y la implementación de estrategias de adaptación.
- Flexibilidad en las políticas: Diseñar políticas dinámicas que puedan ajustarse a medida que se disponga de nueva información sobre los impactos climáticos.

Uno de los mayores desafíos en la gestión costera es la falta de datos precisos y actualizados sobre los impactos del ascenso del nivel del mar. Según Nicholls et al. (2011), muchas regiones en desarrollo carecen de infraestructura adecuada para el monitoreo continuo de las dinámicas marinas, lo que dificulta la planificación efectiva.

En Panamá, estudios como el de MiAMBIENTE e IHCantabria (2024) han resaltado la importancia de establecer estaciones de monitoreo en tiempo real para recopilar datos sobre el nivel del mar, la salinidad y las corrientes. Sin embargo, la financiación limitada y la dependencia de tecnología importada representan barreras significativas para su implementación.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio abarca las zonas costeras de las provincias de Colón, en especial las áreas de Miguel de la Borda, Gobeá y Salud, que pertenecen a la Costa Abajo de Colón. La provincia de Colón se encuentra en la parte norte de Panamá, en la entrada atlántica del Canal de Panamá. Limita al norte con el mar Caribe, al sur con las provincias de Panamá, Panamá Oeste y Coclé, al este con la comarca Guna Yala y al oeste con Veraguas.

Miguel de la Borda es un corregimiento y ciudad cabecera del distrito de Donoso en la provincia de Colón. Cuenta con una población de 2,408 habitantes según el Censo del 2023 del Instituto Nacional de Estadística y Censo. Es una comunidad ribereña situada a orillas del río Miguel de La Borda, con una población dispersa pero significativa dentro del distrito. Su economía local se basa principalmente en la pesca artesanal, agricultura de subsistencia y pequeños comercios.

Gobeá es una comunidad perteneciente también al distrito de Donoso. Tiene una población de 927 habitantes según el Censo del 2023 del Instituto Nacional de Estadística y Censo. Aunque de menor tamaño y densidad poblacional, presenta características similares en cuanto a condiciones socioeconómicas y ubicación en un entorno costero. La comunidad está distribuida en una franja relativamente estrecha entre la costa y áreas de vegetación.

Salud es un corregimiento del distrito de Chagres, también en la provincia de Colón. Tiene una población de 2,538 habitantes de acuerdo con el Censo del 2023 del Instituto Nacional de Estadística y Censo. Se ubica cerca de la desembocadura de un río y cuenta con una mezcla de áreas urbanas y naturales.

Figura 3 Ubicación de los corregimientos Miguel de la Borda, Gobeá y Salud en la provincia de Colón, Panamá.



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, 2025.

7.2. Metodología para la generación de escenarios de ascenso del nivel del mar a nivel nacional

El Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) llevó a cabo un estudio detallado sobre el ascenso del nivel del mar en las costas de Panamá. Para ello, se combinaron herramientas numéricas de alta resolución, datos históricos y actuales, y

proyecciones climáticas futuras. El objetivo fue evaluar la vulnerabilidad de las zonas costeras y los impactos del cambio climático, proporcionando información clave para la planificación y mitigación de riesgos.

La recopilación de datos, se realizó mediante una recopilación exhaustiva de datos batimétricos, registros instrumentales, datos atmosféricos de reanálisis y datos de dinámicas marinas. Esto incluyó información histórica y actual de variables relevantes, como oleaje, nivel del mar y condiciones atmosféricas extremas.

En el modelo numérico de dinámicas marinas, se emplearon modelos de alta resolución adaptados a las características de las costas panameñas (Caribe y Pacífico), destacando:

- **ADCIRC (Advanced Circulation Model):** Simula flujos costeros y niveles del mar, considerando mareas, tormentas y el aumento del nivel del mar.
- **SWAN (Simulating Waves Nearshore):** Analiza la generación, propagación y transformación del oleaje en zonas costeras y aguas poco profundas.

Los resultados de los modelos se validaron mediante la comparación con registros instrumentales existentes, como datos de mareógrafos y altimetría satelital.

En las proyecciones climáticas y escenarios socioeconómicos, se implementaron proyecciones futuras del nivel medio del mar basadas en los escenarios de concentración representativa (RCP) y las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP). Estos escenarios modelaron el impacto del cambio climático en las dinámicas costeras de Panamá, considerando horizontes temporales hasta 2100.

Los cálculos de niveles de agua total y modelado de inundaciones, a partir de las dinámicas marinas generadas, se calcularon niveles de agua total (NAT), combinando marea astronómica, marea meteorológica, oleaje y ascenso proyectado del nivel del mar. Este análisis se complementó con modelos de inundación para identificar las áreas más vulnerables a diferentes escenarios climáticos.

Para la integración y transferencia de resultados, los datos generados (como bases de datos geoespaciales y archivos NetCDF) fueron integrados en el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) de Panamá, asegurando su accesibilidad para estudios futuros y la toma de decisiones.

7.3. Metodología para evaluar la amenaza del ascenso del nivel del mar a través de la posible inundación permanente y extrema en las costas de Costa Abajo de Colón

Para evaluar el impacto del ascenso del nivel del mar en las costas de Costa Abajo de Colón, se integraron datos geoespaciales en el programa ArcGIS Pro y se realizaron visitas de campo. El estudio se basó en una geodatabase de inundación extrema y permanente, que contenía archivos en formato NetCDF (contiene dimensiones, variables y atributos) y en formato de texto plano (txt). Se trabajó con proyecciones para el año 2050 bajo el escenario SSP5-8.5, con confianza media, período de retorno de 50 años y cuantil de 50, estos representan una situación crítica de emisiones y permite visualizar el peor panorama posible para la elevación del nivel del mar. Al mismo tiempo, la confianza media refleja un nivel de certeza moderado en los resultados, lo que permite tomarlos

como referencia para la planificación de medidas de adaptación, sin ignorar la existencia de incertidumbre en las proyecciones.

7.3.1. Parámetros del análisis de ascenso del nivel del mar

El presente estudio utilizó un conjunto de parámetros técnicos que permiten representar un escenario crítico, pero realista del ascenso del nivel del mar al año 20250. A continuación, se describen los criterios seleccionados:

Escenario SSP5-8.5: Se optó por este escenario el cual es caracterizado por un alto crecimiento económico global y una fuerte dependencia de los combustibles fósiles. Este escenario ha sido ampliamente utilizado para representar condiciones de altas emisiones y visualizar impactos severos del cambio climático. La aplicación permite anticipar el peor caso posible, siendo muy útil para planificar estrategias de adaptación.

Confianza media: se seleccionó un nivel de confianza estadística intermedia en las proyecciones utilizadas. Esta opción evita tanto la sobreestimación como la subestimación del riesgo, permitiendo generar resultados equilibrados que sean técnicamente sólidos y a la vez útiles para la toma de decisiones.

Período de retorno de 50 años: este valor se refiere al intervalo promedio en que podría repetirse un evento extremo de nivel del mar, como marejadas o inundaciones severas. Al incorporar un periodo de retorno de 50 años, el análisis considera amenazas que, aunque poco frecuentes, tienen un alto impacto potencial sobre las zonas costeras.

Cuantil 50: se empleó el cuantil 50, correspondiente a la mediana de las proyecciones modeladas. Esto significa que los resultados reflejan un valor representativo dentro de la

distribución esperada, lo cual contribuye a una caracterización más precisa y estable del riesgo.

En conjunto, estos parámetros permitieron establecer un marco analítico coherente con enfoques internacionales en materia de evaluación de impactos climáticos, facilitando la identificación de zonas expuestas al ascenso del nivel del mar y la formulación de medidas de adaptación basadas en evidencia técnica.

Cabe señalar que los valores asociados a las capas de inundación representan la elevación que alcanzaría el nivel del mar bajo los escenarios proyectados al 2050. Por ejemplo, un valor de 0.52 m indica que todas las áreas con una elevación igual o inferior a 0.52 m sobre el nivel medio del mar podrían verse afectadas por inundación permanente. Estos valores no representan una “altura” de lámina de agua sobre la superficie, sino una cota de elevación crítica respecto al nivel del mar actual.

7.3.2. Pasos de la metodología

- a) **Visualización y análisis de datos geoespaciales:** Para iniciar el proceso de evaluación del impacto del ascenso del nivel del mar en la región de la Costa Abajo de Colón, se llevó a cabo la integración, procesamiento y análisis de datos geoespaciales mediante el software ArcGIS Pro. Esta primera etapa tuvo como objetivo la delimitación espacial del área de estudio y la identificación preliminar de lugares poblados potencialmente expuestos, con base en información cartográfica y proyecciones climáticas al año 2050.

Se utilizó como referencia la capa de división político-administrativa de Panamá a nivel de corregimientos, con el fin de aislar exclusivamente los corregimientos que conforman la provincia de Colón. Para ello, se emplearon herramientas de selección por atributos y recorte espacial, generando una capa específica de corregimientos de Colón. Adicionalmente, se incorporó una capa de lugares poblados correspondiente al censo oficial de la Contraloría General de la República del año 2023, la cual fue filtrada para mostrar únicamente los puntos ubicados dentro de la provincia.

En cuanto a los datos climáticos, se utilizaron archivos en formato ráster procedentes de la base de datos de dinámicas marinas, los cuales contenían proyecciones de inundación permanente y extrema asociadas al ascenso del nivel del mar bajo el escenario SSP5-8.5. Se trabajó con proyecciones al año 2050, utilizando una confianza media, período de retorno de 50 años y cuantil 50, lo que representa un enfoque conservador, pero técnicamente aceptado para visualizar un escenario crítico de emisiones.

Las capas ráster de amenaza fueron convertidas a formato vectorial para permitir la realización de análisis espaciales. A partir de estas, se realizó una selección espacial de los lugares poblados que intersecaban directamente con las zonas de amenaza y también de aquellos ubicados a una distancia de hasta 100 metros, empleando zonas de influencia (búfer). Este procedimiento permitió identificar de manera más amplia los asentamientos que, por su cercanía a la línea de costa o a zonas bajas, podrían presentar condiciones de vulnerabilidad.

Es importante señalar que, se identificaron algunos lugares poblados marcados como en riesgo que no se encuentran directamente en la línea costera, sino que están

ubicados en zonas de ribera de ríos o quebradas, próximas a desembocaduras o áreas bajas sujetas a influencias del nivel del mar. Esta situación fue constatada durante el trabajo de campo y se justifica por la propagación del efecto de inundación tierra adentro a través de canales fluviales. Para este grupo de poblados, se incluyó una diferenciación en la tabla de resultados que permite distinguir entre exposición costera directa y exposición ribereña.

- b) **Análisis específico de comunidades prioritarias en riesgo:** Como parte del análisis específico de la amenaza por ascenso del nivel del mar, se realizó una delimitación focalizada sobre tres localidades prioritarias: Miguel de la Borda, Gobeia y Salud, ubicadas en la región costera de la provincia de Colón. Estas comunidades fueron seleccionadas por su ubicación en áreas bajas, su cercanía directa al litoral o a cuerpos de agua influenciados por el mar, y por la observación de condiciones de vulnerabilidad durante el trabajo de campo. En ArcGIS Pro, se realizó una delimitación manual de las comunidades de Miguel de La Borda, Gobeia y Salud, debido a que no existían límites geospaciales predefinidos para estos asentamientos en los archivos oficiales.

Una vez definidos los polígonos, se procedió a recortar las capas de inundación extrema y permanente utilizando la herramienta Clip, lo cual permitió restringir el análisis únicamente al área de cada comunidad. Este recorte facilitó la identificación de la proporción específica del territorio comunitario afectado por la proyección de ascenso del nivel del mar al año 2050, y sirvió como base para los siguientes pasos de evaluación de impactos por tipo de cobertura y elementos expuestos.

- c) **Evaluación del impacto:** Se analizó cómo el ascenso del nivel del mar podría afectar los ecosistemas, la agricultura y uso del suelo y la infraestructura en las comunidades prioritarias seleccionadas. Para ello, se integraron capas temáticas y datos provenientes de la Contraloría General de la República de Panamá y del Ministerio de Ambiente, permitiendo evaluar de forma integrada los posibles efectos físicos, sociales y ambientales asociados a los escenarios de inundación proyectados.

En ArcGIS Pro, se utilizó la herramienta Intersect para cruzar la mancha de inundación (ya recortada por comunidad) con cada una de las capas temáticas previamente también recortadas al área de análisis. Esto permitió identificar con precisión las superficies afectadas (en metros cuadrados) por categoría de cobertura y el número de estructuras y tramos viales expuestos. En el caso de la capa ráster de inundación extrema, que presentaba valores decimales continuos, se aplicó primero la herramienta Int (Spatial Analyst) para convertirla a tipo entero y luego Raster to Polygon para su vectorización antes de la intersección. Las capas temáticas utilizadas en el análisis fueron:

- **Ecosistemas:** Capa de *Bosques y Otras Tierras Boscosas* del Ministerio de Ambiente de Panamá (2023). Esta capa distingue tres categorías principales de cobertura: *Bosque y Otras Tierras Boscosas* (incluye bosque maduro, secundario y de galería); *Otras Tierras* (vegetación arbustiva, rastrojo, agricultura, áreas pobladas, infraestructura) y *Superficie de agua* (ríos, lagos, embalses).
- **Infraestructura:** Capas de calles y estructuras o edificaciones de la Contraloría General de la República (2024). Se utilizó la herramienta de suma de longitud

(Shape_Length) y conteo de entidades para calcular la proporción afectada dentro de cada comunidad.

- **Agricultura y Uso del Suelo:** Capa de *Cobertura Boscosa y Uso del Suelo* del año 2021, proporcionada por el Ministerio de Ambiente. Esta capa fue intersectada con la mancha de inundación para cuantificar el área afectada por categoría (área poblada, pasto, cultivos permanentes, rastrojo, vegetación herbácea, entre otros).
- d) **Trabajo de campo:** Se llevaron a cabo visitas a las comunidades de Miguel de La Borda, Gobeá y Salud el 16 de febrero de 2025, con el objetivo de visualizar directamente el territorio y conocer de primera mano las condiciones locales. Durante estas visitas se utilizó un GPS portátil (modelo GARMIN) para georreferenciar puntos clave relacionados con la infraestructura, el borde costero y las áreas bajas potencialmente expuestas a inundación. Asimismo, se aplicó un formato de ficha técnica para anotaciones, junto con mapas impresos de inundación proyectada para cada comunidad, lo cual permitió registrar observaciones detalladas sobre uso del suelo, accesibilidad, edificaciones y características ambientales observadas en el sitio.
- e) **Clasificación de niveles de riesgo:** Se establecieron cinco niveles de riesgo (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo) según la magnitud del ascenso del nivel del mar proyectado al 2050 bajo el escenario SSP5-8.5. Para ello, se analizaron los valores de elevación presentes en las capas ráster de inundación permanente y extrema dentro de cada comunidad prioritaria. Los valores se agruparon en intervalos representativos,

permitiendo comparar la severidad del riesgo entre Miguel de La Borda, Gobeia y Salud.

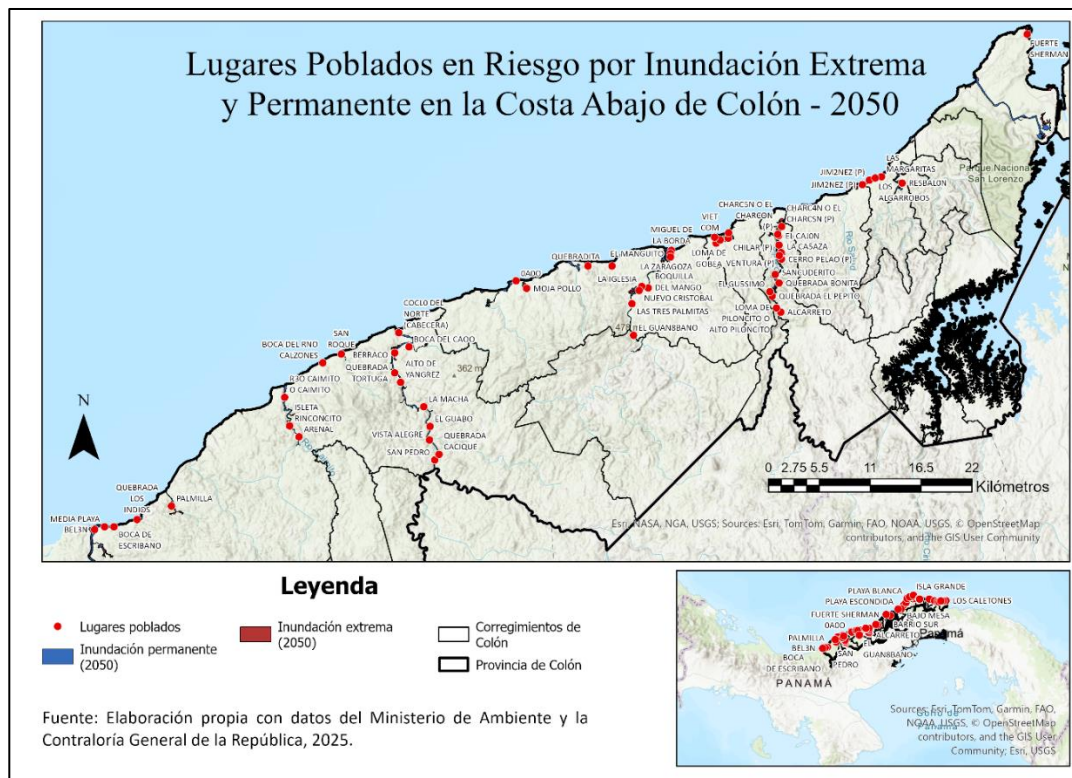
- f) **Análisis general del impacto por ascenso del nivel del mar:** Se integraron y compararon los resultados del análisis de impacto en las tres comunidades estudiadas, considerando los escenarios de inundación permanente y extrema al 2050. A través de datos geoespaciales y observaciones de campo, se identificaron patrones de afectación sobre ecosistemas, uso del suelo, agricultura e infraestructura, analizando la magnitud y distribución del riesgo en cada localidad.
- g) **Generación de recomendaciones:** A partir del análisis integrado, se elaboraron recomendaciones orientadas a reducir la exposición y vulnerabilidad frente al ascenso del nivel del mar. Estas propuestas combinan medidas basadas en evidencia geoespacial, hallazgos del trabajo de campo y principios de adaptación territorial, con el fin de apoyar la planificación local y la toma de decisiones informadas.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Visualización y análisis de datos geoespaciales

El resultado de este proceso fue la generación de un mapa geoespacial donde se representan los lugares poblados en riesgo, junto con las capas de inundación proyectada, la división política de los corregimientos y una vista general de la provincia de Colón (Figura 4). Este mapa fue complementado con elementos cartográficos clave como título, leyenda, escala gráfica, flecha norte y ubicación nacional.

Figura 4 Distribución de lugares poblados potencialmente expuestos a inundación extrema y permanente en la Costa Abajo de Colón al año 2050, bajo el escenario climático SSP5-8.5 con cuantil 50, confianza media y período de retorno de 50 años



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

De manera complementaria, se exportó una tabla en formato .csv con todos los lugares poblados seleccionados, incluyendo su nombre, ubicación geográfica y atributos relevantes para los análisis posteriores, así como una clasificación basada en el tipo de exposición identificada.

Esta etapa sirvió como base para los pasos siguientes, donde se profundiza en la evaluación del impacto físico, social y ambiental del fenómeno en las comunidades costeras seleccionadas. Las comunidades seleccionadas para un análisis más profundo son Miguel de La Borda, Salud y Gobeá.

En total, se identificaron 59 lugares poblados (Anexo 1), de los cuales 17 se encuentran bajo la mancha general de inundación proyectada, 16 bajo la mancha de inundación extrema, y 12 bajo la mancha de inundación permanente. De acuerdo con su ubicación, 43 de estos lugares presentan características ribereñas, 14 son costeros, y 2 combinan características tanto costeras como ribereñas. De estos, 11 lugares costeros (Cuadro 1) presentan exposición directa a la inundación por ascenso del nivel del mar, lo que los sitúa como áreas críticas para la evaluación de vulnerabilidad y la definición de medidas de adaptación.

Cuadro 1 Lugares poblados costeros con exposición directa a la inundación por ascenso del nivel del mar, en la Costa Abajo de Colón

Nº	Distrito	Corregimiento	Nombre del poblado	Tipo de exposición	Observaciones
1	CHAGRES	SALUD	JIMENEZ (P)	Costera	El poblado se ubica justo dentro de la mancha de inundación extrema, y de la permanente. El poblado se encuentra cercano a la línea costera.
2	CHAGRES	SALUD	SALUD	Costera	El punto se encuentra claramente dentro de ambas manchas (azul y roja), en zona baja cercana a la desembocadura. Riesgo muy alto por doble exposición (mar y río).
3	CHAGRES	PALMAS BELLAS	SANTA ROSA	Costera	Se encuentra parcialmente dentro de ambas manchas de inundación, lo que indica una alta exposición al riesgo por ascenso del nivel del mar
4	CHAGRES	PIÑA	PIÑA	Costera	El poblado se encuentra parcialmente cubierto por ambas manchas de inundación. La ubicación costera y su proximidad a la desembocadura de un río aumentan su

					vulnerabilidad.
5	COLON	CRISTOBAL	FUERTE SHERMAN	Costera	El área está completamente cubierta por la mancha de inundación extrema, lo que indica un alto riesgo de afectación por eventos severos del nivel del mar. En esta zona se encuentra el Servicio Nacional Aeronaval (SENAN), lo que incrementa la relevancia de su vulnerabilidad frente a eventos costeros extremos.
6	CHAGRES	PALMAS BELLAS	JIMENEZ	Costera	El poblado se ubica justo dentro de la mancha de inundación extrema, y de la permanente. El poblado se encuentra cercano a la línea costera.
7	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	ÑAÑO	Costera	Totalmente dentro de la mancha permanente
8	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	MIGUEL DE LA BORDA	Costera	Ubicado dentro de ambas manchas de inundación; alta exposición al ascenso del mar.
9	DONOSO	GOBEA	GOBEA	Costera	Mayor parte dentro de zona roja (extrema); expuesto por cercanía a río Gobeá.
10	DONOSO	COCLE DEL NORTE	SAN ROQUE	Costera/Ribereña	El punto está completamente dentro de la zona de inundación extrema y permanente.
11	DONOSO	COCLE DEL NORTE	MEDIA PLAYA	Costera	Alineado a la costa del Caribe, en contacto directo con zona de riesgo.

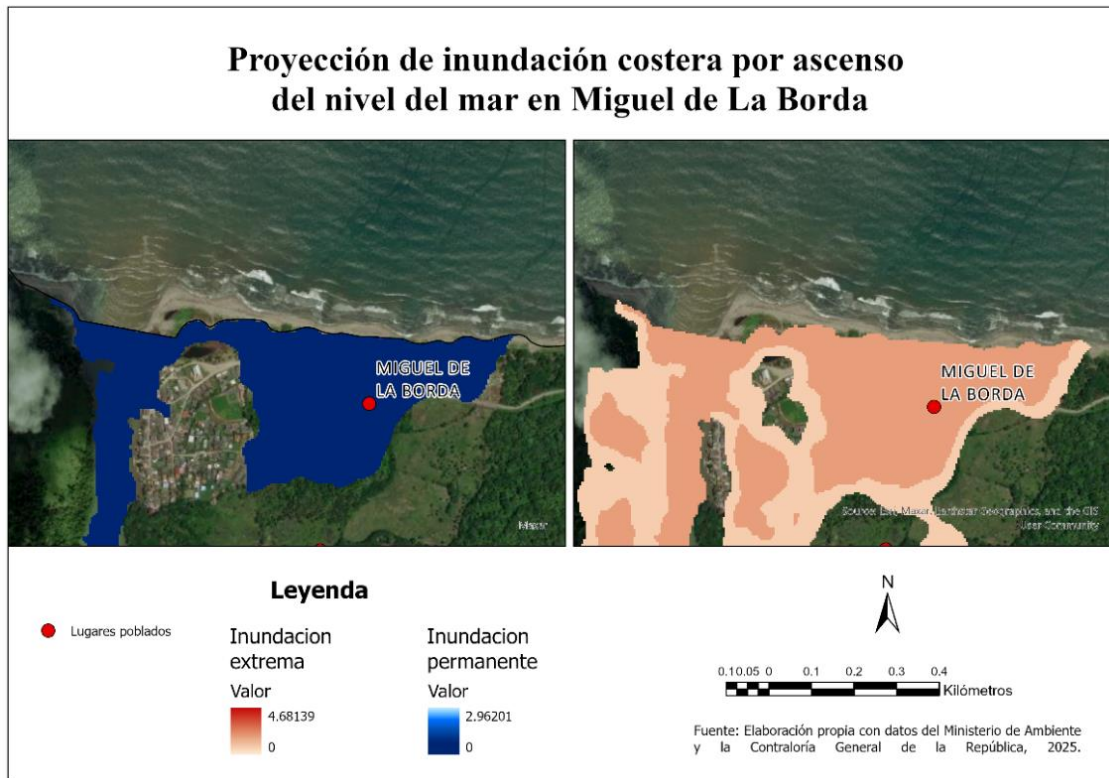
Fuente: elaboración propia, 2025.

8.2. Análisis específico de comunidades prioritarias en riesgo

Miguel de La Borda

El análisis para Miguel de La Borda revela una amplia extensión bajo amenaza de inundación proyectada. La delimitación manual permitió calcular un área total de 440,693.63 m², de los cuales 197,625 m² (equivale al 44.8% del territorio) están bajo amenaza permanente y 307,975 m² (equivale al 69.9% del territorio) bajo amenaza extrema. La zona azul (inundación permanente) muestra valores entre 0.52 y 0.53 m, y, por otro lado, la zona roja (inundación extrema) alcanza valores entre 0.72 y 1.73 m, reflejando una amenaza significativa sobre el núcleo urbano, áreas agrícolas y espacios cercanos al río.

Figura 5 Proyección de inundación costera por ascenso del nivel del mar en Miguel de La Borda



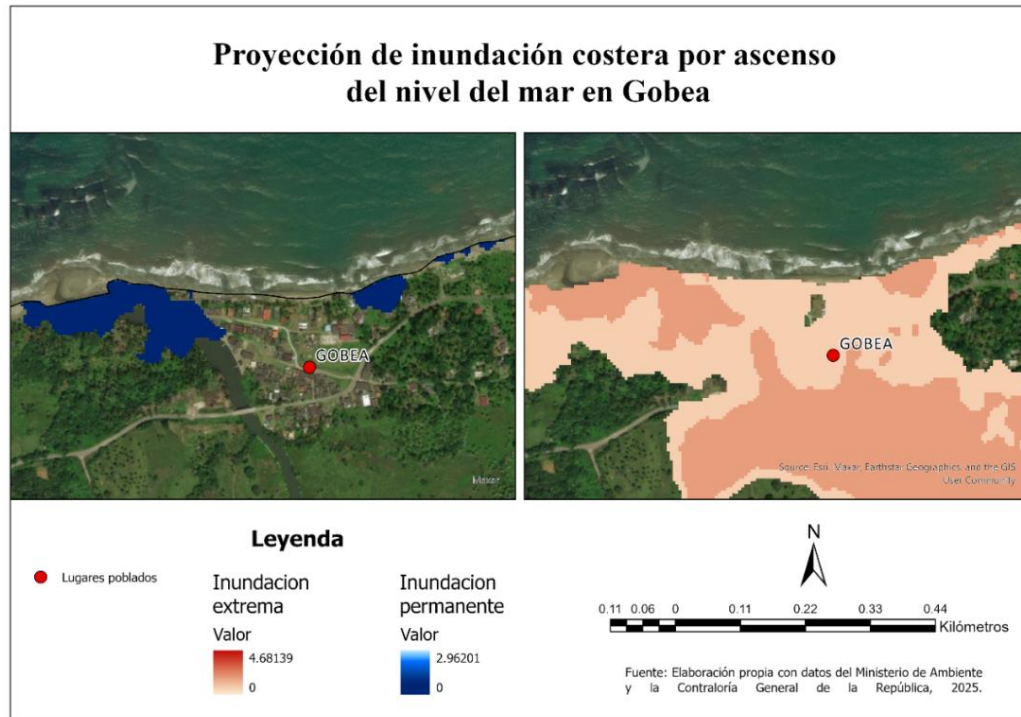
Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Gobea

En Gobea, el mapa revela una exposición costera diferenciada. El área total delimitada manualmente es de 231,740.21 m², de los cuales 28,325 m² (equivale al 12.2% del territorio) corresponden a inundación permanente y 160,250 m² (equivale al 69.1% del territorio) a inundación extrema. La zona azul muestra valores consistentes de 0.52 m, indicando una amenaza localizada en puntos específicos del litoral. En contraste, la inundación extrema (zona roja) con valores entre 0.71 y 1.73 m. Este contraste visual entre las manchas evidencia que, aunque la amenaza permanente es menor, la exposición

a eventos extremos es considerable, exigiendo preparación comunitaria, planificación urbana y estrategias de manejo de emergencia para mitigar los impactos.

Figura 6 Proyección de inundación costera por ascenso del nivel del mar en Gobeá



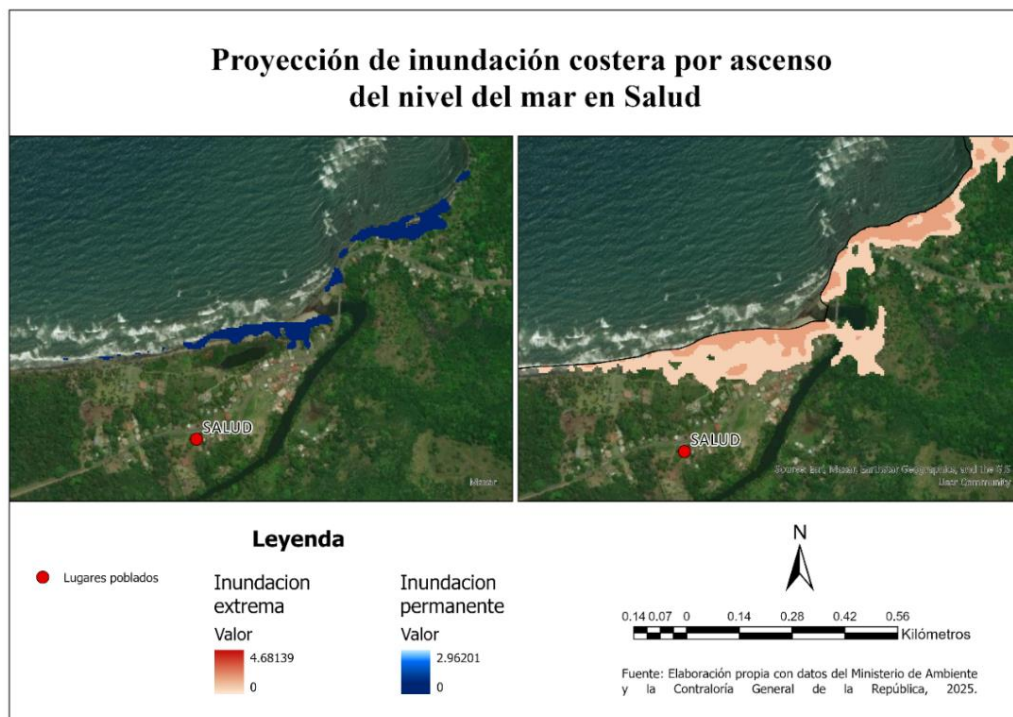
Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Salud

El caso de Salud presenta un patrón mixto de amenaza. El área total delimitada es de 627,916.94 m², de los cuales 29,725 m² (equivale al 4.7% del territorio) están bajo amenaza permanente y 96,700 m² (equivale al 15.4% del territorio) bajo amenaza extrema. La zona azul (permanente) cuenta con valores entre 0.52 y 0.53 m, concentrándose en zonas muy específicas cerca de la desembocadura del río. Por su parte, la amenaza extrema (zona roja) alcanza valores entre 0.64 y 1.73 m, e invade tanto áreas costeras como espacios tierra adentro. Los mapas reflejan cómo el

riesgo se distribuye de manera mixta, reforzando la necesidad de intervenciones integradas que consideren tanto la protección de la línea costera como la gestión de riesgos en riberas fluviales.

Figura 7 Proyección de inundación costera por ascenso del nivel del mar en Salud



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

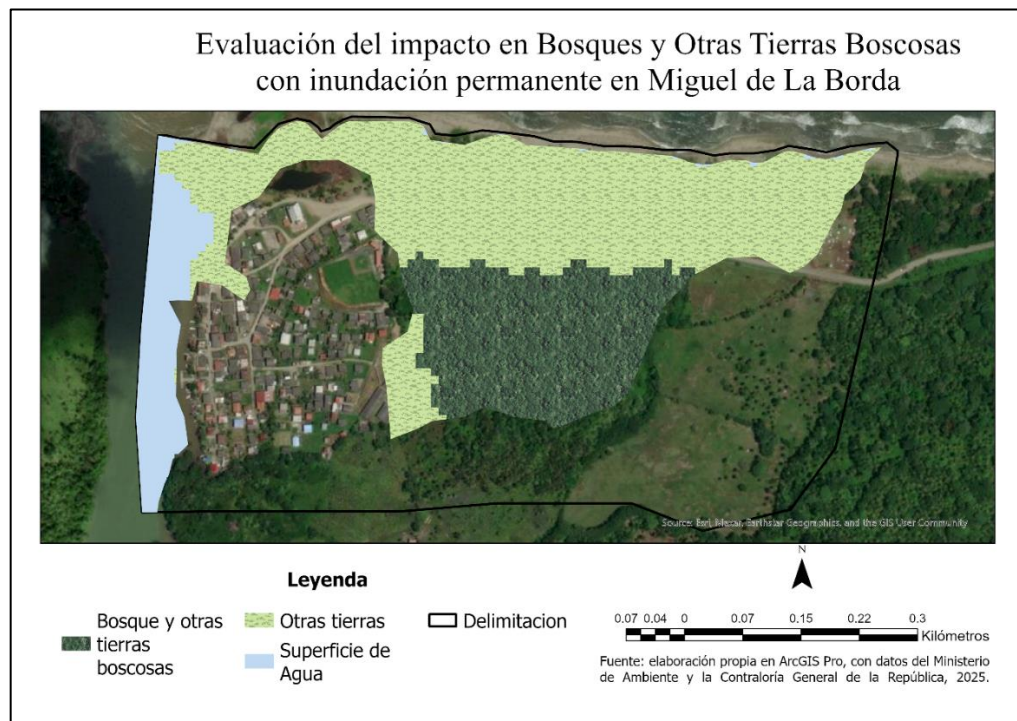
El análisis conjunto de Miguel de La Borda, Gobeia y Salud muestra que, pese a diferencias en magnitud y distribución, las tres comunidades enfrentan alta exposición al ascenso del nivel del mar proyectado al 2050 (SSP5-8.5), combinando amenazas costeras y fluviales, con Miguel de La Borda destacando por su mayor área afectada, Gobeia por su vulnerabilidad a eventos extremos y Salud por su notable mezcla de impactos sobre áreas pobladas.

8.3. Evaluación del impacto

Inundación permanente para Miguel de la Borda:

Ecosistemas (Bosques y otras tierras boscosas): El análisis revela que un total de 174,318.81 m² (aproximadamente 17.43 hectáreas) de cobertura ecosistémica en Miguel de La Borda se ve afectado por la proyección de inundación permanente al 2050. Esta área incluye 57,043.99 m² (5.70 ha) de bosques (5.70 ha) y 117,274.82 m² (11.73 ha) de otras tierras, como arbustales y vegetación secundaria. La pérdida o afectación de estas áreas implica riesgos significativos para los servicios ecosistémicos locales, incluyendo la regulación hídrica, la protección del suelo y la biodiversidad.

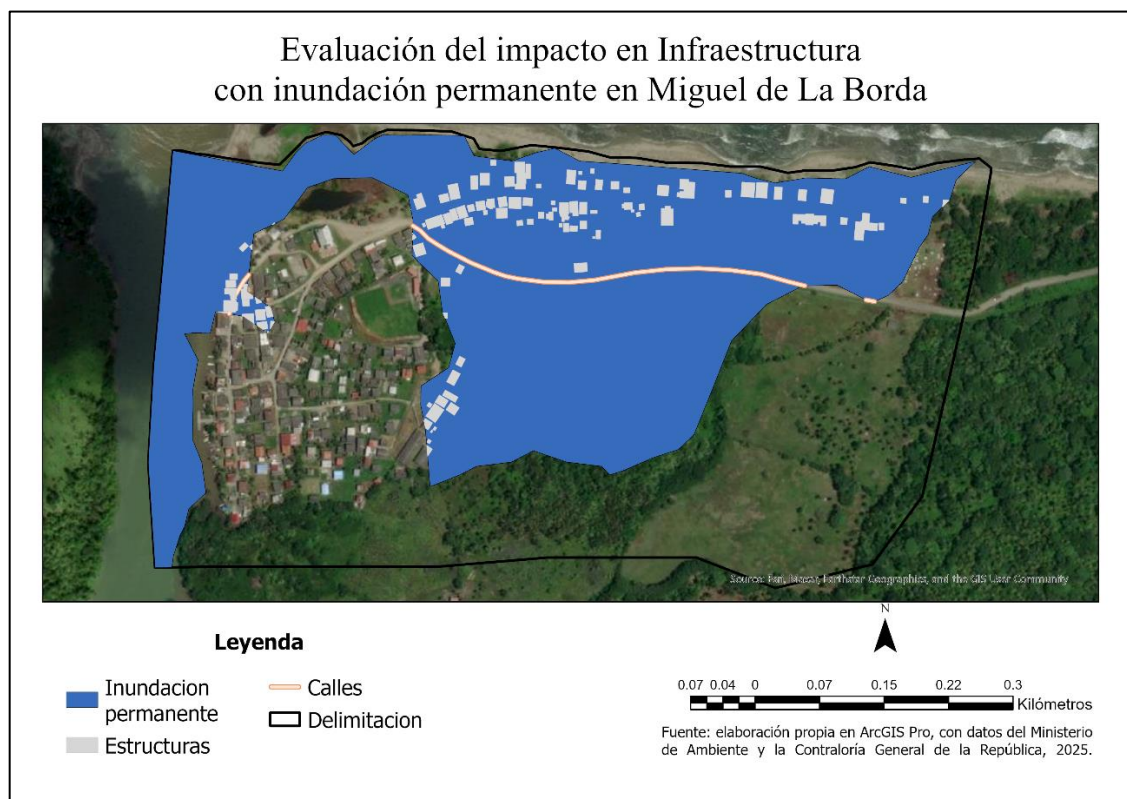
Figura 8 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Boscosas con inundación permanente en Miguel de La Borda



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Infraestructura expuesta: A partir de la intersección de la capa de inundación permanente con los datos de infraestructura, se identificaron 99 estructuras afectadas, de un total de 325 existentes en la comunidad, lo que representa aproximadamente el 30%. Aunque no se cuenta con una clasificación detallada de los tipos de estructuras, la alta densidad de puntos en el área urbana sugiere afectaciones directas a viviendas y edificaciones con posibles usos mixtos. En cuanto a la red vial, se identificó un tramo de 537.4 metros afectado por la mancha de inundación, lo que representa el 51% de los 1,052.2 metros de calle existentes.

Figura 9 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación permanente en Miguel de La Borda



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

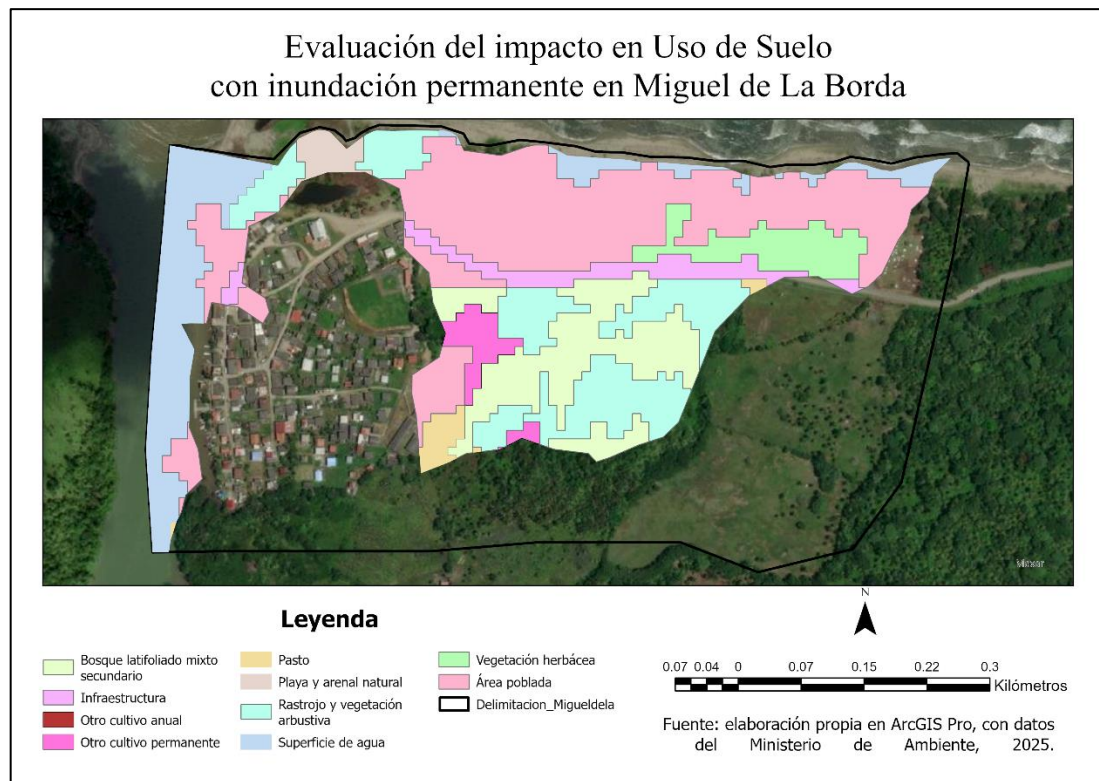
Agricultura y Uso del Suelo: El análisis del uso del suelo en las zonas afectadas por la inundación permanente proyectada al 2050 en Miguel de La Borda evidencia una afectación significativa de diversas coberturas. En cuanto a suelos agrícolas, se identifican 5,303.65 m² (0.53 ha) correspondientes a la categoría "Otro cultivo permanente", lo cual representa un impacto directo sobre áreas productivas de carácter rural. Este tipo de cobertura es fundamental para la economía local, por lo que su afectación podría traducirse en pérdidas en cultivos de ciclo largo y en la estabilidad alimentaria de las familias que dependen de estas actividades.

Adicionalmente, se encuentran comprometidas otras coberturas relevantes del paisaje como:

- Rastrojo y vegetación arbustiva: 34,131.50 m² (3.41 ha)
- Vegetación herbácea: 11,252.86 m² (1.13 ha)
- Bosque latifoliado mixto secundario: 27,198.38 m² (2.72 ha)
- Playa y arenal natural: 3,381.04 m² (0.34 ha)
- Área poblada: 73,198.71 m² (7.32 ha)
- Infraestructura: 10,069.83 m² (1.01 ha)

Estas cifras indican que, además del componente agrícola, existe un impacto considerable en zonas urbanizadas, áreas naturales y ecosistemas asociados. La superposición de la amenaza con usos del suelo diversos refuerza la urgencia de integrar el riesgo climático en la planificación territorial y en los instrumentos de gestión del desarrollo local.

Figura 10 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación permanente en Miguel de La Borda

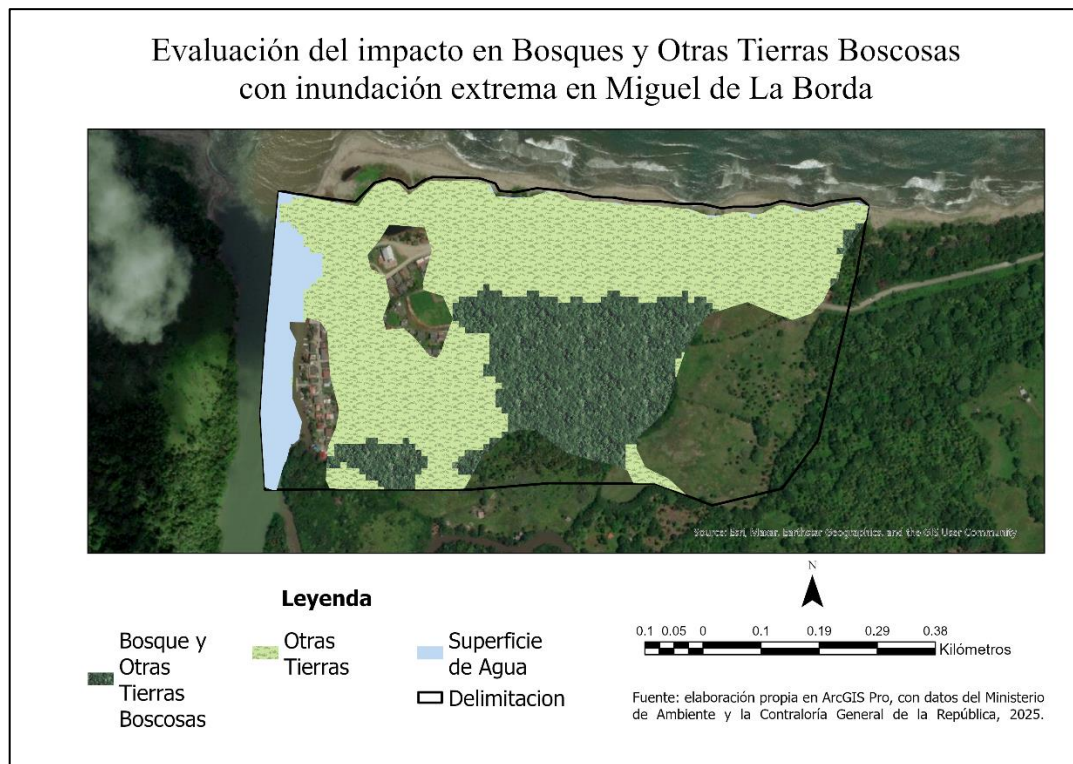


Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente, 2025.

Inundación extrema para Miguel de la Borda:

Ecosistemas (Bosques y otras tierras boscosas): El análisis revela que un total de 284,099.44 m² (aproximadamente 28.41 hectáreas) de cobertura ecosistémica en Miguel de La Borda se ve afectado por la proyección de inundación extrema al 2050. Esta superficie incluye 87,218.62 m² (8.72 ha) de bosques y otras tierras boscosas, que representan áreas con valor ecológico clave, y 196,880.82 m² (19.69 ha) de otras tierras, cuya función puede estar relacionada con cobertura herbácea, áreas alteradas o en transición.

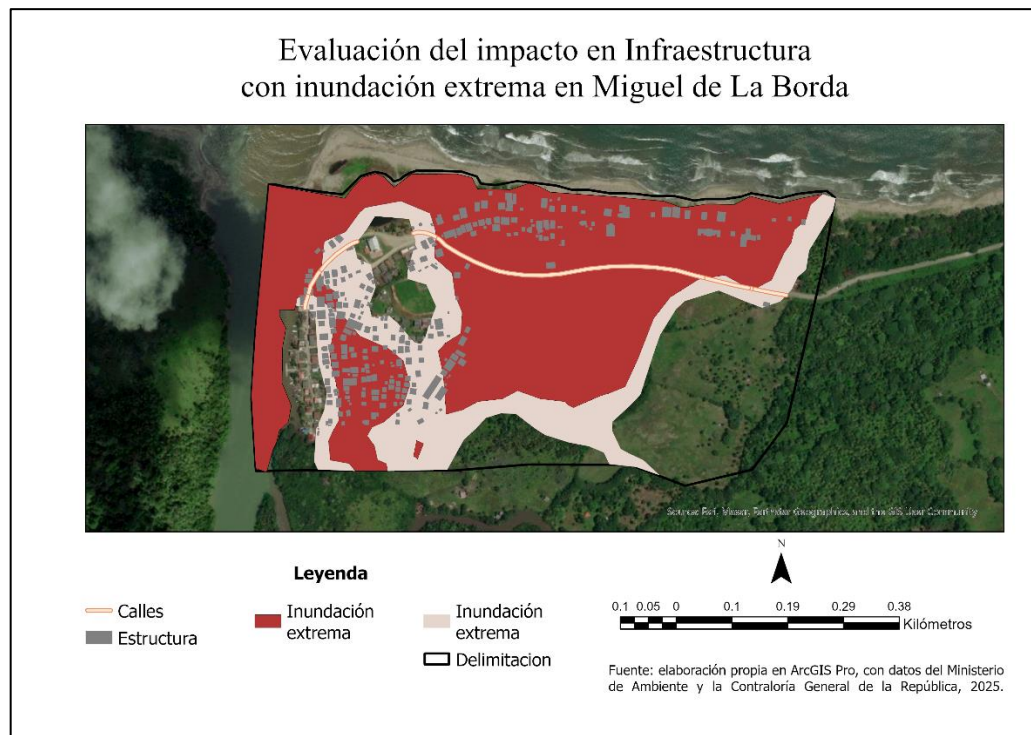
Figura 11 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Boscosas con inundación extrema en Miguel de La Borda



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Infraestructura expuesta: A partir de la intersección de la capa de inundación extrema con los datos de infraestructura, se identificaron 305 estructuras afectadas, de un total de 325 existentes en la comunidad de Miguel de La Borda, lo que representa aproximadamente un 94% del total. Esta cifra evidencia una alta concentración de riesgo estructural en zonas directamente expuestas a eventos extremos proyectados. En cuanto a la red vial, se estimó que 800.79 m de calle se superponen con la mancha de inundación extrema, lo que representa alrededor del 76% del total de 1,052.2 m de vías existentes en la localidad.

Figura 12 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación extrema en Miguel de La Borda



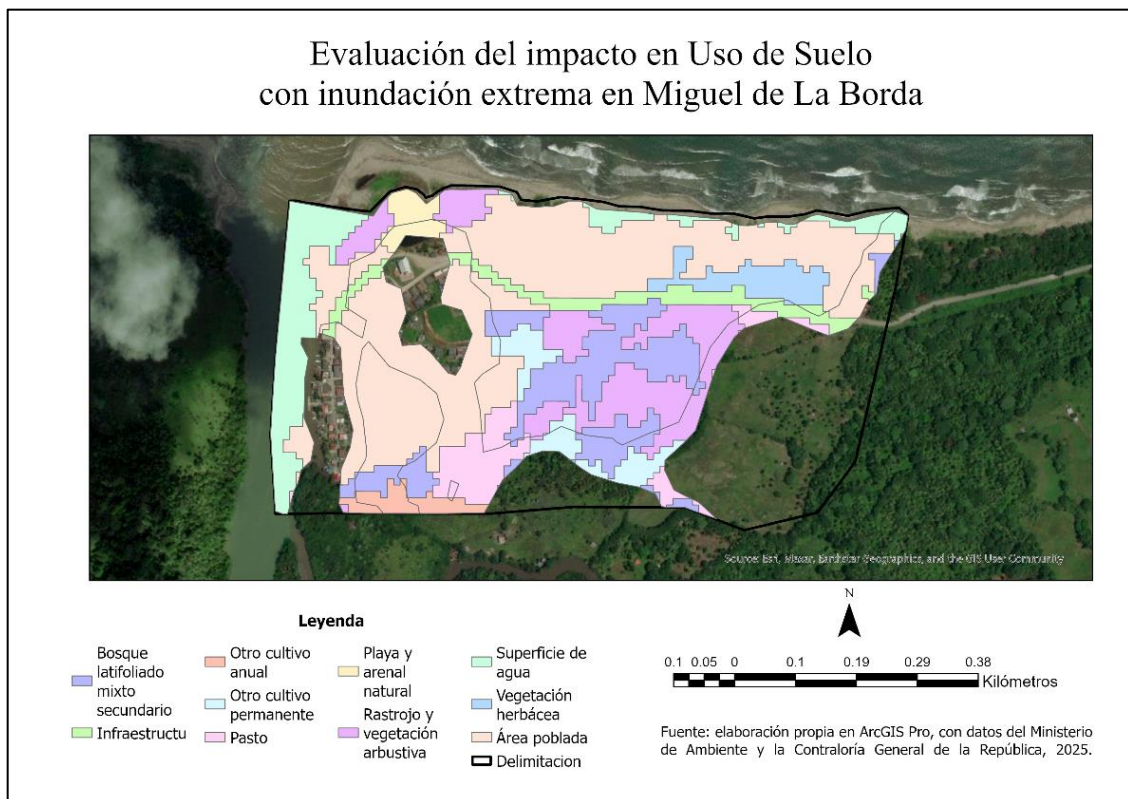
Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Agricultura y Uso del Suelo: El análisis del uso del suelo en las zonas afectadas por la inundación extrema proyectada al año 2050 en Miguel de La Borda evidencia una afectación amplia sobre distintas coberturas del territorio. En el componente agrícola, se identifican 12,533.75 m² correspondientes a “Otro cultivo permanente” y 6,162.33 m² de “Otro cultivo anual”, lo que suma un total de aproximadamente 18,696.08 m² (1.87 ha) de áreas productivas directamente comprometidas por esta amenaza. Estas superficies representan una pérdida potencial de suelos utilizados para actividades agrícolas tanto de corto como de largo plazo, con implicaciones económicas y sociales para la comunidad rural.

Además, la inundación extrema compromete otras coberturas clave del paisaje:

- Rastrojo y vegetación arbustiva: 40,130.93 m² (4.01 ha)
- Vegetación herbácea: 11,300.00 m² (1.13 ha)
- Bosque latifoliado mixto secundario: 39,700.79 m² (3.97 ha)
- Playa y arenal natural: 5,748.92 m² (0.57 ha)
- Área poblada: 129,131.37 m² (12.91 ha)
- Infraestructura: 15,003.90 m² (1.50 ha)
- Pasto: 16,773.27 m² (1.68 ha)

Figura 13 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación extrema en Miguel de La Borda

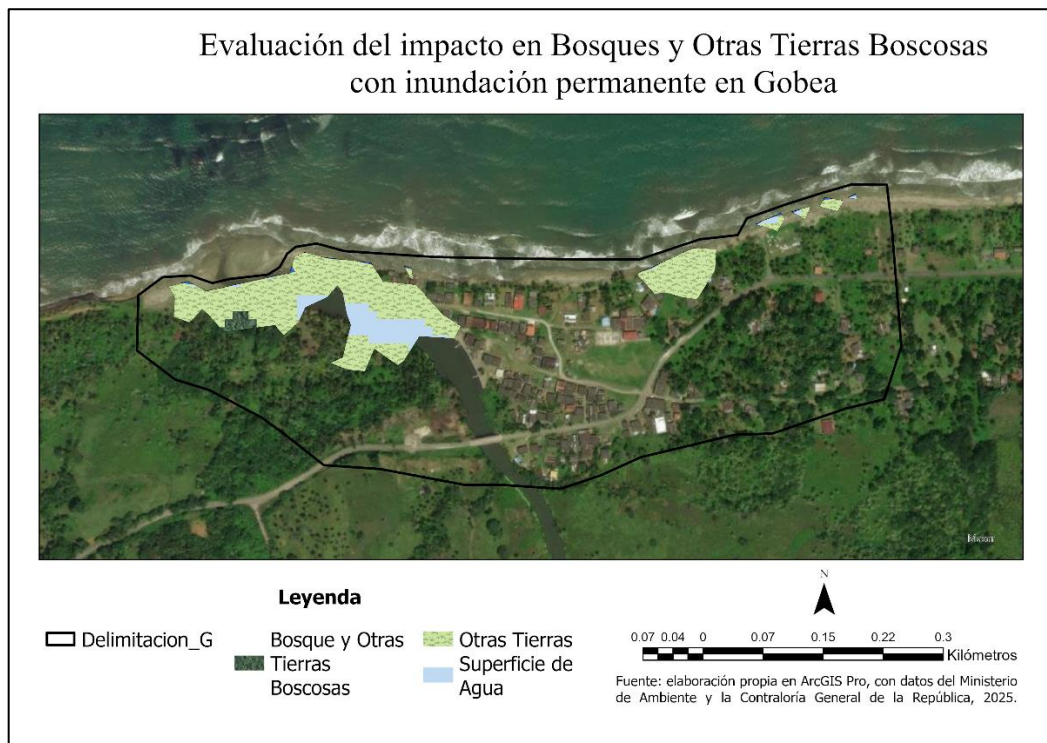


Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Inundación permanente para Gobeá:

Ecosistemas (Bosques y otras tierras boscosas): El análisis ecosistémico revela una afectación total de 23,803.01 m² (2.38 hectáreas) en Gobeá bajo el escenario de inundación permanente proyectada al 2050. Esta superficie se distribuye en: Bosques y Otras Tierras Boscosas: 740.15 m² (0.07 ha) y Otras Tierras: 23,062.86 m² (2.31 ha). Aunque la afectación directa a bosques es mínima, las "otras tierras" representan la mayor parte del área impactada, lo que implica posibles daños a zonas naturales clave para la conectividad ecológica y la resiliencia frente al cambio climático.

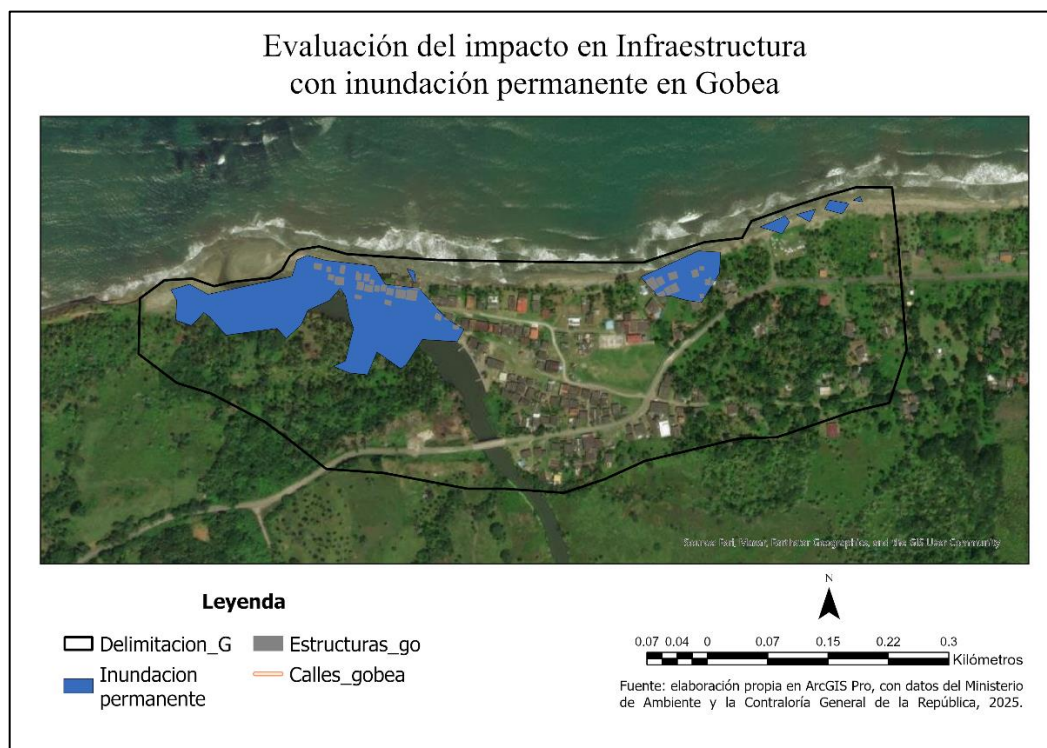
Figura 14 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Boscosas con inundación permanente en Gobeá



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Infraestructura expuesta: El análisis de infraestructura en Gobeia muestra una afectación limitada pero relevante. De un total de 228 estructuras identificadas, se estima que 38 estarían dentro del área de inundación permanente, lo que representa aproximadamente un 17% del total. Esta proporción sugiere una afectación puntual sobre edificaciones, principalmente en zonas cercanas al litoral o áreas bajas. En cuanto a la red vial, Gobeia cuenta con 1,109.4 metros lineales de calles, sin embargo, ningún tramo se superpone con la mancha de inundación permanente, indicando que al menos en este escenario de amenaza, la accesibilidad terrestre no se vería interrumpida directamente.

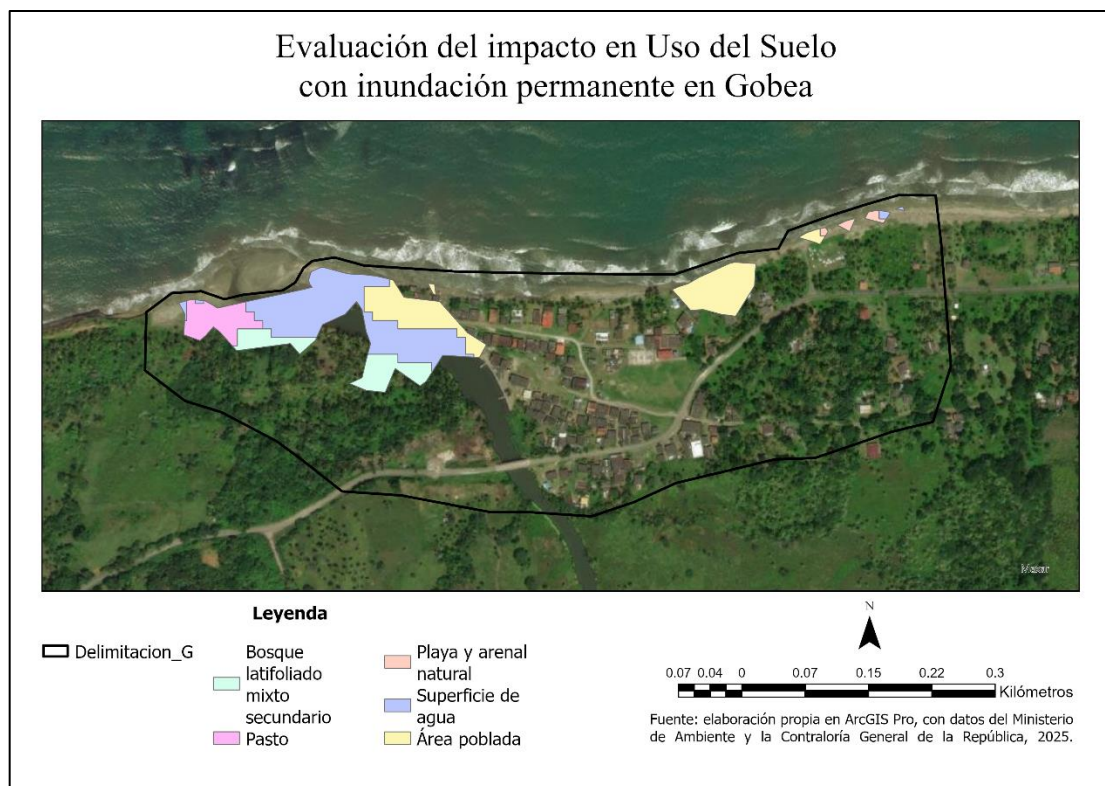
Figura 15 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación permanente en Gobeia



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Agricultura y Uso del Suelo: La mancha de inundación permanente interseca con varios tipos de cobertura del suelo, entre los que destacan: Área poblada: 8,722.03 m² (0.87 ha), lo que evidencia una afectación directa a espacios habitados o con usos urbanos. Bosque latifoliado mixto secundario: 3,896.47 m² (0.39 ha), afectando parte del ecosistema local. Playa y arenal natural: 421.05 m² (0.04 ha), lo que indica exposición de zonas costeras. Pasto: 3,002.65 m² (0.30 ha), aunque esta categoría no se considera agrícola clave, puede tener un uso ganadero o paisajístico menor.

Figura 16 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación permanente en Gobe

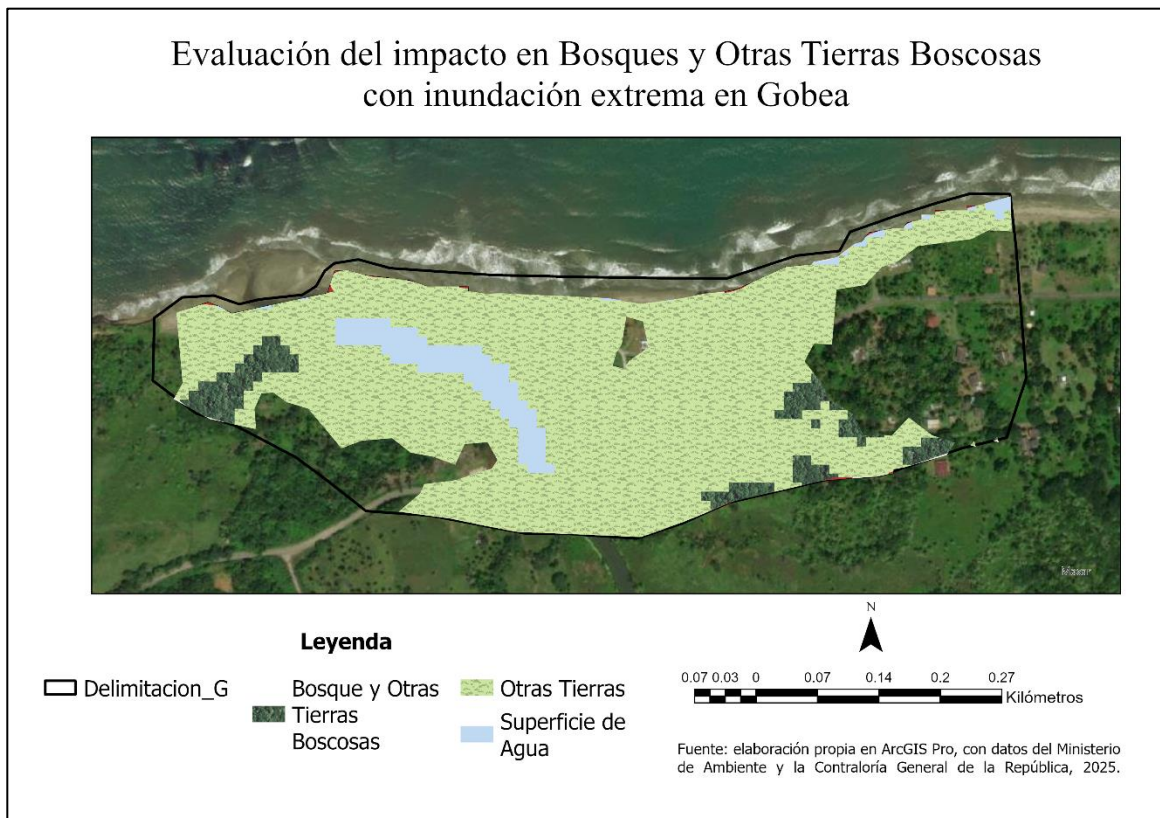


Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Inundación extrema para Gobeá:

Ecosistemas (Bosques y otras tierras boscosas): En el componente ecosistémico, se calculó un total para Bosque y otras tierras boscosas de 10,557.63 m² (1.06 ha) y Otras tierras: 138,308.56 m² (13.83 ha). Si bien la afectación directa a áreas boscosas es menor, la gran proporción de "otras tierras" afectadas refleja una alteración significativa del paisaje, lo que podría impactar la conectividad ecológica, la biodiversidad y la regulación natural del agua.

Figura 17 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Boscosas con inundación extrema en Gobeá

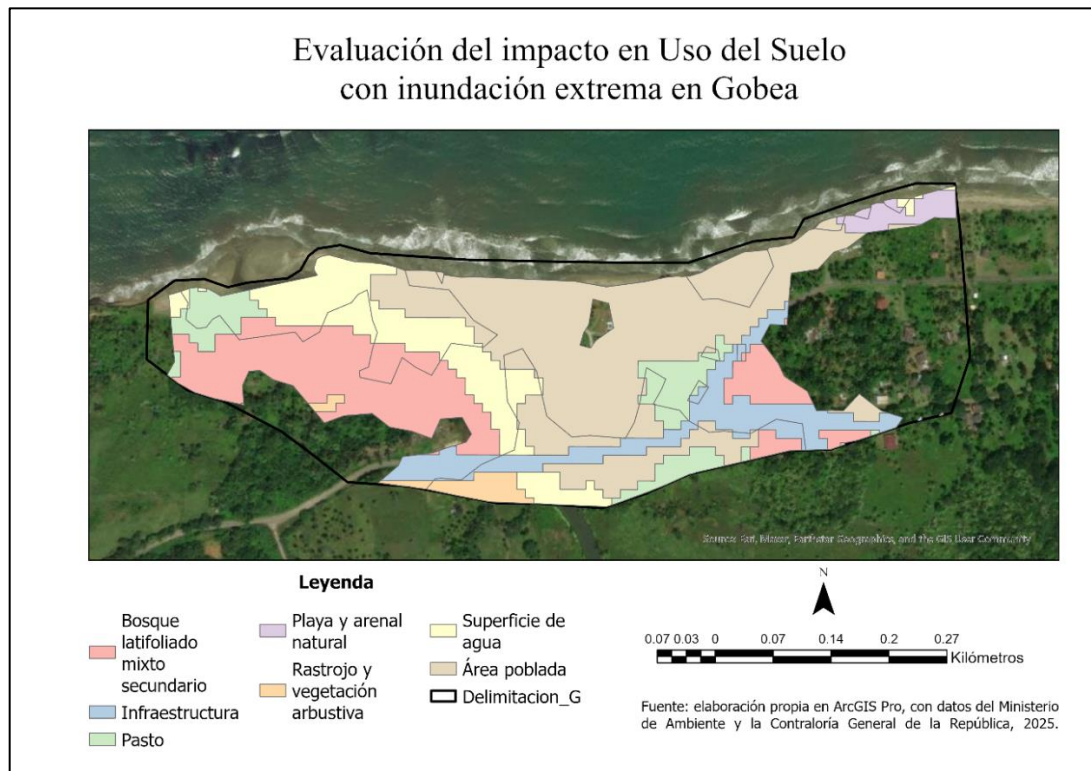


Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Agricultura y Uso del Suelo: La mancha de inundación extrema interseca con varios tipos de cobertura del suelo, entre los que destacan:

- Área poblada: 63,346.81 m² (6.33 ha)
- Infraestructura: 17,101.49 m² (1.71 ha)
- Playa y arenal natural: 3,615.13 m² (0.36 ha)
- Pasto: 12,983.63 m² (1.30 ha)
- Bosque latifoliado mixto secundario: 34,954.10 m² (3.50 ha)
- Rastrojo y vegetación arbustiva: 3,653.58 m² (0.37 ha).

Figura 19 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación extrema en Gobeá

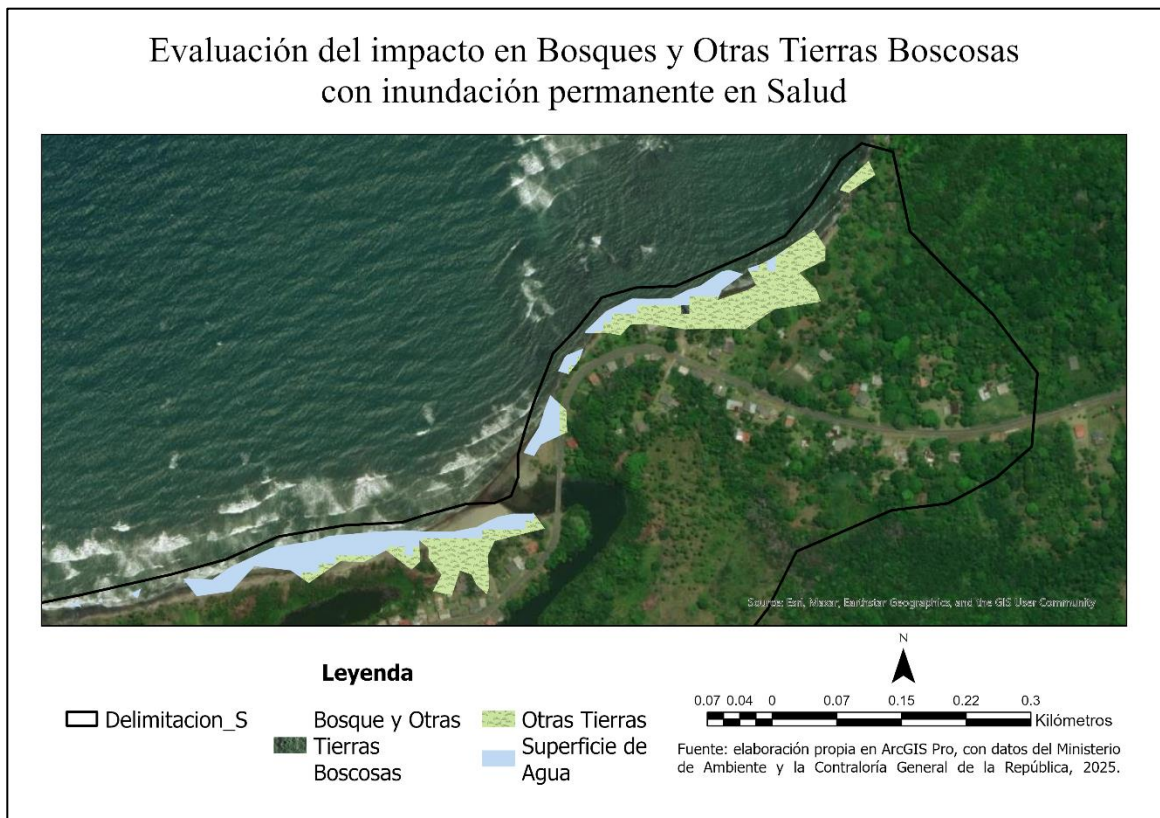


Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Inundación permanente para Salud:

Ecosistemas (Bosques y otras tierras boscosas): La afectación directa sobre cobertura boscosa es mínima en este caso. Para la categoría de bosque y otras tierras boscosas se reflejan 100 m² (0.01 ha). Para otras tierras la superficie total con probabilidad de afectación es de 16,364.89 m² (1.64 hectáreas). Estas zonas podrían incluir matorrales, vegetación secundaria o áreas de transición, las cuales cumplen funciones ecológicas relevantes para la resiliencia local.

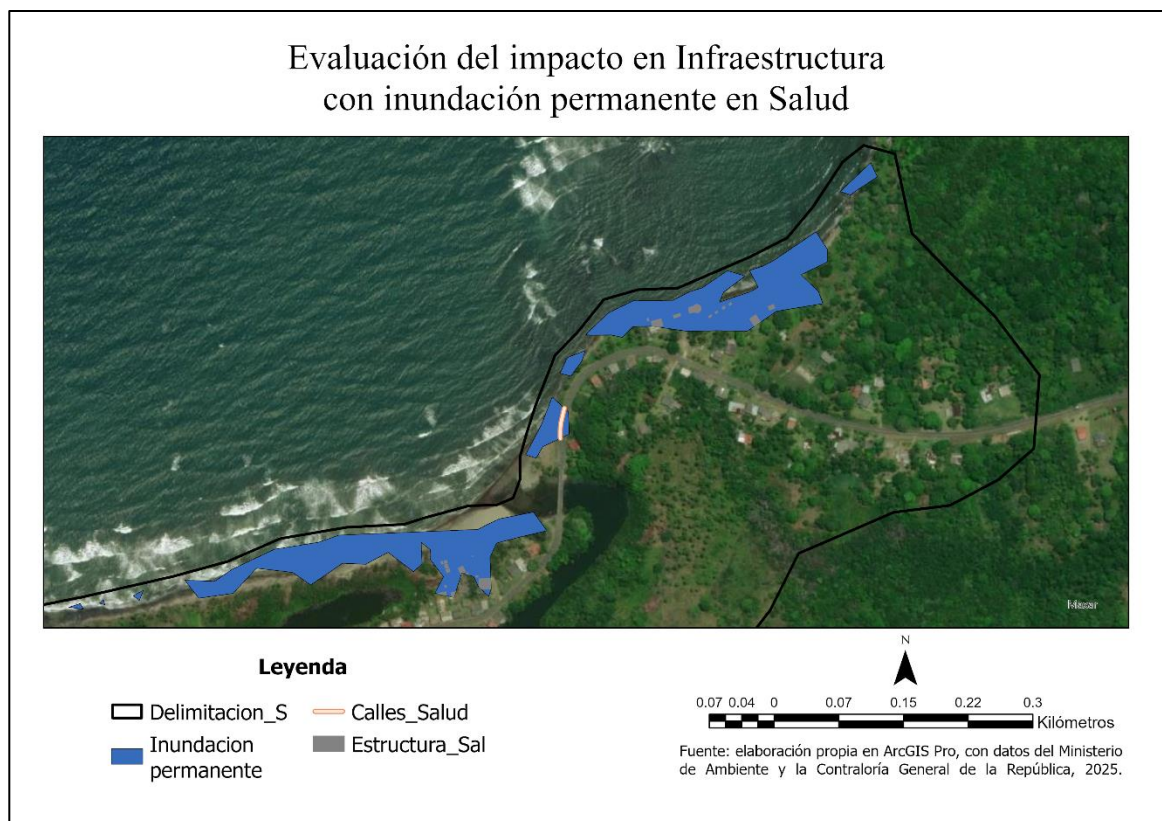
Figura 20 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Boscosas con inundación permanente en Salud



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Infraestructura expuesta: Se identificaron 18 estructuras con probabilidad de afectación, de un total de 249 estructuras existentes, lo que representa un 7.23% del total. Aunque el porcentaje es bajo, estas edificaciones podrían estar ubicadas en zonas vulnerables, lo que justifica su consideración en procesos de planificación preventiva. Un tramo de 35.36 metros de calles se podría ver afectado por la inundación permanente, lo que representa aproximadamente el 2.06% de los 1,714.55 metros de calles existentes en la comunidad.

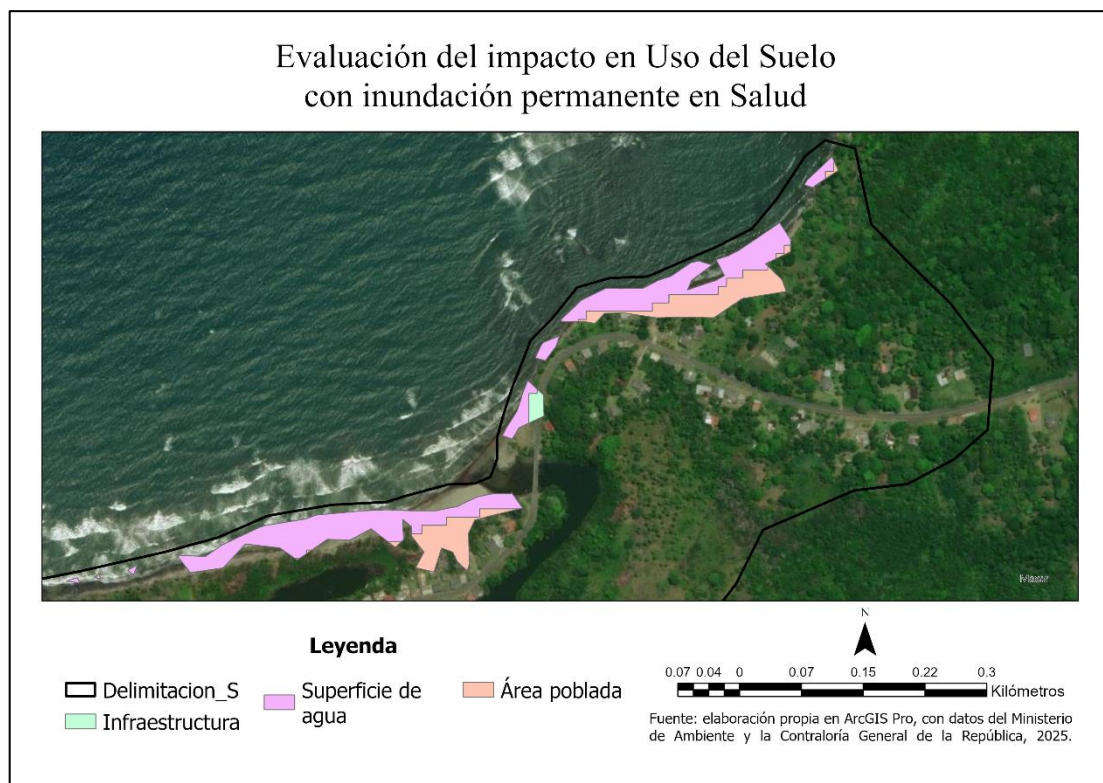
Figura 21 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación permanente en Salud



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Agricultura y Uso del Suelo: El análisis de uso de suelo en la comunidad de Salud revela una afectación significativa sobre áreas urbanas y espacios construidos. La categoría “Área poblada” presenta una superficie de 8,468.94 m², lo que evidencia una exposición directa de en asentamientos humanos a la amenaza de inundación permanente. Además, se identifican 579.90 m² correspondientes a infraestructura, lo cual podría incluir edificaciones comunitarias, institucionales o de servicios. Cabe destacar que no se registran áreas agrícolas afectadas por la proyección de inundación permanente en esta comunidad, lo que sugiere que el impacto se concentra principalmente en espacios urbanos.

Figura 22 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación permanente en Salud

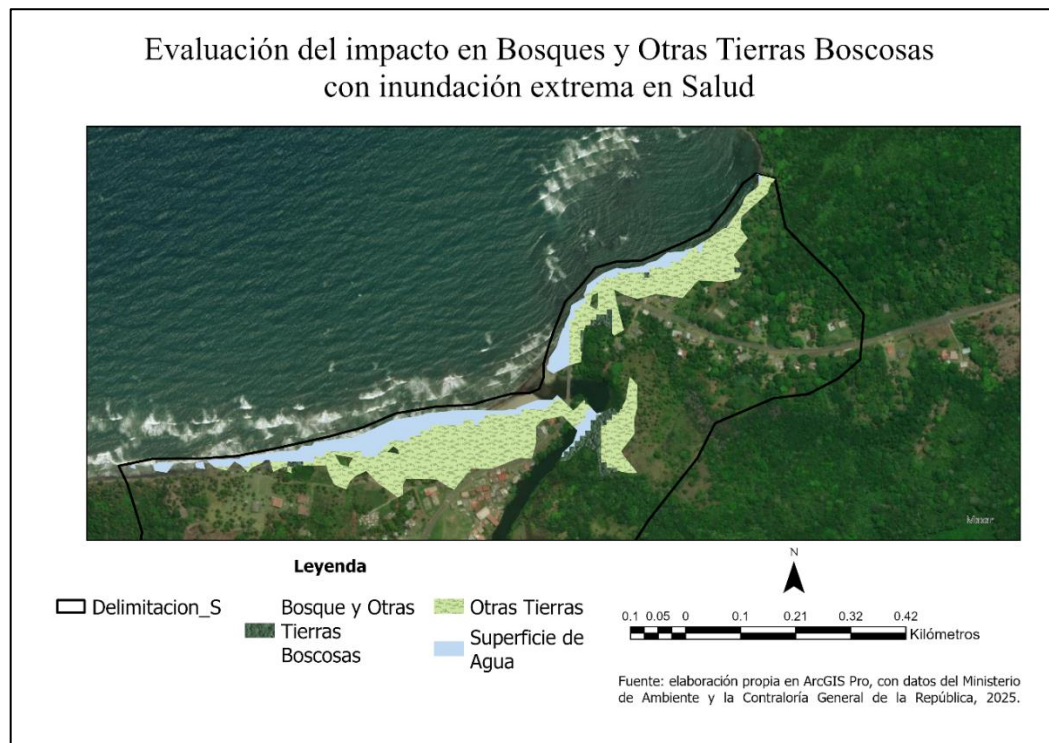


Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Inundación extrema para Salud:

Ecosistemas (Bosques y otras tierras boscosas): Se estima que 5,487.47 m² (0.55 ha) de bosques y otras tierras boscosas se verían afectadas. Adicionalmente, se identifican 67,574.97 m² (6.76 ha) correspondientes a otras tierras, posiblemente áreas de transición, vegetación secundaria o zonas no clasificadas como bosque denso. Aunque la superficie de bosque afectado es menor, la afectación sobre estas "otras tierras" representa un compromiso relevante para la conectividad ecológica y los servicios ecosistémicos locales, como la protección frente a la erosión o el drenaje natural del agua.

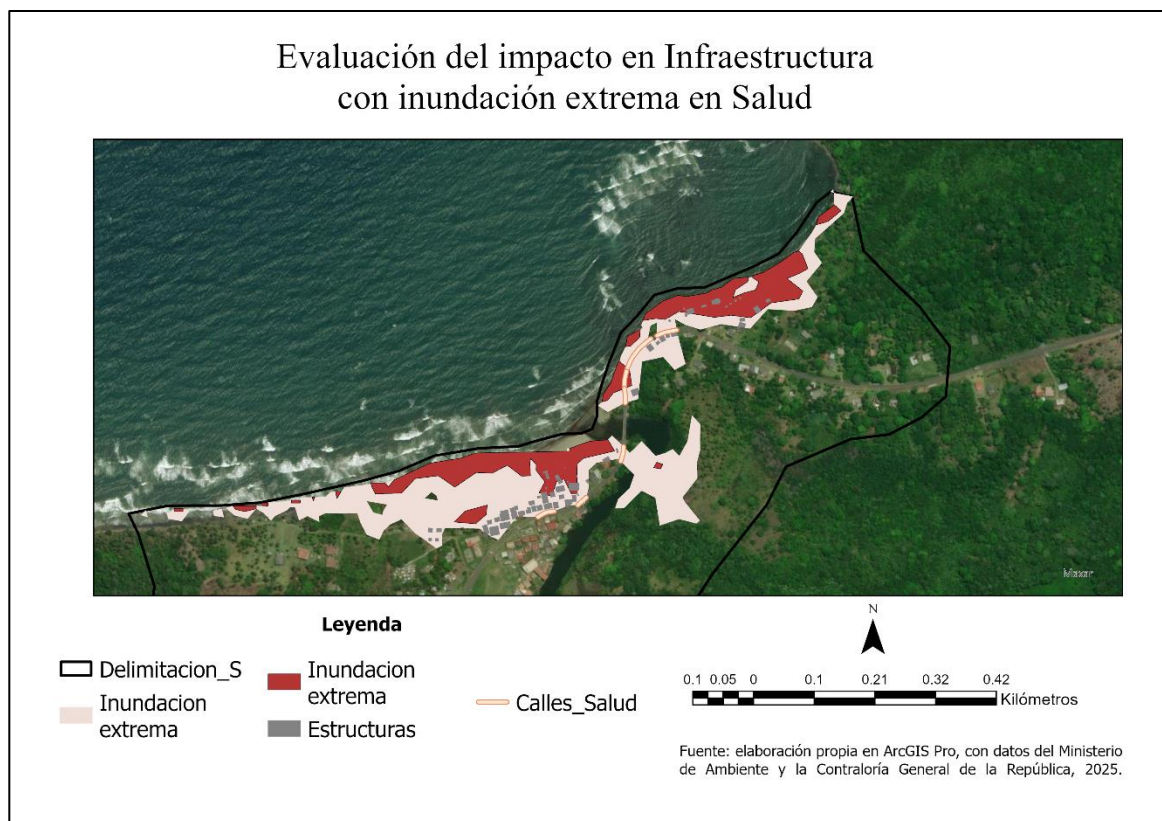
Figura 23 Evaluación del impacto en Bosques y Otras Tierras Boscosas con inundación extrema en Salud



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Infraestructura expuesta: Se identificaron 69 estructuras afectadas por la mancha de inundación extrema, de un total de 249 existentes en la comunidad, lo que representa una afectación del 27.7%. Aunque no se dispone de una clasificación por tipo de estructura, la alta concentración en zonas pobladas sugiere que muchas corresponden a viviendas o edificaciones con fines comunitarios o comerciales. En cuanto a la red vial, se estiman 236.94 metros de calles impactadas, lo que equivale al 13.8% del total de 1,714.55 metros existentes.

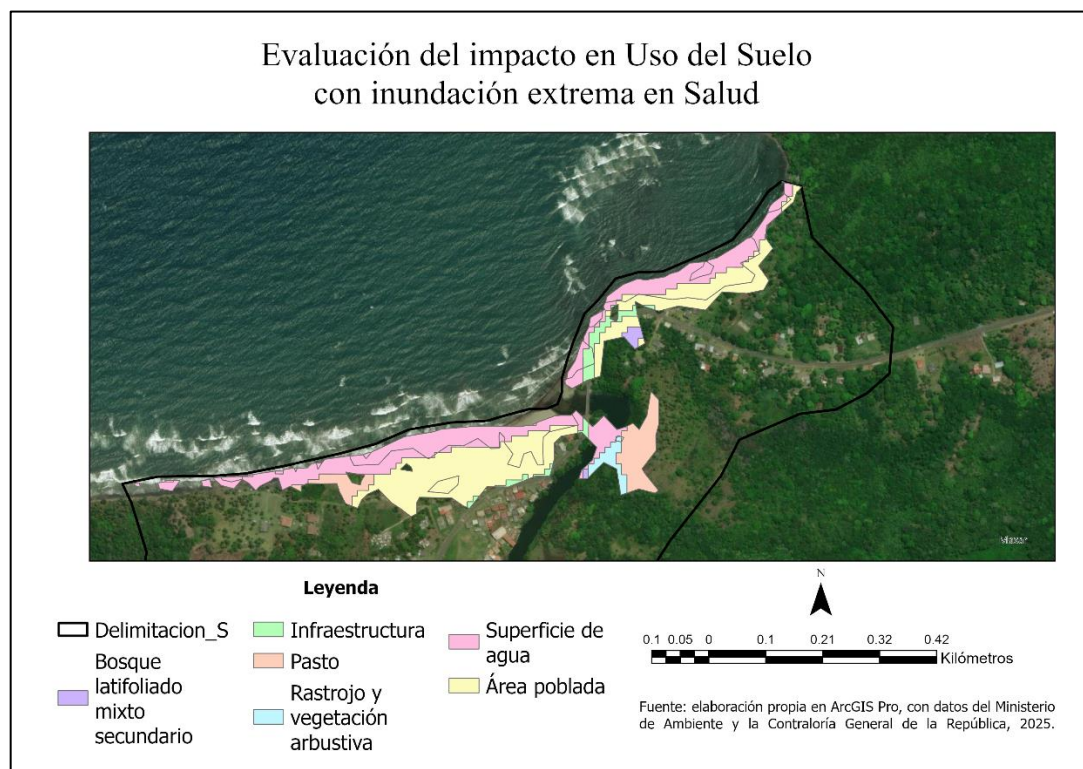
Figura 24 Evaluación del impacto en Infraestructura con inundación extrema en Salud



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

Agricultura y Uso del Suelo: La superficie total de área poblada bajo la mancha de inundación extrema asciende a 41,697.75 m² (4.17 ha), lo cual indica una afectación directa a zonas residenciales. A esto se suman otras coberturas relevantes como: Infraestructura: 3,906.55 m² (0.39 ha), Rastrojo y vegetación arbustiva: 2,359.67 m² (0.24 ha), Bosque latifoliado mixto secundario: 1,092.30 m² (0.11 ha), Pasto: 10,558.26 m² (1.06 ha). Estas cifras reflejan una amenaza significativa sobre zonas urbanizadas, elementos de infraestructura pública y áreas naturales abiertas, lo que puede afectar tanto la seguridad de las personas como el entorno productivo y ecológico de la comunidad.

Figura 25 Evaluación del impacto en Uso del Suelo con inundación extrema en Salud



Fuente: elaboración propia en ArcGIS Pro, con datos del Ministerio de Ambiente y la Contraloría General de la República, 2025.

8.4. Trabajo de campo

El 16 de febrero de 2025 se realizaron visitas a las comunidades de Miguel de la Borda, Gobeá y Salud, como parte del trabajo de campo en las zonas de estudio. Para facilitar la identificación de áreas vulnerables, se llevaron mapas impresos de cada comunidad, los cuales fueron utilizados en el sitio para anotar observaciones y obtener las coordenadas geográficas de los puntos críticos. Estos mapas se encuentran en los Anexos 2, 3 y 4.

Estas visitas permitieron validar los resultados preliminares y observar cómo la inundación por ascenso del nivel del mar podría afectar las infraestructuras y la vida de estas comunidades. También sirvieron para conocer mejor la realidad del lugar, entender los desafíos que enfrentan las comunidades y las acciones que han podido tomar, o que aún no han sido posibles, para hacer frente a la situación.

A continuación, se presentan los resultados de estas visitas, con información sobre la ubicación de cada sitio y fotografías tomadas durante el recorrido, para cada una de las tres comunidades.

Cuadro 2 Ficha técnica de recopilación de información en Miguel de la Borda

Lugar Visitado	Coordenadas UTM		Observaciones generales
	E	N	
Ferretería Multi Ahorro	0576666	1012019	Es una pequeña plaza con restaurante Jenni, la ferretería y otros locales comerciales.
Zona inundada a orilla de la costa con viviendas	0576290	1012077	Casas de zinc, techos de paja y algunas con paredes de bloque.
Zona de Puerto y casas	0576219	1012014	Puerto sin infraestructura. Solamente amarran los botes. Casas de bloques.
Algunas casas abandonadas	0576212	1011880	Viviendas abandonadas.

Órgano Judicial	0576737	1012093	Situado a orilla de la zona de playa.
Info Plaza – Cobre Panamá	0576891	1012084	Infraestructura de Cobre Panamá.
Escuela Miguel de la Borda	0576407	1011850	No aplica.
Tribunal Electoral	0576761	1012092	Situado a orilla de la zona de playa.
Procuraduría de la Nación	0576765	1012090	En proceso de construcción.
SINAPROC	0576912	1012082	En abandono.
Modulares de atención médica del Ministerio de Salud	0576804	1012087	Situado a orilla de la zona de playa.
Centro de Salud	0576942	1012084	En funcionamiento y en buen estado.
Acumulación de basura en la costa	0576941	1012139	Ubicado a un costado del Centro de Salud
Cancha de deportes	0576960	1012017	Sin observaciones.
Cementerio	0576968	1012013	Sin observaciones.
Servicio Nacional Aeronaval	0576424	1012082	Sin observaciones.
Bohíos en la costa	0576384	1012089	Bohíos cercanos a zona inundada.
Iglesia Virgen del Carmen	0576326	1012041	Situada cerca de áreas de inundación.
Inundación en la costa	0576398	1012084	Sin observaciones.
Restaurante Coco	0576341	1012041	Sin observaciones.
Ferretería Gabriela	0576358	1012052	Sin observaciones.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se presentan algunas imágenes tomadas durante el trabajo de campo, que permiten ilustrar las condiciones observadas en Miguel de la Borda, así como algunas condiciones en la infraestructura y el entorno local.

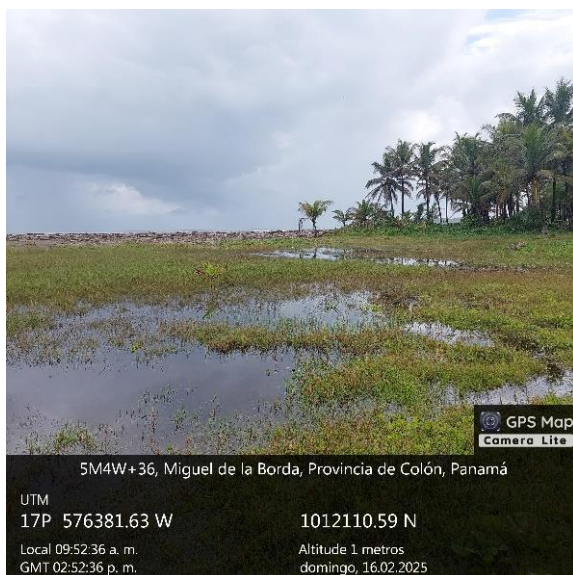


Figura 26 Área inundable entre la orilla del mar y las infraestructuras. Se observa nula protección de barreras verdes.

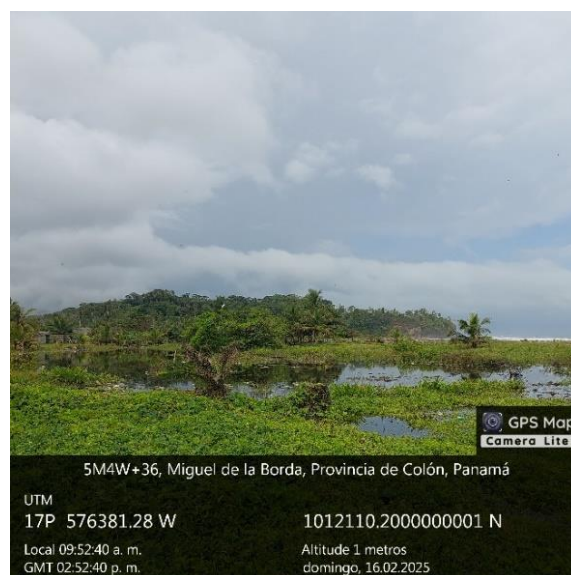


Figura 27 Zona inundada a orilla de la costa con viviendas en el fondo. Se observa nula protección de barreras verdes.

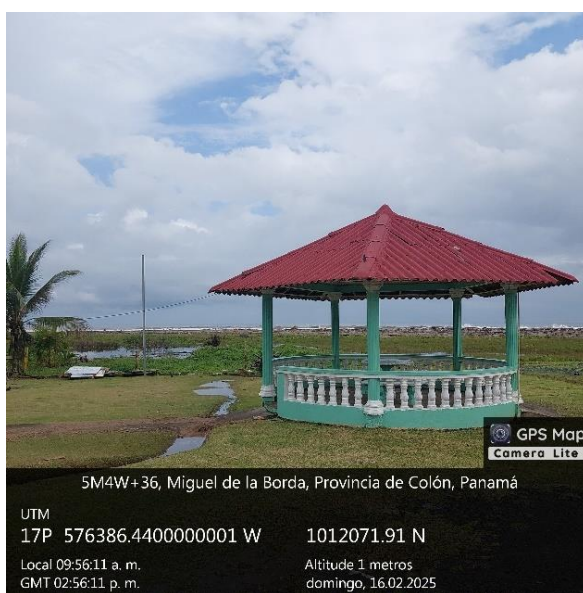


Figura 28 Bohíos cercanos a zona inundada.



Figura 29 Iglesia situada cerca de áreas de inundación.

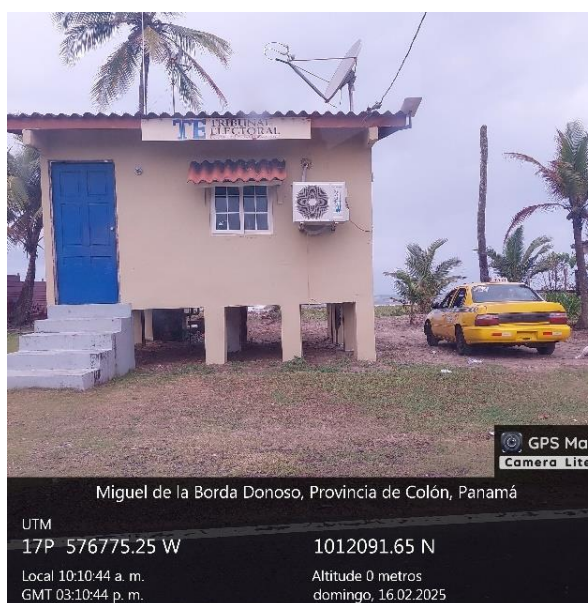


Figura 30 Infraestructura del Tribunal Electoral, elevada sobre pilotes, como una medida preventiva frente a eventos de inundación, situado a orilla de la zona de playa.



Figura 31 Infraestructura del SINAPROC en condición de abandono.



Figura 32 Modulares de atención médica del Ministerio de Salud situado a orilla de la zona de playa.

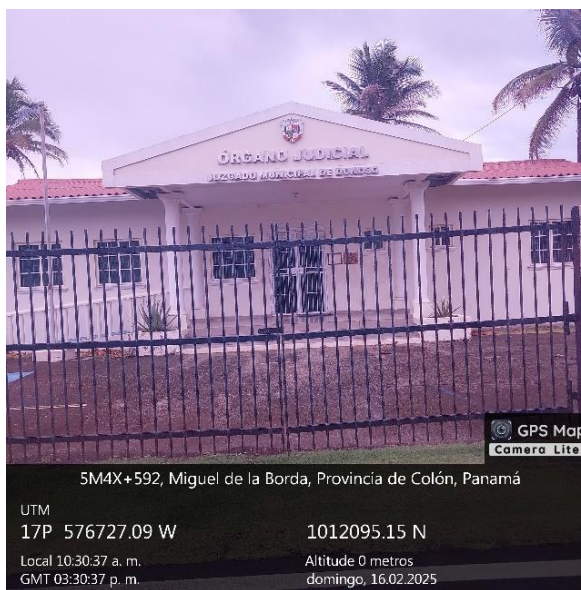


Figura 33 Órgano Judicial situado a orilla de la zona de playa.



Figura 34 Procuraduría de la Nación en proceso de construcción a orilla de la zona de playa.

Durante la visita a Miguel de la Borda se identificaron diversas zonas con infraestructura expuesta a riesgos asociados a inundaciones costeras. La mayor parte de los edificios públicos y servicios básicos, como el Centro de Salud, la Procuraduría, el Tribunal Electoral, el Órgano Judicial e instalaciones médicas modulares, se encuentran ubicados muy cerca de la línea costera, y se observó que no existen barreras naturales o infraestructurales que brinden protección frente al aumento del nivel del mar o eventos extremos, esta falta de vegetación costera incrementa la vulnerabilidad de esta comunidad.

En cuanto a las viviendas, se logró observar construcciones de materiales mixtos, desde casas de zinc y techos de paja hasta estructuras de bloque, muchas de ellas asentadas en

zonas claramente inundables. Algunas viviendas están abandonadas, lo que podría estar relacionado con los impactos recurrentes del clima en la zona o por otras razones relacionadas.

Además, se observó que ciertas infraestructuras, como el del Tribunal Electoral, han sido elevadas sobre pilotes como medida preventiva, lo cual contrasta con otras estructuras, incluso institucionales como la del SINAPROC, que se encuentra en condición de abandono, teniendo un rol clave en la gestión del riesgo.

Un hallazgo importante fue la construcción en curso de la sede de la Procuraduría de la Nación, una obra clasificada como categoría I según la normativa ambiental. A pesar de su categoría, el proyecto se ubica directamente en una zona costera expuesta, lo que evidencia una débil consideración de los riesgos climáticos en el estudio de impacto ambiental de esta categoría.

En la revisión del Estudio de Impacto Ambiental presentado para este proyecto, se identificó que, aunque se describe la zona costera y se señala que el lote no se encuentra directamente sobre el mar, no se realiza un análisis detallado de la exposición a amenazas climáticas, como el aumento del nivel del mar o la erosión costera, lo cual representa una omisión importante. Esta situación refleja una oportunidad para mejorar la incorporación de criterios de riesgo climático y adaptación al cambio climático en los procesos de evaluación ambiental, incluso en proyectos que, por su naturaleza, suelen percibirse como de bajo impacto.

Cuadro 3 Ficha técnica de recopilación de información en Gobeá

Lugar Visitado	Coordenadas UTM		Observaciones generales
	E	N	
Orilla de la calle principal	0578272	1012663	Uso de piedras como barrera ante el oleaje, en la ruta de Miguel de la Borda hacia Gobeá.
Socavación costera	0578502	1012858	Situación en la calle principal, derrumbe, con aproximadamente 30 metros de calle afectada.
Camping Nature Beach Mansueto	0578497	1012847	Local de hospedaje en la ruta de Miguel de la Borda hacia Gobeá.
Puerto Mansueto	0578665	1013266	Puerto de poca infraestructura, en la ruta de Miguel de la Borda hacia Gobeá.
Puente Río Zambo	0580363	1013400	En la ruta de Miguel de la Borda hacia Gobeá.
Puente Río Gobeá	0581805	1013429	Sin observaciones.
Iglesia Católica	0581906	1013535	Sin observaciones.
Rancho Vista Al Mar	0581728	1013607	Hostal pequeño.
Gaviones en borde del río	0581729	1013599	Gaviones a lo largo del borde del río y estación de pequeñas embarcaciones.
Mini Super Gobeá	0581913	1013509	Sin observaciones.
Escuela de Gobeá	0582052	1013542	Sin observaciones.
Ministerio de Salud	0582230	1013626	En buen estado.
Río Gobeita	0583006	1014075	Sin observaciones.
Cementerio Gobeá	0582165	1013652	Situado a orilla de la playa.
Iglesia Evangélica	0582028	1013518	Sin observaciones.
Mini Super Sen 3	0582014	1013475	Sin observaciones.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan algunas imágenes tomadas durante el trabajo de campo, que permiten ilustrar las condiciones observadas en Gobeá.



Figura 35 Socavación costera en la vía entre Miguel de La Borda y Gobe



Figura 36 Evaluación de la socavación costera, medición y toma de coordenadas

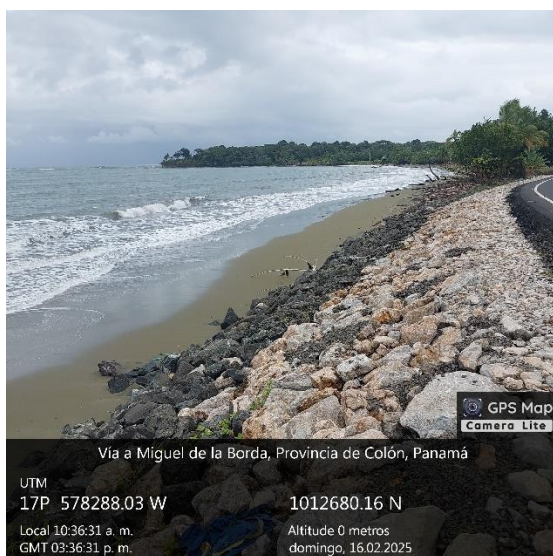


Figura 37 Protección vial con material rocoso

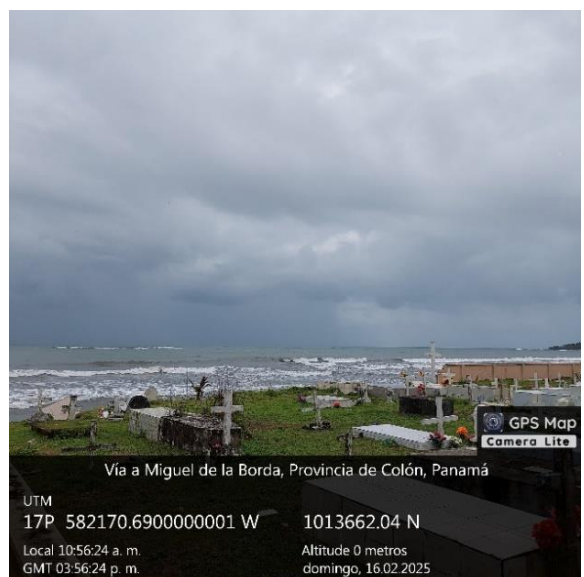


Figura 38 Cementerio de Gobe



Figura 39 Escuela y viviendas en Gobeá situado a orilla de la playa



Figura 40 Ministerio de Salud de Gobeá

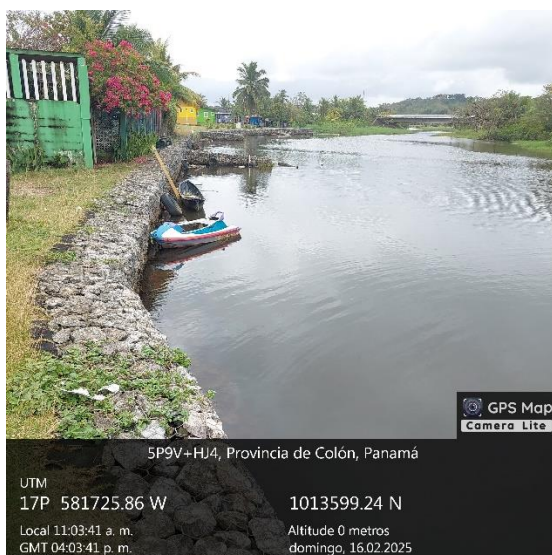


Figura 41 Protección con gaviones en la orilla del río Gobeá

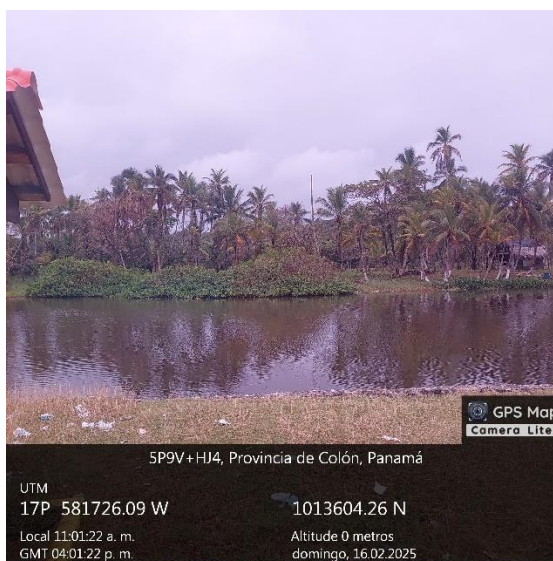


Figura 42 Poca vegetación ribereña en el río Gobeá

Durante el recorrido por la comunidad de Gobeá, se identificaron zonas con afectaciones visibles asociadas a la dinámica costera y fluvial, así como elementos de infraestructura

relevantes. Uno de los principales hallazgos fue la socavación costera en la vía principal que conecta Miguel de la Borda con Gobeá, específicamente en un tramo de aproximadamente 30 metros, donde se evidenció colapso parcial de la calzada. Esta situación fue documentada y georreferenciada (Figuras 35 y 36).

Como medida de contención ante el impacto del oleaje, se ha colocado material rocoso a lo largo de ciertos tramos vulnerables de la vía (Figura 37). No obstante, se observó que estas defensas aún requieren seguimiento técnico para evaluar su efectividad a largo plazo.

En el área costera del poblado, se identificó que tanto la escuela como el cementerio se encuentran situados muy cerca de la línea de playa (Figuras 38 y 39), lo que podría representar un riesgo futuro ante un posible ascenso del nivel del mar o eventos extremos. En cuanto a servicios básicos, el centro de salud se encuentra en buen estado y no presenta afectaciones visibles (Figura 40).

A lo largo del río Gobeá, se identificaron tramos con protección mediante gaviones (Figura 41), sin embargo, también se evidenció escasa cobertura de vegetación ribereña en ciertos sectores (Figura 42), lo cual podría comprometer la estabilidad de las riberas y aumentar la vulnerabilidad frente a crecidas o erosión fluvial.

En resumen, Gobeá presenta zonas con intervenciones de mitigación frente a amenazas naturales, aunque se requiere fortalecer la protección costera y fluvial.

Cuadro 4 Ficha técnica de recopilación de información en Salud

Lugar Visitado	Coordenadas UTM		Observaciones generales
	E	N	
Escuela Salud	0595404	1017913	Sin observaciones.
Iglesia	0595479	1017977	Sin observaciones.
Junta Comunal e Infoplaza	0595501	1017987	Sin observaciones.
Río Salud	0595625	1018049	Estación de pequeñas embarcaciones.
Puente sobre río Salud	0595666	1018163	Sin observaciones.
Balneario La Ensenada	0595814	1018353	Centro de Recreación Salud
Cantina Donde Daniel	0595525	1018001	Sin observaciones.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan algunas imágenes tomadas durante el trabajo de campo, que permiten ilustrar las condiciones observadas en Salud.



Figura 43 Escuela de Salud



Figura 44 Junta comunal e Infoplaza

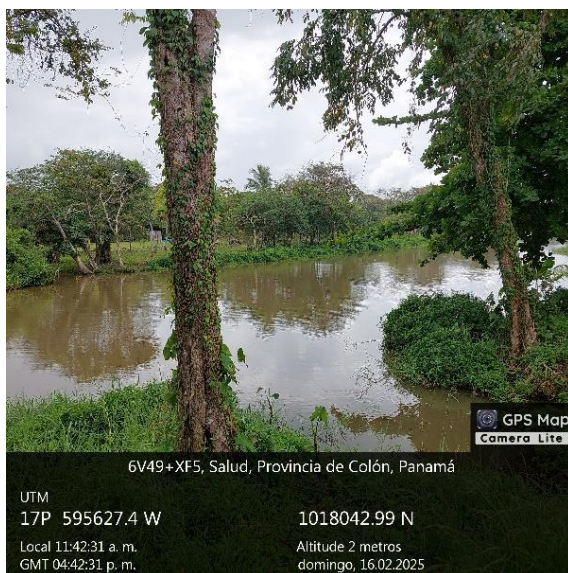


Figura 45 Río Salud y espacio de pequeñas embarcaciones

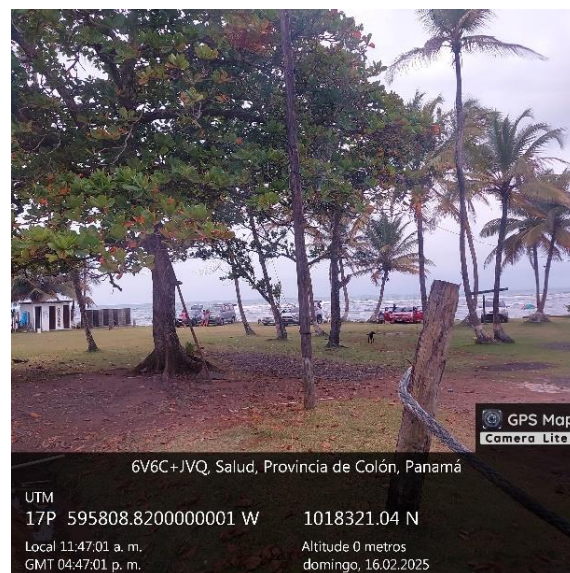


Figura 46 Centro de Recreación de Salud - Turismo

Durante el recorrido en la comunidad de Salud, se constató que la mayoría de las infraestructuras visitadas se encontraban en buen estado y no presentan afectaciones visibles asociadas al ascenso del nivel del mar o eventos extremos costeros. Tanto la escuela (Figura 43) como la junta comunal e infoplaza (Figura 44) se mantienen operativas y sin daños aparentes.

En el área ribereña, se identificó un punto utilizado como estación de pequeñas embarcaciones en el río Salud (Figura 45), el cual podría requerir adecuaciones en caso de intensificación de lluvias o mareas extraordinarias, ya que se encuentra en una zona de baja elevación y vegetación densa.

Asimismo, se documentó la existencia del balneario La Ensenada, que funciona como centro de recreación turística para la comunidad (Figura 46). Esta zona muestra

condiciones ambientales estables, con vegetación costera presente y sin evidencias de erosión o deterioro significativos.

En general, la comunidad de Salud presenta una situación favorable en cuanto a infraestructura y entorno natural, sin hallazgos críticos. No obstante, se recomienda mantener monitoreo en las áreas aledañas al río, especialmente en puntos de embarque, para prevenir riesgos futuros asociados a crecidas o cambios en el comportamiento hidrológico del afluente.

Otros hallazgos

En el caso de Río Indio, cabe mencionar que fue uno de los poblados considerados inicialmente para el trabajo de investigación. No obstante, tras realizar una visualización general del posible ascenso del nivel del mar en la zona, se constató que el poblado se encuentra a una elevación considerable respecto a la orilla del mar, estimada entre los 10 y 15 metros sobre el nivel del mar (msnm). Esta condición topográfica reduce significativamente el riesgo de inundación directa por ascenso del nivel del mar en el área poblada. Sin embargo, se identificó que las afectaciones potenciales podrían manifestarse río adentro, a través de la intrusión de agua marina o el incremento del nivel del río en caso de eventos extremos.

Las siguientes imágenes ilustran las condiciones observadas en la zona, tanto del entorno fluvial como de la desembocadura del río en el mar Caribe.



Figura 47 Desembocadura del río Indio hacia el mar Caribe



Figura 48 Viviendas ubicadas a orillas del río Indio en el área poblada



Figura 49 Intervención comunitaria para restablecer el flujo del río hacia el mar ante obstrucción en la desembocadura

8.5. Clasificación de niveles de riesgo

Con base en los valores de ascenso del nivel del mar proyectados al 2050 bajo el escenario SSP5-8.5 (confianza media y período de retorno de 50 años), se establecieron rangos cualitativos para clasificar el nivel de riesgo de inundación en cinco categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Esta clasificación se realizó considerando la magnitud del ascenso (en metros) proyectado para las manchas de inundación permanente y extrema.

Dado que los valores de ascenso registrados son consistentes entre las tres comunidades analizadas (Miguel de La Borda, Gobeia y Salud), se aplicó la misma escala de clasificación para cada escenario. Es importante señalar que estos rangos tienen un carácter relativo y comparativo, definidos para diferenciar los niveles de amenaza entre escenarios y comunidades dentro del presente análisis. A continuación, se detallan los valores de ascenso observados por comunidad:

Cuadro 5 Valores de ascenso del nivel del mar por comunidad

Comunidad	Inundación permanente	Inundación extrema
Miguel de La Borda	entre 0.52 y 0.53 m	entre 0.72 y 1.73 m
Gobeia	valor constante de 0.52 m	entre 0.71 y 1.73 m
Salud	entre 0.52 y 0.53 m	0.64 y 1.73 m

Fuente: elaboración propia, 2025.

Estos rangos reflejan que la inundación permanente representa una amenaza constante pero localizada, mientras que la inundación extrema implica una mayor variabilidad espacial y severidad, especialmente ante eventos de magnitud poco frecuente. Con base

en estos valores, se propone las siguientes tablas de referencia para la clasificación de los niveles de riesgo:

Cuadro 6 Nivel de riesgo para la inundación extrema proyectadas al 2050, escenario SSP5-8.5, confianza media y período de retorno de 50 años.

Nivel de riesgo	Rango de ascenso del nivel del mar (m)
Muy alto	1.50 – 1.73
Alto	1.20 – 1.49
Medio	0.90 – 1.19
Bajo	0.60 – 0.89
Muy bajo	< 0.60

Fuente: elaboración propia, 2025.

Cuadro 7 Nivel de riesgo para la inundación permanente proyectadas al 2050, escenario SSP5-8.5, confianza media y período de retorno de 50 años.

Nivel de riesgo	Rango de ascenso del nivel del mar (m)
Muy alto	≥ 0.60
Alto	0.55 – 0.59
Medio	0.50 – 0.54
Bajo	0.45 – 0.49
Muy bajo	< 0.45

Fuente: elaboración propia, 2025.

Bajo esta clasificación, todas las comunidades presentan un riesgo medio por inundación permanente, dado que sus valores se ubican entre 0.52 y 0.53 metros. En cuanto a la inundación extrema, los valores alcanzan hasta 1.73 metros, lo que posiciona a estas localidades en un nivel de riesgo que varía entre medio y muy alto, dependiendo de la profundidad proyectada en las zonas más expuestas. Esta información resulta clave para

la priorización de medidas de adaptación, ordenamiento territorial y preparación ante desastres.

8.6. Análisis general del impacto por ascenso del nivel del mar

El análisis integrado de las tres comunidades evaluadas, Miguel de La Borda, Gobeia y Salud, evidencia un patrón claro de exposición diferencial ante el ascenso del nivel del mar proyectado para el año 2050, bajo los escenarios de inundación permanente y extrema. Cada comunidad presenta características particulares que influyen en su grado de vulnerabilidad, determinadas por su ubicación geográfica, configuración territorial, densidad poblacional, y estado de la infraestructura.

Miguel de La Borda destaca como la comunidad más expuesta y vulnerable en ambos escenarios. En cuanto a infraestructura, se proyecta que 99 estructuras serían afectadas por inundación permanente, y 305 por inundación extrema (94% del total de estructuras). La red vial también muestra un alto nivel de compromiso, con 537.4 metros afectados en el escenario permanente (51%) y 800.79 metros en el extremo (76%). En términos de uso del suelo, se identifican múltiples coberturas críticas afectadas, incluyendo área poblada, infraestructura, zonas agrícolas, bosques, vegetación secundaria y playas, lo que agrava el impacto al comprometer tanto medios de vida como servicios ecosistémicos. El trabajo de campo validó estos hallazgos, observándose construcciones institucionales clave ubicadas muy cerca del litoral, algunas incluso en proceso de construcción, como es el caso de la Procuraduría de la Nación.

Gobea, en contraste, presenta una afectación reducida ante inundación permanente, con solo 38 estructuras proyectadas como afectadas, y sin tramos viales impactados directamente. Sin embargo, bajo inundación extrema, el impacto se incrementa considerablemente, con 229 estructuras comprometidas (89%) y 750.82 metros de vialidad afectados (68%). El uso del suelo muestra que áreas pobladas, bosques secundarios, vegetación herbácea, y playas estarían bajo amenaza, sumando a la preocupación por la cercanía de la infraestructura básica a la costa. Durante el trabajo de campo se identificaron procesos activos de socavación costera y la instalación de defensas con material rocoso y gaviones, lo que indica que ya existen intervenciones para enfrentar amenazas costeras, aunque requieren fortalecimiento técnico y seguimiento.

En el caso de Salud, se proyecta una afectación intermedia. Bajo inundación permanente, se identifican 18 estructuras comprometidas (7.23%) y solo 35.36 metros de vialidad afectada (2%). No obstante, el escenario de inundación extrema incrementa la exposición a 69 estructuras (27.7%) y 236.94 metros de vialidad (13.8%). El análisis de uso del suelo revela que tanto área poblada, infraestructura pública, como zonas naturales, se verían afectadas. Si bien no se identificaron impactos sobre zonas agrícolas, la cercanía de instalaciones clave a cuerpos de agua, como el río Salud, implica una exposición potencial ante crecidas o eventos extremos. El trabajo de campo confirmó la buena condición de la mayoría de las infraestructuras, aunque se señaló la necesidad de monitoreo preventivo en áreas ribereñas.

En conjunto, los resultados subrayan la necesidad urgente de fortalecer la planificación territorial con enfoque de adaptación climática. El riesgo no se distribuye uniformemente,

mientras algunas comunidades como Miguel de La Borda enfrentan un alto riesgo multisectorial, otras como Salud presentan impactos más localizados pero que también requieren atención. La falta de infraestructura de protección natural, como barreras verdes costeras, y la ubicación expuesta de infraestructuras esenciales, son factores comunes que incrementan la vulnerabilidad climática. Estos hallazgos refuerzan la importancia de incorporar criterios de riesgo por ascenso del nivel del mar en los instrumentos de planificación, inversión pública y evaluación ambiental en el nivel local y nacional.

8.7. Generación de recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos del análisis geoespacial de amenaza por ascenso del nivel del mar proyectado al año 2050, y considerando las condiciones observadas durante el trabajo de campo en las comunidades de Miguel de la Borda, Gobeia y Salud, se proponen las siguientes recomendaciones orientadas a la gestión del riesgo y la planificación de medidas de adaptación:

1. Incorporar escenarios de inundación proyectada en la planificación territorial local: Las proyecciones de amenaza deben integrarse en los instrumentos de ordenamiento territorial, especialmente en zonas costeras bajas, para evitar el establecimiento de nuevas infraestructuras en áreas de alta exposición.
2. Desarrollar planes de adaptación comunitaria diferenciados: Las características de amenaza y vulnerabilidad son distintas en cada comunidad, por lo que se requiere diseñar medidas de adaptación específicas, considerando tanto las proyecciones climáticas como los contextos socioeconómicos locales.

3. Priorizar la protección de ecosistemas naturales: Dado que parte de la amenaza afecta áreas boscosas, de vegetación secundaria y zonas de transición, se recomienda promover medidas de conservación y restauración ecológica que refuercen la resiliencia del paisaje frente al avance del mar.
4. Evaluar y fortalecer la infraestructura crítica: Se identificaron tramos significativos de red vial y un número considerable de estructuras expuestas. Es necesario evaluar el estado de estas infraestructuras y desarrollar intervenciones de refuerzo, relocalización o rediseño, según su nivel de exposición.
5. Establecer sistemas de monitoreo y alerta temprana: En comunidades con alta exposición a eventos extremos, como Gobeá, es clave implementar mecanismos de monitoreo ambiental y sistemas comunitarios de alerta temprana para reducir impactos ante tormentas o mareas altas.
6. Fomentar procesos participativos de sensibilización y educación climática: La apropiación local del riesgo es fundamental para la sostenibilidad de cualquier medida. Se sugiere fortalecer las capacidades comunitarias mediante talleres, guías y acciones que promuevan el conocimiento sobre el ascenso del nivel del mar y las opciones de adaptación disponibles.
7. Evaluar la viabilidad de medidas de adaptación como las soluciones basadas en la naturaleza (SbN): Dada la cercanía a cuerpos de agua y la existencia de coberturas naturales, se recomienda considerar intervenciones como la rehabilitación de

manglares, barreras vivas o reforestación costera como soluciones complementarias de bajo costo y alto valor ambiental.

8. Promover estudios complementarios de riesgo y vulnerabilidad: La presente evaluación se centró en la amenaza geoespacial. Se recomienda profundizar con estudios sociales, económicos y ambientales que complementen la caracterización integral del riesgo en las comunidades.

Estas recomendaciones tienen como objetivo orientar acciones a corto, mediano y largo plazo para la gestión adaptativa en comunidades expuestas al ascenso del nivel del mar en la región costera de Colón, contribuyendo así a una planificación más resiliente frente al cambio climático.

9. CONCLUSIONES

El análisis espacial realizado en esta investigación permitió identificar que el ascenso del nivel del mar proyectado al 2050 genera impactos diferenciados en las tres comunidades evaluadas, con implicaciones importantes en términos sociales, ambientales y territoriales.

En primer lugar, Miguel de La Borda se identificó como la comunidad más afectada, con la mayor superficie cubierta por inundación permanente y extrema, así como el mayor número de estructuras impactadas y proporción de red vial comprometida. Esto sugiere una alta vulnerabilidad que debe ser atendida prioritariamente mediante estrategias de reducción de riesgo.

Gobea, por su parte, aunque presenta una menor superficie afectada por inundación permanente, muestra una significativa exposición a la amenaza extrema, particularmente en áreas naturales y zonas pobladas. Esto resalta la necesidad de considerar medidas preventivas ante eventos de gran magnitud, incluso cuando la amenaza de afectación permanente es baja.

Salud exhibe un patrón mixto, con zonas afectadas por ambos tipos de inundación, especialmente en la confluencia fluvial-costera, lo que requiere un enfoque de gestión integrada del riesgo que considere tanto la dinámica marina como la fluvial.

El análisis permitió comprobar que los impactos no se limitan a las áreas urbanas, sino que también afectan ecosistemas, usos agrícolas y otras coberturas del suelo esenciales

para la subsistencia de estas comunidades. Es decir, no solo los asentamientos humanos están en riesgo por ascenso del nivel del mar, sino también la biodiversidad. La superposición de amenazas sobre estos componentes refuerza la urgencia de incluir el riesgo climático en los instrumentos de ordenamiento y desarrollo local.

Finalmente, la metodología utilizada, basada en datos oficiales y herramientas de análisis geoespacial, demostró ser efectiva para cuantificar y visualizar de manera clara los riesgos, y constituye una base replicable para otros territorios vulnerables del país.

A partir de estos hallazgos, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), al comprobarse que el aumento proyectado del nivel del mar representa una amenaza significativa para las zonas costeras de Costa Abajo de Colón. Esta amenaza se manifiesta en impactos concretos sobre infraestructuras, ecosistemas y asentamientos humanos, evidenciando la necesidad de adoptar medidas de adaptación territorial y comunitaria frente al riesgo climático.

10. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que las instituciones competentes integren las proyecciones de ascenso del nivel del mar en los instrumentos de planificación territorial, ambiental y de desarrollo.
2. Se sugiere fortalecer las capacidades institucionales y comunitarias para implementar soluciones basadas en la naturaleza (SbN), como la conservación y restauración de manglares y otras barreras naturales.
3. Se recomienda aplicar la metodología de análisis geoespacial utilizada en esta investigación para otros asentamientos costeros del país, a fin de generar información comparable sobre la exposición al riesgo de inundación permanente y extrema proyectada al 2050.
4. Se sugiere mejorar el levantamiento y la clasificación de información sobre estructuras, infraestructura vial y usos del suelo, permitiendo una mayor precisión en la evaluación del impacto por amenazas climáticas futuras.
5. Se recomienda fomentar investigaciones académicas multidisciplinarias que profundicen en los impactos sociales, económicos y ambientales, incluyendo las pérdidas económicas y no económicas asociadas al ascenso del nivel del mar en comunidades vulnerables, así como en la identificación de soluciones participativas y sostenibles.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Amador, J.A., Alfaro, E.J., Lizano, O.G., Magaña, V.O. (2006) Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: a review. *Prog Oceanogr* 69 (2–4):101–142.
- Atomei, C. (2011). *Monitoring Sea Level Rise in Panama*. Smithsonian Tropical Research Institute.
<https://www.mcgill.ca/pfss/files/pfss/monitoringsealevelriseinpanama.pdf>
- Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP) (2010). Documento de Referencia Para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) en Zonas Marino Costeras y Aguas Continentales. 217pp, Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá. URL: <http://hdl.handle.net/1834/7999>
- BIOMARCC-USAID (2013). Vulnerabilidad y escenarios bioclimáticos de los sistemas marino-costeros a nivel del Caribe centroamericano. San José, Costa Rica. 80 pags
- Camacho, E. (1994). The tsunami of April 22, 1991 in Central America, *Tsunami Newsletter*, Vol. 25, No. 1, pp 6-7.
- Caribbean Community Climate Change Centre. (2017). Building resilience to climate change in the Caribbean. Disponible en: <https://caribbeanclimate.org/>
- CEPAL (2011). Efectos del Cambio Climático en las costas de América Latina y Caribe. Dinámicas, tendencias y variabilidad climática. Septiembre 2015, Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Colle, B.A and Mass, C.F. (1995). *Monthly Weather Review*, Volume 123, 2577-2610.
- Domínguez Álvarez, R. A., & Aizpurúa, A. (2024). Estudio del Cambio del Nivel del Mar en la Dinámica Costera de Punta Chame, Panamá. *REICIT*, 4(1), 142–156.
<https://doi.org/10.48204/reict.v4n1.5387>

- Fernandez, W. and Ramirez, P. (1991). El Nino, the oscillation of the South and its effects in Costa Rica: a review. *Tecnologia en Marcha*, Vol 11, 1) pp 3-10. ISSN: 0379-3982
- Gordón, C. (2024). *Aumento del nivel del mar: impacto en las costas panameñas*. Observatorio de Riesgo Urbano de FSU Panamá y ESRI Panamá. Disponible en: <https://storymaps.arcgis.com/stories/aab3536fe38b41d3a74f2bce632c2e57/print>
- Grajales Saavedra, F., Ciniglio, S., Machado, V., & Vallarino, R. (2021). Análisis de aumento del nivel del mar en Isla Colón, Bocas del Toro. *Revista De Iniciación Científica*, 7(2), 39-49. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v7.2.3337>
- Guevara T., J. M., Douglas, A. I., García-Maraña, K., & Barria, Y. (2022). Determinación de riesgos de desastres e incidencia del cambio climático en la comunidad de Punta Chame, Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, 8(2), 24-31. Disponible en: <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v8.2.3668>
- IPCC. 2001. Glosario de Términos del Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Tercer Informe de Evaluación del OMM Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Disponible en: <https://archive.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- IPCC (2014). Cambio climático 2014: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Parte B: Aspectos regionales. Contribución del Grupo de Trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, V.R. Barros y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press.

- IPCC, 2021a: Annex VII: Glossary [Matthews, J.B.R., V. Möller, R. van Diemen, J.S. Fuglestvedt, V. Masson-Delmotte, C. Méndez, S. Semenov, A. Reisinger (eds.)]. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 2215–2256, doi:10.1017/9781009157896.022.
- IPCC, 2021b: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- IPCC, 2021c: Resumen para responsables de políticas. En: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu y B. Zhou (editores)]. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SummaryVolume.pdf
- IPCC, 2022a: Annex II: Glossary [Möller, V., R. van Diemen, J.B.R. Matthews, C. Méndez, S. Semenov, J.S. Fuglestvedt, A. Reisinger (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-

- O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2897–2930, doi:10.1017/9781009325844.029.
- IPCC, 2022b: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
 - Kwiecinski, B. y D’Croz, L. (2008) «EL CAMBIO CLIMATICO Y SU PROYECCIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR EN LA COSTA DEL PACÍFICO DE PANAMÁ», *Tecnociencia*, 10(2), pp. 95–101. Disponible en: <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/850>
 - Lizano, R.O.G. (2006). Algunas características de las mareas en la costa Pacífica y Caribe de Centroamérica. *Ciencia y Tecnología*, 24(1): 51-64, ISSN: 0378-0524
 - Losada, I.J., Reguero, B.G., Méndez, F.J., Castanedo, S., Abascal, A.J., Mínguez, R. (2013). Long-term changes in sea-level components in Latin America and the Caribbean. *Global and Planetary Change*. 104, 34–50.
 - Martinez, A. (2020). Estudio hidrodinámico de la mar en la isla de Saboga. Trabajo Final de Máster, junio 2020, Departamento de Ciencia e Ingeniería Náuticas, UPC, Barcelona.
 - Martinez, N., and Toulkeridis, T. (2020). Tsunamis in Panama- History, preparation and future consequences. *Science of Tsunami Hazards*, Vol 39, No 2, 53-68. ISSN 8755-6839.

- Melet, A., Meyssignac, B., Almar, R., Le Cozannet, G. (2018). Under-estimated wave contribution to coastal sea-level rise. *Nature Climate Change*, 8(3), 234-239. doi:10.1038/s41558-018-0088-y
- Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE). (2018). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Panamá. Disponible en: <https://sinia.gob.pa/tercera-comunicacion-nacional-sobre-cambio-climatico/>
- Ministerio de Ambiente. 2021. Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático de la República de Panamá. <https://transparencia-climatica.miambiente.gob.pa/biblioteca/#indice-de-vulnerabilidad-al-cambio-climatico/1/>
- Ministerio de Ambiente. 2023. Cuarta Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Disponible en: <https://transparencia-climatica.miambiente.gob.pa/biblioteca/#cuarta-comunicacion-nacional-sobre-cambio-climatico-de-panama/1/>
- Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE) & Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria). (2024). *Dinámicas Marinas en Panamá*. Ministerio de Ambiente. Disponible en: https://sinia.gob.pa/documentacion?_sft_category=cambio-climatico
- Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (Uruguay). (2018). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático en las zonas costeras*. Disponible en: <https://acortar.link/JKzTmC>
- Muis, S., Apecechea, M. I., Dullaart, J., de Lima, R. J., Madsen, K. S., Su J., Yan, K., Verlaan, M. (2020). A High-Resolution Global Dataset of Extreme Sea Levels, Tides, and Storm Surges, Including Future Projections. *Frontiers in Marine Science*, 7, 2296-7745, doi: 10.3389/fmars.2020.00263.

- Muis, S., Güneralp, B., Jongman, B., Aerts, J. C. J. H., y Ward, P. J. (2015). Riesgo de inundaciones y estrategias de adaptación bajo el cambio climático y la expansión urbana: A probabilistic analysis using global data, *Sci. Total, Environ*, 538, 445-457.
- Muis, S., Haigh, I. D., Guimarães Nobre, G., Aerts, J. C. J. H., and Ward, P. J. (2018). Influence of El Niño-Southern Oscillation on global coastal flooding. *Earth's Future*, 6, 1311–1322. <https://doi.org/10.1029/2018EF000909>.
- National Hurricane Center (NHC) Tropical Cyclone Report (2017). Hurricane Otto (AL162016, EP22016).
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517-1520. Disponible en: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1185782>
- NOAA. 2022. Climate Change: Global Sea Level. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level>
- Olmedo, B. (2015). Estado actual de las condiciones del Océano Pacífico y su posible evolución durante el año 2015-2016. Informe de Empresa de Transmisión Eléctrica, S. A. (ETESA), Dirección de Hidrometeorología, Gerencia de Climatología.
- Ortiz J.C., Salcedo B. and Otero L.J. (2014). Investigating the collapse of the Puerto Colombia pier (Colombian Caribbean coast) in March of 2009: Methodology for the reconstruction of extreme events and their impact on the coastal infrastructure. *J. Coast. Res.* 30, 291-300. DOI:10.2112/JCOASTRES-D-12-00062.1.
- Rodríguez, J.R. y Windevoxhel, N.J. (1998). Análisis regional de la situación de la zona marina costera centroamericana. BID, División del Medio Ambiente, Departamento de Desarrollo Sostenible. Washington, D.C. octubre de 1998— No. ENV-121. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/analisis-regional-de-la-situacion-de-la-zona-marina-costera-centroamericana>

- Slangen, A. B. A., Meyssignac, B., Agosta, C., Champollion, N., Church, J. A., Fettweis, X., Ligtenberg, S. R. M., Marzeion, B., Melet, A., Palmer, M. D., Richter, K., Roberts, C. D., and Spada, G. (2017). Evaluating model simulations of twentieth-century sea level rise. Part I: Global mean sea level change. *Journal of Climate*, 30(21), 8539–8563. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-01110.1>
- Vega, G. y Stolz, W. (1997). El fenómeno de “El Niño”, su impacto en la economía de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. 9p.
- Widlansky, M.J., Timmermann, A. and Cai, W. (2015). Future extreme sea level seesaws in the tropical Pacific. *Sci. Adv.* 1, doi:e1500560.
- World Bank. (2019). *Enhancing coastal resilience in Jakarta*. Disponible en: <https://documents1.worldbank.org/curated/fr/748581569515561529/pdf/Strengthening-the-Disaster-Resilience-of-Indonesian-Cities-A-Policy-Note.pdf>

7. ANEXOS

Anexo 1 Listado de lugares poblados potencialmente expuestos a inundación extrema y permanente en la Costa Abajo de Colón al año 2050, bajo el escenario climático SSP5-8.5 con cuantil 50, confianza media y período de retorno de 50 años

N°	Distrito	Corregimiento	Nombre del poblado	Tipo de exposición (Costera/Ribereña)	Punto ubicado en la mancha de inundación(1=Sí/0=No)	Mancha de inundación extrema (1=Sí/0=No)	Mancha de inundación permanente (1=Sí/0=No)	Observaciones
1	CHAGRES	SALUD	JIMENEZ (P)	Costera	1	1	1	El poblado se ubica justo dentro de la mancha de inundación extrema, y de la permanente. El poblado se encuentra cercano a la línea costera.
2	CHAGRES	SALUD	SALUD	Costera	1	1	1	El punto se encuentra claramente dentro de ambas manchas (azul y roja), en zona baja cercana a la desembocadura. Riesgo muy alto por doble exposición (mar y río).
3	CHAGRES	PALMAS BELLAS	SANTA ROSA	Costera	1	1	1	Se encuentra parcialmente dentro de ambas manchas de inundación, lo que indica una alta exposición al riesgo por ascenso del nivel del mar
4	CHAGRES	PIÑA	PIÑA	Costera	1	1	1	El poblado se encuentra parcialmente cubierto por ambas manchas de inundación. La ubicación costera y su proximidad a la desembocadura de un río aumentan su vulnerabilidad.
5	COLON	CRISTOBAL	FUERTE SHERMAN	Costera	1	1	0	El área está completamente cubierta por la mancha de inundación extrema, lo que indica un alto riesgo de afectación por eventos severos del nivel del mar. En esta zona se encuentra el Servicio Nacional Aeronaval (SENAN), lo que incrementa la relevancia de su vulnerabilidad frente a eventos costeros extremos.
6	CHAGRES	LA ENCANTADA	CHARCON (P)	Ribereña	0	0	0	El punto no está dentro de la mancha, pero colinda directamente con inundación extrema y permanente.
7	CHAGRES	LA ENCANTADA	EL CAJON	Ribereña	0	0	0	El punto no está dentro de la mancha, pero colinda directamente con inundación extrema y permanente.
8	CHAGRES	LA ENCANTADA	CHILAR (P)	Ribereña	0	0	0	El punto no está dentro de la mancha, pero colinda directamente con inundación extrema y permanente.
9	CHAGRES	LA ENCANTADA	QUEBRADA EL PEPITO	Ribereña	0	0	0	El punto no está dentro de la mancha, pero colinda directamente con inundación extrema.
10	CHAGRES	LA ENCANTADA	QUEBRADA BONITA	Ribereña	0	0	0	El punto no está dentro de la mancha, pero colinda directamente con inundación extrema y permanente.
11	CHAGRES	LA ENCANTADA	CERRO PELAO (P)	Ribereña	0	0	0	Alejado de las manchas. Exposición baja.

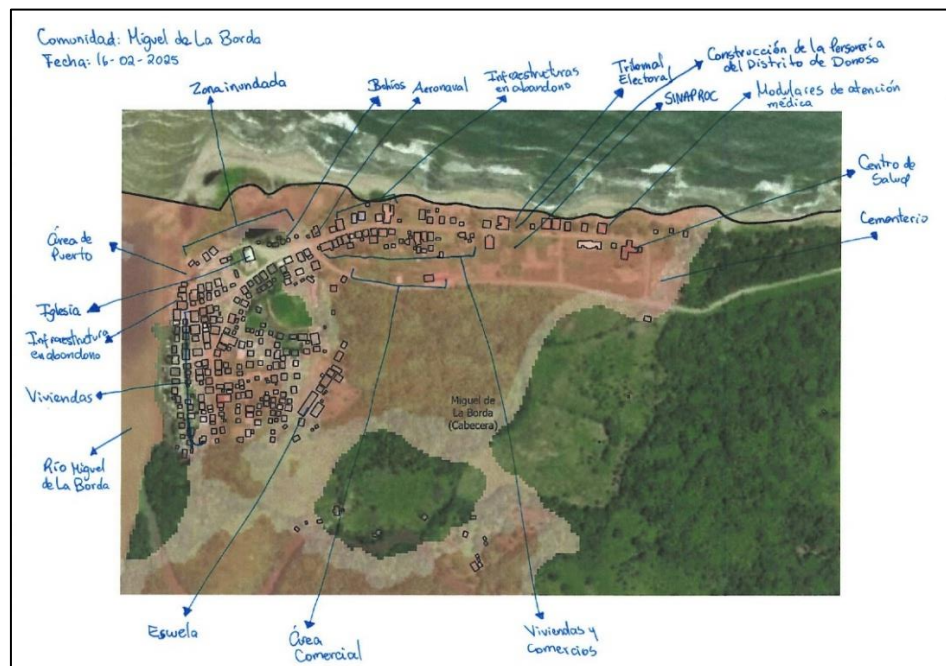
12	CHAGRES	LA ENCANTADA	ALCARRETO	Ribereña	0	0	0	Punto cercano, pero no dentro de mancha.
13	CHAGRES	PALMAS BELLAS	LAS MARGARITAS	Ribereña	0	0	0	Punto cercano, pero no dentro de mancha.
14	CHAGRES	PALMAS BELLAS	RESBALON	Ribereña	0	0	0	El punto se encuentra en la ribera del río y cercano a la mancha de inundación extrema, lo que lo hace vulnerable ante crecidas fluviales severas.
15	CHAGRES	PALMAS BELLAS	JIMENEZ	Costera	1	1	1	El poblado se ubica justo dentro de la mancha de inundación extrema, y de la permanente. El poblado se encuentra cercano a la línea costera.
16	CHAGRES	PALMAS BELLAS	LOS ALGARROBOS	Costera	0	0	0	Punto cercano, pero no dentro de mancha.
17	DONOSO	RIO INDIO	LA CAÑAZA	Ribereña	0	0	0	El punto no está dentro de la mancha, pero colinda directamente con inundación extrema y permanente.
18	DONOSO	RIO INDIO	SANCUDERITO	Ribereña	0	0	0	Enclavado dentro de un “isla” sin cobertura de mancha. Rodeado de riesgo.
19	DONOSO	RIO INDIO	LOMA DE PILONCITO O ALTO PILONCITO	Ribereña	0	0	0	Punto cercano, pero no dentro de mancha.
20	DONOSO	RIO INDIO	EL GUASIMO	Ribereña	0	0	0	Punto cercano, pero no dentro de mancha.
21	DONOSO	RIO INDIO	VENTURA (P)	Ribereña	0	0	0	El punto no está dentro de la mancha, pero colinda directamente con inundación extrema y permanente.
22	DONOSO	RIO INDIO	EL CHARCON (P)	Ribereña	0	0	0	El punto no está dentro de la mancha, pero colinda directamente con inundación extrema y permanente.
23	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	LAS TRES PALMITAS	Ribereña	0	0	0	El punto está fuera de las manchas; cercano a cauce, pero sin intersección.
24	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	ÑAÑO	Costera	1	1	0	Totalmente dentro de la mancha permanente
25	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	MOJA POLLO	Ribereña	1	0	1	Inmerso en zona de inundación extrema
26	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	QUEBRADITA	Ribereña	0	0	0	No se encuentra dentro de las zonas de inundación permanente ni extrema
27	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	BOQUILLA DEL MANGO	Ribereña	0	0	0	El punto está fuera de las manchas; cercano a cauce, pero sin intersección.
28	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	LA IGLESIA	Ribereña	0	0	0	El punto está fuera de las manchas; cercano a cauce, pero sin intersección.

29	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	NUEVO CRISTOBAL	Ribereña	0	0	0	El punto está fuera de las manchas; cercano a cauce, pero sin intersección.
30	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	MIGUEL DE LA BORDA	Costera	1	1	1	Ubicado dentro de ambas manchas de inundación; alta exposición al ascenso del mar.
31	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	EL MANGUITO	Ribereña	0	0	0	El punto no interseca las manchas; está en margen del cauce fluvial.
32	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	LA ZARAGOZA	Ribereña	0	0	0	El punto no interseca las manchas; está en margen del cauce fluvial.
33	DONOSO	MIGUEL DE LA BORDA (CABECERA)	QUEBRADA GRANDE	Ribereña	0	0	0	El punto del poblado no está dentro de las manchas de inundación extrema ni permanente.
34	DONOSO	EL GUÁSIMO	EL GUANABANO	Ribereña	0	0	0	El punto del poblado no está dentro de las manchas de inundación extrema ni permanente.
35	DONOSO	GOBEA	LOMA ALTA	Ribereña	0	0	0	Alejado de zonas de inundación visible; fuera de mancha.
36	DONOSO	GOBEA	LOMA DE GOBEA	Ribereña	1	1	0	Totalmente dentro de mancha extrema; riesgo alto por eventos severos.
37	DONOSO	GOBEA	GOBEA	Costera	1	1	0	Mayor parte dentro de zona roja (extrema); expuesto por cercanía a río Gobeá.
38	DONOSO	GOBEA	VIET COM	Costera	0	0	0	Cercano a zona costera pero no interseca manchas.
39	DONOSO	GOBEA	GOBEITA NO.1	Costera	0	0	0	Cercano a zonas de inundación permanente y extrema; posible riesgo indirecto por proximidad.
40	DONOSO	COCLE DEL NORTE	SAN PEDRO	Ribereña	0	0	0	En margen de cauce, con exposición parcial
41	DONOSO	COCLE DEL NORTE	ISLETA RINCONCITO	Ribereña	0	0	0	Cercano al cauce, pero fuera del área de inundación.
42	DONOSO	COCLE DEL NORTE	COCLE DEL NORTE (CABECERA)	Ribereña	0	0	0	Ubicado sobre río principal
43	DONOSO	COCLE DEL NORTE	BERRACO	Ribereña	1	1	0	Ubicado en la mancha de inundación extrema.
44	DONOSO	COCLE DEL NORTE	ALTO DE YANGREZ	Ribereña	0	0	0	Asentado en orilla de cauce principal
45	DONOSO	COCLE DEL NORTE	ARENAL	Ribereña	0	0	0	Fuera de la zona de amenaza, pero expuesto por cercanía.
46	DONOSO	COCLE DEL NORTE	BOCA DE ESCRIBANO	Ribereña	1	1	1	Situado en desembocadura de río; expuesto a inundación fluvial y costera.
47	DONOSO	COCLE DEL NORTE	SAN ROQUE	Costera/Ribereña	1	1	1	El punto está completamente dentro de la zona de inundación extrema y permanente.

48	DONOSO	COCLE DEL NORTE	BOCA DEL RIO CALZONES	Costera/Ribereña	0	0	0	El punto está fuera de la mancha, pero muy cercano a la ribera y a la costa.
49	DONOSO	COCLE DEL NORTE	QUEBRADA CACIQUE	Ribereña	0	0	0	No se interseca con manchas de riesgo
50	DONOSO	COCLE DEL NORTE	VISTA ALEGRE	Ribereña	0	0	0	Zona ribereña media con vulnerabilidad
51	DONOSO	COCLE DEL NORTE	EL GUABO	Ribereña	0	0	0	Situado al margen del río en zona vulnerable
52	DONOSO	COCLE DEL NORTE	LA MACHA	Ribereña	0	0	0	En ribera principal; parcialmente expuesto
53	DONOSO	COCLE DEL NORTE	QUEBRADA TORTUGA	Ribereña	0	0	0	A orillas de río, pero no dentro de manchas de inundación
54	DONOSO	COCLE DEL NORTE	PALMILLA	Ribereña	0	0	0	No está dentro de la mancha, pero se encuentra muy cerca del borde. Requiere validación en el sitio. Ribera de sistema fluvial, alejado de costa directa
55	DONOSO	COCLE DEL NORTE	QUEBRADA LOS INDIOS	Costera	0	0	0	Cercano a la zona costera e inmediatamente adyacente a las áreas proyectadas de inundación, pero el punto del poblado no se encuentra dentro de la mancha.
56	DONOSO	COCLE DEL NORTE	BELEN	Ribereña	1	1	1	Ubicado sobre un estuario amplio, conexión directa con el mar.
57	DONOSO	COCLE DEL NORTE	MEDIA PLAYA	Costera	1	1	1	Alineado a la costa del Caribe, en contacto directo con zona de riesgo.
58	DONOSO	COCLE DEL NORTE	R3O CAIMITO O CAIMITO	Ribereña	1	1	1	Desembocadura fluvial
59	COLON	COCLE DEL NORTE	BOCA DEL CAÑO	Ribereña	0	0	0	Ubicado sobre cauce, pero fuera de la zona de inundación directa

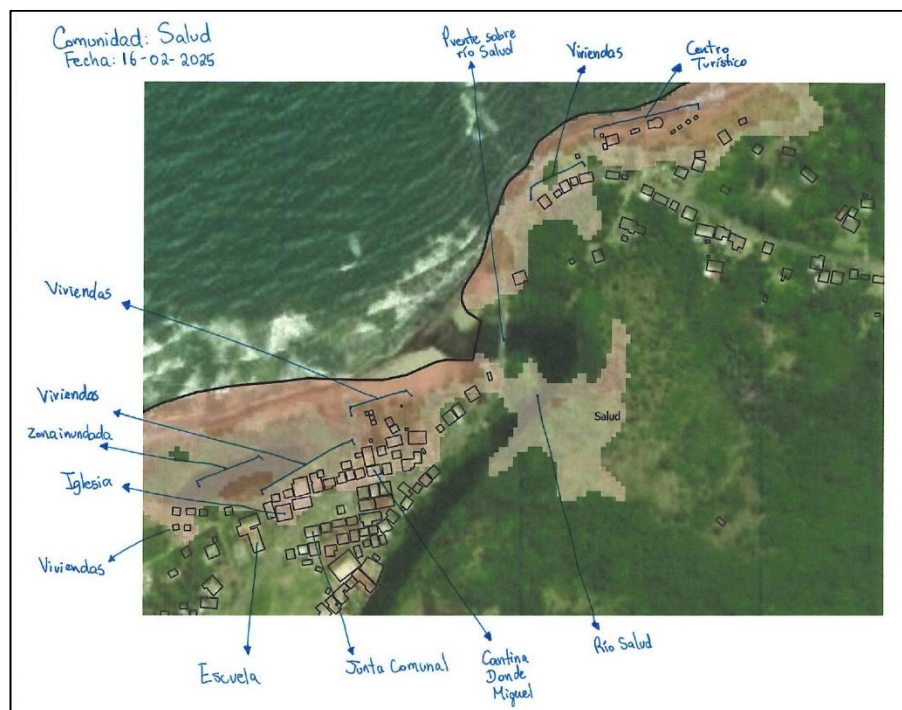
Fuente: elaboración propia, 2025

Anexo 2 Mapa de visita de campo en Miguel de La Borda



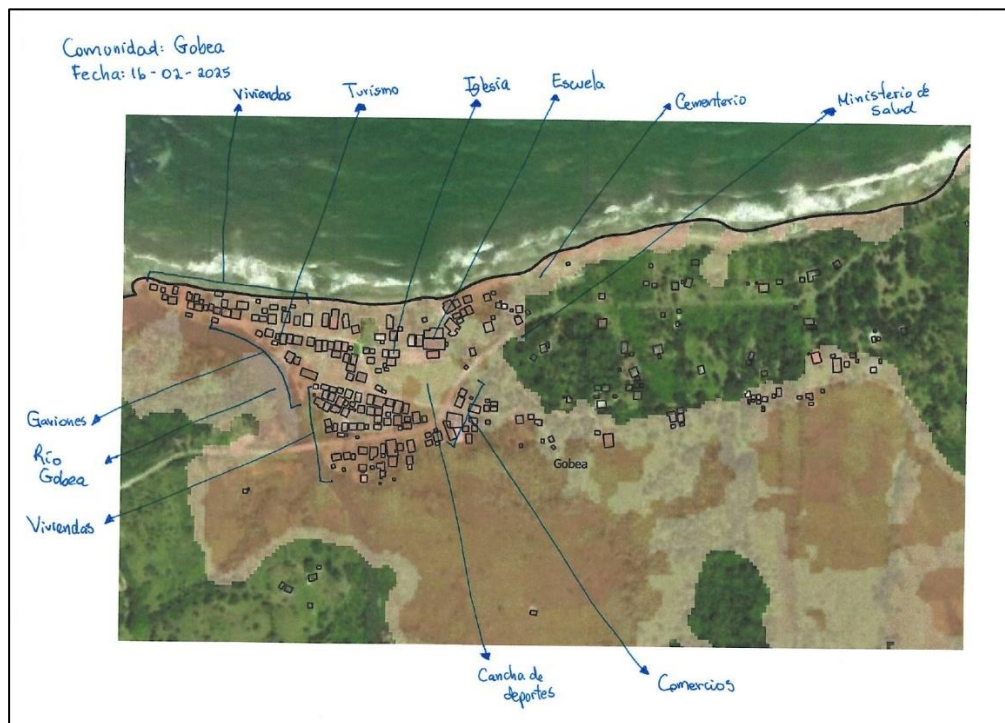
Fuente: elaboración propia, 2025

Anexo 3 Mapa de visita de campo en Salud



Fuente: elaboración propia, 2025

Anexo 4 Mapa de visita de campo en Gobeá



Fuente: elaboración propia, 2025