

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL DISTRITO DE SONÁ

CUARTO INFORME. CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRE

“Servicios de Consultoría para la Elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

1.	HOJA DE RUTA DE MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GEI	15
1.1.	Introducción	16
1.1.1.	Hoja de Ruta dentro del desarrollo del POT distrital	18
1.1.2.	Organización de la Hoja de Ruta	19
1.1.3.	Marco normativo aplicable a la acción climática distrital en Panamá	20
1.2.	Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Distrito de Soná	22
1.2.1.	Metodología del inventario de GEI	22
1.2.2.	Consideraciones metodológicas para el Distrito de Soná	29
1.2.3.	Resultados	40
1.3.	Escenario tendencial de emisiones y escenario de reducción de GEI distrital	52
1.3.1.	Resultados del escenario tendencial de emisiones de GEI (BAU)	52
1.3.2.	Escenario de mitigación de emisiones de GEI	59
1.4.	Acción climática distrital	61
1.4.1.	Progreso gradual hacia la sostenibilidad	61
1.4.2.	Identificación y definición de acciones de mitigación en el distrito	62
1.5.	Ruta de mitigación de emisiones en Soná	69
1.5.1.	Elementos de diagnóstico	69
1.5.2.	Impacto de las emisiones de GEI del distrito en plazos	70
1.5.3.	Acciones de mitigación para el distrito	71
1.5.4.	Cuantificación de acciones de mitigación	72
1.5.5.	Ruta de mitigación en Soná	74
1.6.	ANEXOS	76
1.6.1.	Anexo 1. Herramienta del Inventario de emisiones de GEI del Distrito de Bocas del Toro	76
1.6.2.	Anexo 2. Herramienta del escenario tendencial (Business As Usual) distrital y el escenario de reducciones	76
1.6.3.	Anexo 3. Matriz de priorización de medidas distritales	76
1.6.4.	Anexo 4. Fichas sintéticas de las medidas de mitigación	76
1.6.5.	Anexo 5a. Calidad del aire	76
1.6.6.	Anexo 5b. Contaminantes atmosféricos	76
1.6.7.	Anexo 5c. Factores de emisión (calidad del aire)	76
1.6.8.	Anexo 6. Metodológico de inventario de emisiones de GEI	77
1.6.9.	Anexo 7. Comparativa de emisiones de los distritos del proyecto	88
1.6.10.	Anexo 8. Talleres y reuniones (listas de asistencia, fotografías y reporte)	89
1.6.11.	Anexo 9. Evaluación de la incertidumbre en inventarios	93
1.6.11.1.	Incertidumbre del Sector Energía Estacionaria	93
1.6.11.2.	Incertidumbre del Sector Transporte	93
1.6.11.3.	Incertidumbre del Sector Residuos	93
1.6.11.4.	Incertidumbre del Sector Agricultura y Ganadería	94
1.6.11.5.	Incertidumbre del Sector UTCUTS	95
2.	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD, RIESGO Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	97
2.1.	Introducción	97
2.1.1.	Metodología	98
2.2.	Selección de amenazas	100
2.2.1.	Gestión y seguimiento con actores clave	103
2.3.	Aumento en el nivel del mar	105
2.3.1.	Introducción	105
2.3.2.	Metodología	105
2.3.3.	Análisis de resultados del estudio	107
2.3.4.	Recomendaciones	111
2.4.	Inundaciones	114
2.4.1.	Área de Estudio	114
2.4.2.	Cambio Climático e Hidrología	115

2.4.3.	Resultados obtenidos	143
2.4.4.	Medidas de adaptación estructurales y no estructurales	153
2.4.5.	Conclusiones y recomendaciones	160

2.5. Incendio de masa vegetal

161

2.5.1.	Introducción	161
2.5.2.	Descripción de la amenaza	162
2.5.3.	Metodología	166
2.5.4.	Evaluación de la amenaza de probabilidad de ocurrencia	167
2.5.5.	Análisis de Resultados	173
2.5.6.	Recomendaciones	178

Acrónimos

AAUD	Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario de Panamá
AFOLU	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
AIFCC	Foro Afro-Interamericano de Cambio Climático
APROSEPA	Asociación de Productores de Semillas de Panamá
ASEP	Autoridad Nacional de Servicios Públicos
ATP	Autoridad de Turismo de Panamá
ATTT	Autoridad de Tránsito y Transporte Terrestre
BaU	Escenario tendencial o inercial (<i>Business as usual</i>), por sus siglas en inglés
C40	<i>Cities Climate Leadership Group</i>
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GHG	Gas de efecto invernadero, por sus siglas en inglés
4 GPC	Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria, por sus siglas en inglés
ICLEI	Gobiernos Locales por la sustentabilidad, por sus siglas en inglés
IDAAN	Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales
IDIAP	Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés
MIDA	Ministerio de Desarrollo Agropecuario
MIVIOT	Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial
NDC	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional, por sus siglas en inglés
PASOS	Fundación Panamá Sostenible
PIUP	Procesos industriales y uso de productos
PNEA	Política Nacional de Educación Ambiental
PNTC	Plataforma Nacional de Transparencia Climática

PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SNE	Secretaría Nacional de Energía
SNF	Servicio Nacional de Fronteras
STRI	Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales
tCO ₂ e	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
UN-HABITAT	Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos
UTCUTS	Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura
UTP	Universidad Tecnológica de Panamá
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WRI	<i>World Resources Institute</i>

Conceptos clave

Amenaza: Es un fenómeno o proceso natural o causado por el ser humano que puede poner en peligro a un grupo de personas, sus cosas y su ambiente, cuando no son precavidos. Existen diferentes tipos de amenazas, las naturales (terremotos, sismos; erupciones volcánicas; plagas; sequías; deslizamientos; inundaciones; maremotos o tsunamis; incendios (forestales); huracanes; las antropogénicas, entre las que incluye las industriales o tecnológicas explosiones, incendios y derrames de sustancias tóxicas)

Análisis de Riesgo: es el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos con el fin de determinar los posibles efectos, consecuencias económicas, sociales, ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos

BAU (*Bussiness as usual*, por sus siglas en inglés): Escenario tendencial o inercial y sin introducción de cambios, de acuerdo con el IPCC. Las proyecciones de los escenarios sin introducción de cambios se basan en la suposición de que las prácticas y políticas de funcionamiento se mantienen igual que en la actualidad. Aunque los escenarios de referencia podrían incorporar algunas de las características específicas de los escenarios sin introducción de cambios (p. ej., la prohibición de una tecnología específica), los escenarios sin introducción de cambios implican que no se introducen prácticas ni políticas distintas de las que se aplican actualmente (IPCC, 2019).

Captura y almacenamiento: En específico de CO₂ es un proceso en el que un flujo relativamente puro de dióxido de carbono (CO₂) procedente de fuentes industriales y de fuentes relacionadas con la energía se separa (captura), se condiciona, se comprime y se transporta hasta un lugar de almacenamiento para su aislamiento de la atmósfera durante un largo período. A veces se denomina “captura y secuestro de carbono”. (IPCC, 2019).

6

Desastres: fenómeno de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que, al encontrar condiciones propicias de la vulnerabilidad es una población, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento de la comunidad; representadas de forma diversa y diferenciada por, entre otras cosas, la pérdida de vida y salud de la población; destrucción, pérdida o inutilización total o parcial de bienes de la colectividad y de los individuos así como daños severos en el ambiente, requiriendo de una respuesta inmediata de las autoridades, para atender los afectados y restablecer umbrales aceptables de bienestar y oportunidad de vida (Ministerio de Gobierno, 2023).

Emisiones: Emisiones de gases de efecto invernadero, de precursores de gases de efecto invernadero y de aerosoles causadas por actividades humanas. Esas actividades comprenden la combustión de combustibles fósiles, la deforestación, los cambios de uso de la tierra, la producción ganadera, la fertilización, la gestión de desechos y los procesos industriales (IPCC, 2018).

Emergencia: estado caracterizado por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de la comunidad, causada por un evento o por la inminencia de este, que requiere de una reacción inmediata y que exige la atención o preocupación de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general (Ministerio de Gobierno, 2023).

Escenario de mitigación: Descripción plausible del futuro que describe cómo responde el sistema (estudiado) a la aplicación de políticas y medidas de mitigación (IPCC, 2019).

Evaluación de la amenaza: proceso mediante el cual se determina la posibilidad de que un fenómeno se manifieste, con cierto grado de severidad, durante un periodo de tiempo definido y en un área determinada (Ministerio de Gobierno, 2023).

Evaluación de la vulnerabilidad: proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño de un elemento o grupo de elementos expuestos a la amenaza (Ministerio de Gobierno, 2023).

GEI (Gases de efecto invernadero): Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. Además, la atmósfera contiene cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógeno, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, N₂O y CH₄, el Protocolo de Kioto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (IPCC, 2019).

Gestión de Riesgo: es el planteamiento y aplicación de medidas orientadas a prevenir o mitigar los efectos adversos de los fenómenos peligrosos sobre la población, los bienes, los servicios y el ambiente (Ministerio de Gobierno, 2023).

Hoja de ruta: También conocido como *roadmap*. Es una herramienta para visualizar una estrategia o un plan estratégico de un proceso. En este caso sobre la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) resultado del trabajo participativo realizado con diversos actores.

Incendio estructural: incendios urbanos, industriales o rurales causados por errores humanos, instalaciones eléctricas en malas condiciones; accidentes tecnológicos (derrames y explosiones de materiales peligrosos en su transporte, almacenamiento o manipulación) (Ministerio de Gobierno, 2023).

Incendio forestal: incendios en áreas con cualquier tipo de cobertura vegetal provocando pérdida de flora y fauna. Se puede dar tanto en áreas urbanas como en rurales. En las áreas urbanas llega a afectar la infraestructura. Estos pueden ser causados por el ser humano o por la interferencia de un fenómeno natural (rayo). Hay reportes de incendios forestales que han iniciado espontáneamente bajo ciertas condiciones climáticas y ambientales (Ministerio de Gobierno, 2023).

Inundaciones: es el aumento significativo del nivel de agua de un río, lago reserva o región costera. La crecida es una inundación prejudicial de los bienes y terrenos utilizados por el ser humano. Las causas de las inundaciones se dan cuando llueve, parte del agua que cae es retenida por el suelo, otra es absorbida por la vegetación, parte se evapora, y el resto, que se incorpora al caudal de los ríos, recibe el nombre de aguas escorrentía. Las inundaciones se producen cuando, al no poder absorber el suelo y la vegetación toda el agua. Esta fluye sin que los ríos sean capaces de canalizarla ni los estanques naturales o pantanos artificiales creados por medio de presas puedan retenerla. Un tipo de inundaciones se dan por desbordamiento de los ríos causados por la excesiva escorrentía como consecuencia de fuertes precipitaciones. El desbordamiento de los ríos ocurre cuando se excede la capacidad del cauce para conducir el agua y por lo tanto se desbordan las márgenes del río. Las inundaciones pueden ser rápidas o lentas. Las inundaciones rápidas ocurren especialmente en quebradas y ríos que bajan por las laderas de las montañas. Las inundaciones lentas se dan especialmente en los valles de los ríos en zonas planas. El potencial de las inundaciones está asociado a diversidad de fenómenos: 1. Obstrucción de drenajes por sedimentación y basura; 2. Lluvias intensas; 3. Avenidas torrenciales de los ríos; 4. Obstrucción o deterioro y ruptura de tuberías subterráneas de gran diámetro, o de canales; 5. Periodos

lluviosos que superan los niveles de regulación de presas; 6. Mal función o daño en plantas de bombeo (Ministerio de Gobierno, 2023).

Inventario: es un reporte, delimitado para un periodo de tiempo y territorio específico, en el cual se establece la cantidad de GEI emitidos directamente a la atmósfera, como resultado de actividades humanas (transporte, producción agroindustrial, generación y consumo de energía, entre otras) y de las absorciones por reservorios de carbono, tales como bosques o los ecosistemas marinos como los manglares (IIN, 2020).

Medida de mitigación: En el contexto de la política climática, las medidas de mitigación son tecnologías, procesos o prácticas que contribuyen a la mitigación, por ejemplo, tecnologías de energía renovable, procesos de minimización de desechos y prácticas que promueven el uso del transporte público (IPCC, 2019).

Mitigación: Intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero (IPCC, 2019).

Riesgo por desastre: La pérdida potencial de vidas, lesiones o bienes destruidos o dañados que podría ocurrirle a un sistema, sociedad o comunidad en un período de tiempo específico, determinado probabilísticamente en función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad. Anotación: La definición de riesgo de desastres refleja el concepto de eventos peligrosos y desastres como el resultado de condiciones de riesgo continuamente presentes. El riesgo de desastre comprende diferentes tipos de pérdidas potenciales que a menudo son difíciles de cuantificar. No obstante, con el conocimiento de las amenazas prevalecientes y los patrones de población y desarrollo socioeconómico, los riesgos de desastre pueden evaluarse y cartografiarse, al menos en términos generales. Es importante considerar los contextos sociales y económicos en los que ocurren los riesgos de desastres y que las personas no necesariamente comparten las mismas percepciones del riesgo y sus factores de riesgo subyacentes (UNDRR, 2023).

Riesgo aceptable, o riesgo tolerable: es por lo tanto un subtérmino importante; la medida en que un riesgo de desastre se considera aceptable o tolerable depende de las condiciones sociales, económicas, políticas, culturales, técnicas y ambientales existentes. En términos de ingeniería, el riesgo aceptable también se usa para evaluar y definir las medidas estructurales y no estructurales que se necesitan para reducir los posibles daños a las personas, la propiedad, los servicios y los sistemas a un nivel tolerado elegido, de acuerdo con los códigos o “prácticas aceptadas” que se basan en probabilidades conocidas de peligros y otros factores (UNDRR, 2023).

Riesgo residual: es el riesgo de desastres que permanece incluso cuando se implementan medidas efectivas de reducción del riesgo de desastres, y para el cual se deben mantener las capacidades de respuesta y recuperación ante emergencias. La presencia de riesgo residual implica una necesidad continua de desarrollar y apoyar capacidades efectivas para servicios de emergencia, preparación, respuesta y recuperación, junto con políticas socioeconómicas como redes de seguridad y mecanismos de transferencia de riesgo, como parte de un enfoque holístico (UNDRR, 2023).

Sumidero: Reservorio (de origen natural o producto de la actividad humana, en suelos, océanos y plantas) en el que un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero se almacenan. Obsérvese que en el artículo 1.8 de la CMNUCC se hace referencia a los sumideros como cualquier proceso, actividad o mecanismo que remueve un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera (IPCC, 2019).

Vulnerabilidad: las condiciones determinadas por factores físicos, sociales económicos y ambientales o procesos que pueden incrementar la susceptibilidad a los impactos del riesgo de un individuo, una comunidad, activos o sistemas (UNDRR, 2023).

4.1

**HOJA DE RUTA DE MITIGACIÓN
DE EMISIONES DE GEI**

Resumen Ejecutivo

Las ciudades juegan un rol importante en la mitigación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), las cuales contribuyen al cambio climático; toda vez que, a nivel mundial, albergan al 80% de la población y consumen el 80% de los energéticos para el desarrollo de las actividades que en éstas se realizan; por lo que, contribuyen con más del 50% de las emisiones globales de GEI. Estas ocurren principalmente en sectores de competencia municipal/distrital como el transporte, los residuos, el consumo de energía en los sectores residencial, institucional y comercial, principalmente, manteniendo una tendencia al alza, por factores como el aumento de la población y por tanto, de la demanda de bienes y servicios.

De acuerdo con el Inventario de Emisiones de GEI del Distrito de Soná, elaborado bajo la metodología del GPC, en el 2021 el distrito generó 190,364.02 tCO₂e, de los cuales, las principales fuentes de emisión corresponden al sector Agricultura y Ganadería con 98,844.31 tCO₂e (15%) y al sector Energía Estacionaria con 48,711.59 tCO₂e (7%). Seguidos por los sectores de Transporte con 31,839.48 tCO₂e (5%) y el de Residuos con 10,968.64 tCO₂e (2%). Asimismo, la principal fuente de absorción es el sector Uso de Tierras y Cambio de Uso de Tierras (UTCUTS) con -464,891.51 tCO₂e (71% del total de emisiones). Las emisiones netas, por tanto, se estiman en -274,527.49 tCO₂e, lo que a su vez significa emisiones netas *per cápita* de -9.19 tCO₂e, y emisiones netas por superficie de -180.72 tCO₂e por km² (Tabla 1).

Tabla 1. Inventario distrital de GEI de Soná, 2021

	tCO ₂	tCH ₄	tN ₂ O	tCO ₂ e
ENERGÍA	48,394.27	1,131.94	1.74	80,551.07
Energía Estacionaria	17,058.83	1,129.42	0.11	48,711.59
Residencial	3,759.77	895.46	1.09E-02	28,835.57
Edificios comerciales e institucionales	3,855.83	1.17E-01	1.98E-02	2,539.80
Industrias manufactureras	10,710.04	233.83	7.64E-02	17,045.54
Actividades agrícolas, de silvicultura y de pesca	289.78	1.12E-02	2.20E-03	290.68
Transporte	31,335.44	2.52	1.64	31,839.48
Terrestre	19,245.80	1.02	1.01	19,542.68
Ferrovioario	0	0	0	0
Aviación	2,108.16	9.76E-01	9.78E-02	2,161.39
Navegación marítima	9,981.48	5.25E-01	5.25E-01	10,135.40
RESIDUOS	1.70E-02	375.75	1.69	10,968.64
Eliminación de residuos sólidos	0	209.57	0	5,867.89
Incineración y quema abierta de residuos	1.70E-02	72.70	1.68	2,480.22
Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	0	93.48	1.15E-02	2,620.53
AFOLU - A y G	104.15	3,518.55	0.83	98,844.31
Agricultura	104.15	140.55	0.83	4,260.36
Ganadería	0	3,378.00	0	94,583.95

	tCO ₂	tCH ₄	tN ₂ O	tCO ₂ e
AFOLU - UTCUTS	-464,891.51	0	0	-464,891.51
Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura	-464,891.51	0	0	-464,891.51
Emisiones Totales (tCO₂e)				-274,527.49

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023.

A partir de la proyección en el tiempo de estas emisiones calculadas para 2021, se conoce que bajo supuestos de crecimiento poblacional y económico tendencial, se estima que hacia el 2050 las emisiones se reducirán en poco más de un 1.87%, en tanto que las absorciones en el sector UTCUTS muestran una ligera disminución con tasas de crecimiento negativas -1.87% para el periodo 2021 a 2050. No obstante, el Distrito de Soná mantendría su cualidad de **distrito sumidero**, alcanzando emisiones netas de -279,666.31 tCO₂e. No obstante, de mantenerse la tendencia, es previsible que en la siguiente década (2050-2060) las emisiones netas del distrito se conviertan en positivas, lo que impactará directamente en el logro de la meta de carbono neutralidad del país.

Adicionalmente y dado el impacto que los contaminantes atmosféricos tienen sobre la salud y el medio ambiente de la población, se cuantificaron las emisiones de los siguientes contaminantes: partículas consideradas de fracción respirable PM10 y PM2,5, NOx, CO, NH₃, COVNM y SO₂. De acuerdo con los resultados, los sectores de transporte, energía estacionaria y AFOLU son las principales fuentes que contribuyen a la contaminación atmosférica. En el caso de los dos primeros, la mayor participación es de CO y NOx, resultado de la quema de diesel y gasolina, así como, de leña, gas LP y carbón vegetal; en tanto que el segundo, es resultado de la emisión de amoniaco por la fermentación entérica del ganado existente. Estos tres contaminantes suman cerca del 91% de las emisiones a la atmósfera del distrito.

12 Considerando los hallazgos del perfil de emisiones y su proyección en el tiempo hasta 2050, se plantea la implementación de 13 acciones de mitigación, o reducción, que representan un primer paso de la acción climática del Distrito de Soná (Figura 1). Estas son resultado del trabajo participativo realizado con las autoridades nacionales (Ministerio de Ambiente, Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial y la Autoridad de Turismo de Panamá), autoridades distritales y representantes sectoriales para cambio climático a nivel nacional: Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario de Panamá (AAUD), Servicio Nacional de Fronteras (SNF), Autoridad Nacional de Servicios Públicos (ASEP), Salud, Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), Autoridad de Tránsito y Transporte Terrestre (ATTT), Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP), Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), Secretaría Nacional de Energía (SNE) y Asociación de Productores de Semillas de Panamá (APROSEPA).

Figura 1. Medidas priorizadas para el distrito de Soná

SONÁ	
AG2	Realizar pilotos, seleccionar e implementar los modelos exitosos de prácticas y soluciones basadas en la naturaleza en superficies de aprovechamiento agropecuario (agroforestal, silvopastoril, técnicas como cortinas rompevientos, captación y almacenamiento de agua, densificar cultivos, sistemas de riego más eficientes)
EE1	Implementar un programa de acciones de eficiencia energética diferenciado por hogares, industria, comercios y gobierno, privilegiando de inicio las acciones más costo-eficientes
T1	Implementar un plan de movilidad urbana sustentable con dos componentes principales: transporte público (incluido no motorizado) y transporte de carga-mercancías logística y tecnológicamente más eficiente

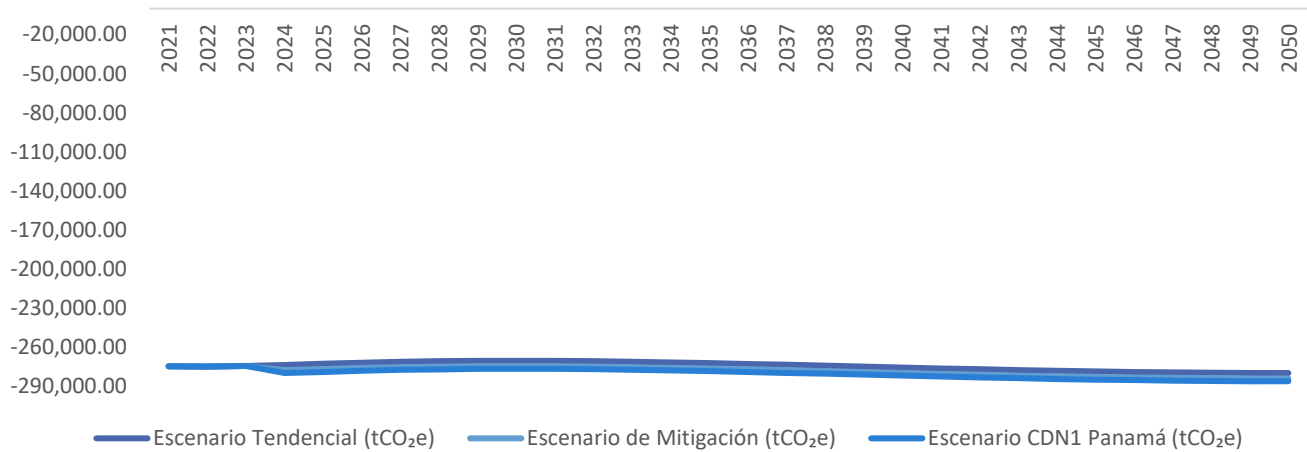
“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

SONÁ	
R1	Implementar un programa de reducción del volumen de residuos sólidos urbanos que se depositan en sitio de disposición final, incluyendo separación en origen, recolección diferenciada, reciclaje y revalorización, composteo (En 2030 respecto a 2021)
S4	Implementar un programa de manejo que disminuya los impactos de asentamientos humanos y aprovechamiento agropecuario ya establecidos
S1	Frenar el incremento/desplazamiento de la frontera agrícola y urbana sobre zonas con valor ecológico (agrícola, Asentamientos Humanos)
S2	Mantener e incrementar los sumideros de carbono de Soná conservando y restaurando las zonas de valor natural
S3	Implementar un programa de sensibilización y capacitación sobre los efectos de la deforestación y la degradación en los suelos que capturan carbono
AC1	Diseñar e implementar un Plan Distrital de Cambio Climático en Soná que incluya acciones de mitigación priorizadas que contribuyan a reducir las emisiones de GEI
AC2	Consolidar un equipo encargado de la acción climática dentro del Municipio del Distrito de Soná
AC3	Contar con un sistema de información que facilite la integración de datos (abajo-arriba) para desarrollar inventarios de GEI locales y nacional
AC4	Generar capacidades técnicas en los departamentos/áreas y funcionarios distritales de Soná, involucrados en temas relacionados con la acción climática (ej. Movilidad, aseo público, desarrollo agropecuario, etc)
AC5	Sensibilizar a los diversos actores involucrados sobre la importancia de su participación en el diseño e implementación de acciones de mitigación en un marco de gobernanza climática y territorial

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023.

En la Figura 2 se muestra la comparativa en el tiempo del escenario tendencial de emisiones contra el escenario de mitigación propuesto al implementar las medidas seleccionadas en el distrito de Soná:

Figura 2. Escenario BAU y de mitigación de GEI al 2050 para el distrito de Soná



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

El escenario de mitigación¹ es producto de las medidas de mitigación de GEI de esta Hoja de Ruta. En este sentido, de su modelación se desprende que para el año 2025 habría una reducción en las emisiones de 4,087.35 tCO₂e, para el año 2030 esta sería de 4,054.34 tCO₂e y para el año 2040 consistiría en una reducción en las emisiones de 4,194.99 tCO₂e².

El escenario de mitigación CDN1 considera las metas que actualmente el país se ha planteado para el año 2030, cuando se cumple el primer periodo de compromisos nacionales en el contexto del Acuerdo de París. En este sentido, este escenario identifica el actual potencial máximo de reducciones, bajo los supuestos de: 1) las metas nacionales de energía y bosques se replican proporcionalmente en el nivel provincial y distrital, 2) se cumple el potencial máximo estimado de estas reducciones, 3) no aumenta ni disminuye la ambición climática, o dicho de otra forma, las metas de la CDN1 se mantienen en las siguientes versiones de NDC de Panamá (2030 y 2040).

¹ Este considera la cuantificación de reducciones esperadas a partir de la implementación de las medidas de mitigación de GEI priorizadas para el distrito.

² Las reducciones de emisiones van disminuyendo a lo largo de la línea temporal por dos motivos principales: el aumento poblacional de los distritos que demanda mayor presión sobre los recursos (ej. mayor demanda de energía) y la vida útil de cada medida de mitigación considerada. Por lo que tanto las medidas como los escenarios tendenciales y de mitigación tendrán que ser revisados y reevaluados para alcanzar una mitigación acorde a la ambición de Panamá presentada en las CDN.

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”



1. HOJA DE RUTA DE MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GEI

La Hoja de Ruta de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) para el Distrito de Soná, proviene del trabajo participativo realizado con las autoridades nacionales (Ministerio de Ambiente, Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial y la Autoridad de Turismo de Panamá), autoridades distritales, y con representantes sectoriales para el tema de cambio climático a nivel nacional.

En este documento primeramente se diagnóstica al distrito a partir del inventario de emisiones de GEI para el año 2021, para posteriormente realizar un escenario tendencial de esas emisiones al año 2050.

15

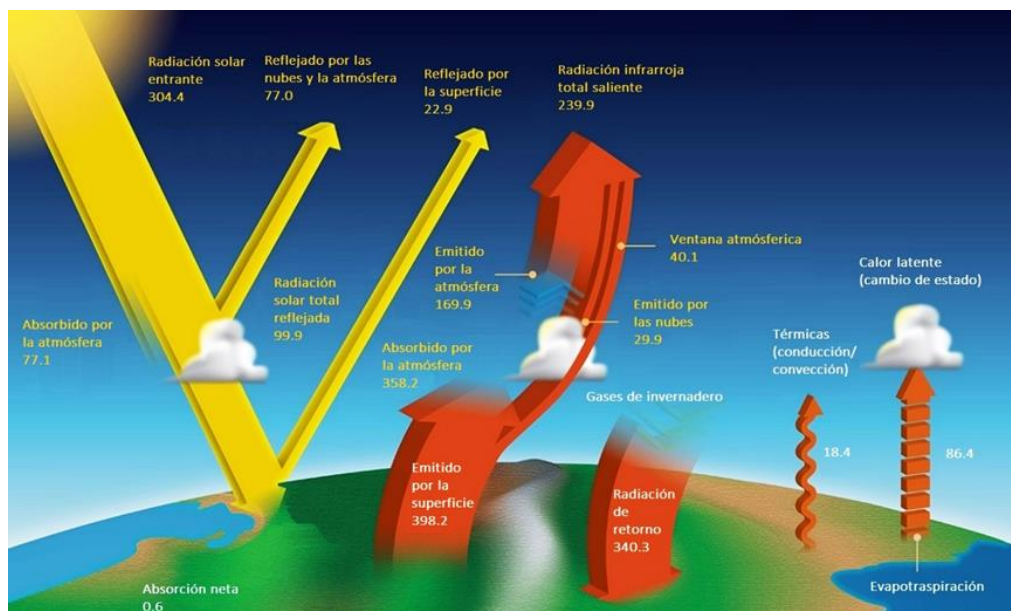
Ante este panorama, se diseñan las acciones de mitigación adecuadas para el distrito, las cuales fueron priorizadas en talleres participativos de carácter local y nacional. Estas acciones priorizadas son cuantificadas en términos de las reducciones de GEI, y con ello se desarrolla una proyección que construye el escenario de mitigación inicial para el distrito.

Es así como la Hoja de Ruta de mitigación de GEI, que señala actividades, hitos y metas a lo largo del periodo 2023 a 2050, sirve como una guía para alcanzar el escenario de mitigación construido con la participación de los actores locales y nacionales durante el periodo comprendido entre octubre de 2022 y abril de 2023.

1.1. Introducción

El cambio climático es una consecuencia de la alteración del balance radiativo del planeta, a causa de cambios en la composición de la atmósfera ocurridos por la emisión y concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y cambios de uso del suelo, como se presenta en la Figura 3.

Figura 3. Balance radiativo de la tierra



Fuente: (IPCC, Cambio Climático: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, 2007)

16

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), publica periódicamente, a través de sus Informes de Evaluación, los resultados de los últimos estudios en los cuales da respuesta a las preguntas base que dan origen a la acción climática:

1. ¿Existe el cambio climático? Conocida como planteamiento sobre la “detección”.
2. ¿A qué se atribuye el cambio climático? Conocida como planteamiento sobre la “atribución”.

Las conclusiones del Sexto Informe (IE6, por sus siglas en inglés) señalan que el calentamiento global es inequívoco y que es extremadamente probable que, desde mediados del siglo XX, ocurra debido a las emisiones de GEI y a los cambios de usos del suelo asociados a la actividad humana. Además, señala que se deben realizar acciones de mitigación que permitan reducir los impactos futuros.

De esta forma resulta indispensable actuar a nivel global sobre los posibles impactos que el cambio climático puede tener en las vidas humanas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economía, cultura, servicios e infraestructuras, entre otros. Se trata por ende de contribuir en la disminución de emisiones de GEI, pero también de reducir el impacto de los fenómenos climáticos que ocurren en un lapso específico, los cuales pueden tratarse, entre otros, de inundaciones, sequías o la elevación del nivel del mar.

En consecuencia, la evidencia indica que es extremadamente probable que el cambio climático sea causado por la acción humana, tanto por la emisión de GEI como por cambios en el uso de la tierra. En el Protocolo de Kioto, el cual pone en práctica la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, se definen los GEI. En la Figura 4 se presentan los principales GEI y sus fuentes más comunes.

Figura 4. GEI contemplados en el Protocolo de Kioto

CO ₂	Dióxido de carbono	Combustión de materiales con base de carbono y de algunos procesos de producción como el del cemento
CH ₄	Metano	Combustión de materiales con base carbono, fugas de gas natural, descomposición de residuos, tratamiento de aguas residuales, ganadería (fermentación entérica) y agricultura (cultivo arroz)
N ₂ O	Óxido nitroso	Combustión de materiales con base carbono, procesos químicos, tratamiento de aguas residuales, ganadería (gestión del estiércol) y sobre todo de la agricultura (uso de fertilizantes nitrogenado)
SF ₆	Hexafluoruro de azufre	Aislamiento de equipos de alta tensión y como auxiliar en la fabricación de sistemas de refrigeración de cables y semiconductores. En la industria se genera en la producción de aluminio y magnesio.
PFCs	Perfluorocarbonos	Producción primaria de aluminio, incineración de plásticos y cerámicas. Otros focos minoritarios tienen lugar en los equipos de refrigeración, en el sector electrónico y extinción de incendios
HFCs	Hidrofluorocarbonos	Equipos de refrigeración, tanto en estado operativo, como al final de su vida útil. Son utilizados como agentes propulsores en los aerosoles, y como material aislante en espumas para edificios
NF ₃	Trifluoruro de nitrógeno	GEI considerado en el Protocolo de Kioto desde 2013. Se utiliza como grabador en la microelectrónica y en la fabricación de pantallas planas de cristal líquido

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

Existen tres características del cambio climático que lo convierten en un reto de dimensiones desconocidas hasta ahora. La primera, es que se trata de un problema de escala global donde la responsabilidad de Estados, instituciones y personas es compartida (aunque diferenciada). Lo segundo, que los impactos son locales, a largo plazo, y repartidos de forma muy diferente a lo largo del planeta, independientemente de la localización de la emisión; y, tercero, que, por la complejidad del sistema climático global, la incertidumbre que rodea a los impactos pronosticados es significativa. Todos somos responsables de unos impactos de magnitud incierta, que, en cualquier caso, afectarán más a los colectivos más vulnerables.

Esta problemática da pie a dos tipos de estrategia para enfrentar el cambio climático: la adaptación y la mitigación. La primera se basa en asumir ciertos impactos, ya irreversibles, y adaptarse a ellos, mientras que la mitigación busca reducir la concentración de GEI en la atmósfera, para reducir así la magnitud del cambio. En la Figura 5 se presentan de forma gráfica las estrategias.

Figura 5. Estrategias de lucha contra el Cambio Climático



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

Las estrategias de mitigación pueden reducir los impactos proyectados. La responsabilidad compartida en materia de emisiones de GEI y los impactos locales, hacen que estas estrategias deban ser implementadas tanto a nivel global y nacional como a nivel local en cada distrito, institución y organización.

En este sentido, una correcta planificación, puede convertir al cambio climático en una oportunidad de desarrollo que transforme a la sociedad en una ecoeficiente, baja en carbono, con una menor dependencia de recursos energéticos contaminantes y con una menor vulnerabilidad frente a los fenómenos meteorológicos extremos.

La capacidad de actuar desde la escala nacional sobre los sectores difusos debe ser complementada con actuaciones en la escala local. Por ello, es relevante que las autoridades locales contribuyan con la reducción de las emisiones de GEI haciendo uso pleno de sus competencias, principalmente por tres claras razones:

- Gran peso de los núcleos urbanos, que aglutinan entre el 60 y el 70% de las emisiones globales de GEI asociadas al consumo, y rápido crecimiento de las ciudades en países en desarrollo.
- Mientras que, por regla general, la industria ha aumentado su sensibilización ambiental y moderando sus emisiones, hay sectores como el transporte, la gestión de residuos y el sector residencial y servicios que están desarrollando una tendencia inversa. Son los llamados sectores difusos.
- Las municipalidades tienen competencias directas sobre los sectores nombrados en el punto anterior. Además, la posición desde la administración pública es ideal para potenciar la participación y sentido de la corresponsabilidad de los ciudadanos en materia de cambio climático.

18

En el campo de la mitigación, el primer paso para poder reducir las emisiones asociadas a un territorio es realizar un diagnóstico inicial para conocer el punto de partida. Una de las herramientas adecuadas para ello es el inventario de emisiones de GEI: la medida del impacto actividad o producto en términos de CO₂ equivalente (CO₂eq) en un territorio determinado.

Un inventario de emisiones permite cuantificar la situación de partida, detectar sectores especialmente sensibles y finalmente, da la posibilidad de plantear y monitorizar medidas de acción que corrijan las tendencias negativas relacionadas con la generación de emisiones de GEI. Este diagnóstico cuantitativo, debe complementarse con un diagnóstico cualitativo. Adicionalmente, este inventario y Hoja de Ruta de Mitigación, además de aportar beneficios en cuanto al desarrollo sostenible, situará a Soná como ejemplo para otros distritos, a la vez que contribuirá a colocarlo en una mejor posición para acceder a fondos dedicados a la mitigación.

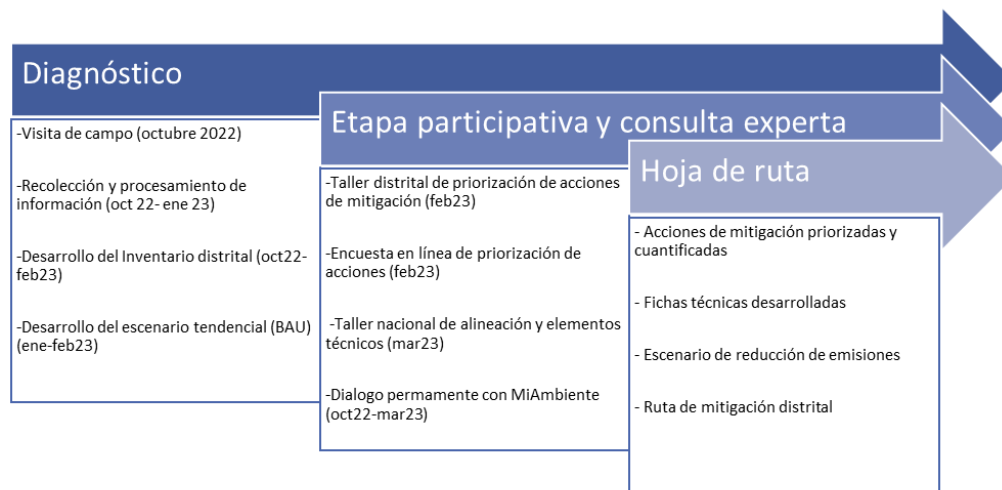
1.1.1. Hoja de Ruta dentro del desarrollo del POT distrital

El contenido desarrollado correspondiente a la Mitigación del Cambio Climático consta de tres fases: Tareas previas orientadas a la recopilación de información, Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI), y Hoja de Ruta de Mitigación.

Las tareas previas se centran en la recopilación de información disponible, y en el desarrollo de un programa de participación, con su consecuente identificación de actores relevantes. Durante la primera fase, se constituye un diagnóstico de emisiones de GEI. El diagnóstico presenta tres componentes. El primero comprende un diagnóstico cualitativo desarrollado a partir de estudios previos existentes y aportes de los principales agentes en las entrevistas y talleres realizados.

El segundo, es un diagnóstico cuantitativo en forma de inventario de GEI para un año base seleccionado; y un tercer componente enfocado al desarrollo de un escenario tendencial proyectado a los años 2030 y 2050 a nivel de emisiones de GEI.

Figura 6. Etapas generales y actividades para el desarrollo de la Hoja de ruta del distrito



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

El inventario de GEI es uno de los principales productos asociados a la Hoja de ruta de mitigación de emisiones de GEI, que a su vez se desarrolló en el marco de la elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial del distrito. Este sigue las pautas metodológicas del Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GPC), tal y como se describe posteriormente en la sección: **Pasos para la realización de un inventario**. Se trata de un inventario para el Distrito de Boquete, con una importante labor de desarrollo de una herramienta informática de cálculo, realizada ad hoc para esta área de estudio. El diseño de la herramienta busca el equilibrio entre la facilidad de uso y la obtención de resultados fiables. Así, utilizando dicha herramienta se calculan las emisiones de GEI para el año 2021. Esta herramienta puede ser utilizada por el distrito, para realizar nuevos inventarios futuros o pasados.

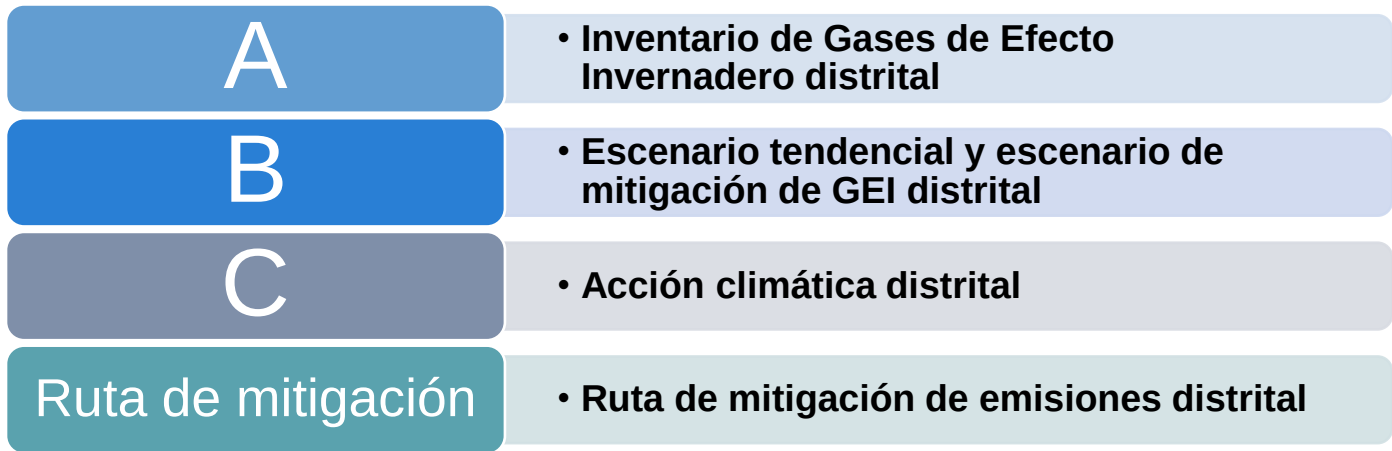
El diagnóstico cuantitativo sirve como base para el desarrollo de la Hoja de Ruta de Mitigación abarcando acciones en el corto, mediano y largo plazo, con un horizonte temporal al año 2050. La Hoja de Ruta de Mitigación establece un marco estratégico, que incluye una visión y un objetivo de reducción de emisiones. Posteriormente, se desarrollan líneas de actuación que se despliegan en acciones específicas hasta alcanzar el objetivo estratégico establecido, configurándose así el escenario de mitigación. Para cada acción se desarrolla una ficha específica que recoge directrices y claves para su implementación. La ficha contempla lo considerado actualmente como elementos técnicos necesarios dentro de la Plataforma Nacional de Transparencia Climática (PNTC).

1.1.2. Organización de la Hoja de Ruta

Este documento se organiza de forma progresiva y didáctica, para permitir, por una parte, conocer y entender los principales resultados obtenidos durante su desarrollo, y por otra, fungir como un archivo de consulta para los responsables y otros actores involucrados en la acción climática distrital dentro de Soná.

Esta Hoja de Ruta consiste en tres bloques con información técnica (A al C) y un bloque final que reúne la visión general del territorio desde el enfoque de la acción climática requerida para alinearse y contribuir con las metas nacionales de cambio climático, expresadas en documentos como la Contribución Determinada a nivel Nacional de Panamá (CDN1).

Figura 7. Bloques que componen la Hoja de Ruta de mitigación al cambio climático



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

1.1.3. Marco normativo aplicable a la acción climática distrital en Panamá

La siguiente Tabla 2 considera los principales instrumentos legales y normativos que rigen la acción climática a nivel nacional. La alineación a estos, desde la escala local, orienta el impacto positivo de las acciones y medidas implementadas a nivel distrital.

Tabla 2. Instrumentos normativos relevantes para la elaboración del inventario de GEI

INTRUMENTO NORMATIVO	DESCRIPCIÓN
Estrategia Nacional de Cambio Climático 2050	Establece una hoja de ruta que busca conducir las acciones de los ciudadanos de Panamá hacia una economía baja en carbono mediante acciones de mitigación y adaptación.
Estrategia Nacional REDD+ Panamá	Busca contribuir a la reducción de las emisiones de carbono provenientes de la deforestación y degradación de los bosques, mediante la mejora de la gobernanza forestal a nivel nacional, y la gestión de incentivos financieros para disminuir la pérdida y degradación de los bosques.
Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC Panamá)	Incorpora acciones para la para la ejecución de la agenda de transición energética, planes de acción municipal, de cambio climático, biodiversidad, sector marino costero y adaptación. Así mismo, establece un modelo colaborativo en el sector público, que contribuye a optimizar la captación y aprovechamiento de financiamiento climático internacional.
Informe del Inventario Nacional 2020 (IIN 2020)	Incluye los antecedentes generales del cambio climático y de los inventarios nacionales de GEI; aspectos metodológicos generales, y análisis de las categorías principales. Presenta la tendencia de las emisiones y absorciones de GEI del país y el plan de mejora del inventario.

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

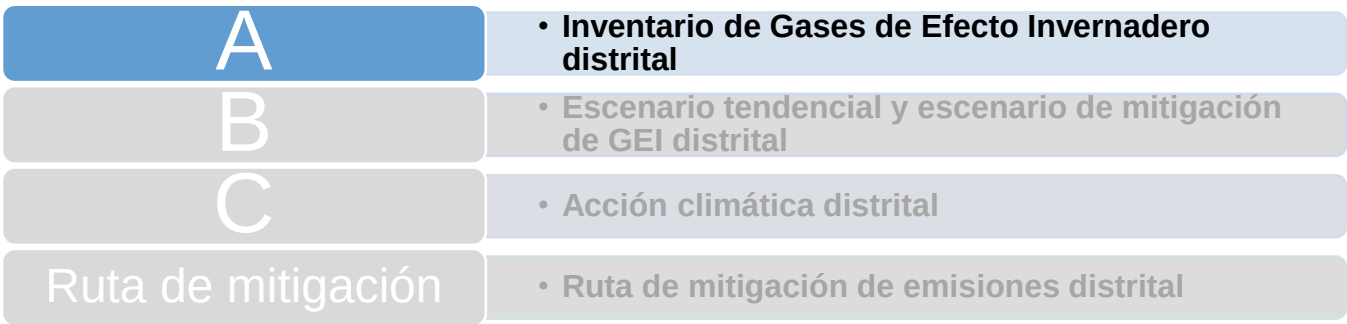
INTRUMENTO NORMATIVO	DESCRIPCIÓN
Plan Nacional de Género y Cambio Climático	Para cada uno de los sectores priorizados se proponen estrategias de acción, capaces de dinamizar un proceso integral de transversalización del enfoque de género en la agenda climática.
Estrategia Nacional de Ambiente 2031 Panamá	Contribuye a mejores procesos de toma de decisiones para la protección y conservación ambiental en Panamá, tomando en consideración los retos y oportunidades en materia ambiental, social y económica. Establece como Eje Estratégico (II): Economía Verde-Azul para el Desarrollo Sostenible, la Resiliencia al Cambio Climático y el Bienestar.
Plan Estratégico Nacional con Visión de Estado Panamá 2030	Garantiza la incorporación de la sostenibilidad, a través de estrategias, planes y políticas en materia de medio ambiente, así como una serie de acciones encaminadas a la mitigación y adaptación.
Plan Estratégico del Gobierno de Panamá Visión 2019-2024	Determina en el eje estratégico de economía sostenible las bases para implementar marcos estratégicos consensuados para la protección del medio ambiente y adaptación al cambio climático. Así como estrategias para la reducción de riesgos de desastres naturales.
Política Nacional de Cambio Climático	Gestionar adecuadamente en el ámbito nacional el tema de Cambio Climático y los efectos que pueda generar sobre la población y el territorio, de conformidad con las disposiciones comprendidas en la Convención del Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el Protocolo de Kioto, la Constitución Política de la República de Panamá y la Ley General de Ambiente.
Guía Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres en Panamá	Herramienta que facilita el análisis de las condiciones del riesgo en los distritos de Panamá e identifica las acciones encaminadas a la reducción del riesgo de desastres.

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

1.2. Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Distrito de Soná

En esta primera etapa del proceso de desarrollo de la Hoja de Ruta, se describen los pasos seguidos para la realización del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del distrito. En este sentido, este componente se perfila como el diagnóstico relativo a la mitigación y da pie a la elaboración de escenarios tendenciales y de mitigación, que se proyectan en el siguiente componente.

Figura 8. Componente: Inventario de Gases de Efecto Invernadero



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

1.2.1. Metodología del inventario de GEI

Este inventario se plantea con base en el Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria, en su versión 2.0 (GPC por sus siglas en inglés - (WRI, WBCSD, & GHG Protocol, 2014)). Se trata de un estándar para la realización de inventarios de gases de efecto invernadero en ciudades³ creado por World Resources Institute (WRI), C40 Cities Climate Leadership Group (C40), y el Local Governments for Sustainability (ICLEI), con colaboración del Banco Mundial, PNUD y UN-HABITAT. Este estándar establece un marco que permite la comparación entre inventarios de ciudades.

Tras la publicación de la versión 1.0 en mayo de 2012 y de un periodo de pruebas piloto en 35 ciudades alrededor del mundo, entre enero y mayo de 2014, se publicó en julio del mismo año la versión 2.0 del GPC, que será la utilizada en este inventario de emisiones de GEI. La versión 2.0 presenta varias novedades respecto a la versión 1.0, principalmente por la inclusión de:

- El Trifluoruro de Nitrógeno (NF₃), en línea con el Protocolo de Kioto, que lo añadió en el grupo de gases de efecto invernadero en el año 2014.
- Aumento del alcance de BASIC+, incorporando las emisiones de alcance 3 de fuentes estacionarias.
- El reporte del CO₂ procedente de la combustión de carbono biogénico, de forma separada.
- El reporte de las emisiones directas asociadas a la gestión de residuos importados, también de forma separada.
- Datos adicionales descriptivos en el formato de reporte.

³ Se emplea el término ciudad en la metodología del GPC haciendo referencia a cualquier entidad subnacional geográficamente discernible, como una comunidad, pueblo, ciudad o provincia, y abarca todos los niveles de la jurisdicción subnacional y los gobiernos locales como entidades legales de la administración pública (Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria, en su versión 2.0)

Principios del inventario

El GPC basa el desarrollo del inventario en los siguientes principios, que deberán ser tenidos en cuenta a lo largo de todo el proceso de planificación y cálculo:

- **Relevancia:** Seleccionar las fuentes de emisión y sumideros, datos y metodologías apropiados para las necesidades del usuario previsto. El inventario debe reflejar las actividades que se desarrollen dentro de los límites geográficos del inventario. Con base en el principio de relevancia, es posible excluir las emisiones que no sean representativas del territorio.
- **Integridad:** Incluir todas las emisiones y remociones de GEI relevantes. Se deben incluir notas explicativas cuando una fuente de emisión sea excluida, no sea relevante o no exista en el territorio.
- **Consistencia:** Los cálculos deben ser consistentes en enfoque, metodología y alcance. Así, se debe permitir comparaciones en los resultados a lo largo de una serie temporal. Se deben aplicar las metodologías recomendadas por GPC, reportando y justificando cualquier desviación.
- **Transparencia:** Los datos de actividad, factores de emisión y metodologías deben estar adecuadamente documentadas y listas para su verificación. La información debe ser suficiente para garantizar que el inventario pueda ser replicable. Es en especial importante señalar claramente las fuentes de información utilizadas.
- **Exactitud:** Se deben evitar errores sistemáticos que lleven a sobreestimar o infravalorar las emisiones. La exactitud de los cálculos debe ser suficiente para servir al objeto del inventario. Se debe reducir la incertidumbre al máximo dentro de los límites posibles y prácticos.
- **Capacidad de medición:** Los datos necesarios para el desarrollo del inventario deben ser fácilmente accesibles en tiempo y costo. Cualquier exclusión o estimación deberá estar perfectamente documentada.

En la práctica, pueden aparecer conflictos entre los diferentes principios. Por ejemplo, cumplir el principio de integridad puede requerir el uso de datos menos exactos, afectando al principio de exactitud.

23

Tipos de emisiones

El GPC considera dos tipos de emisiones en función del lugar de generación de estas:

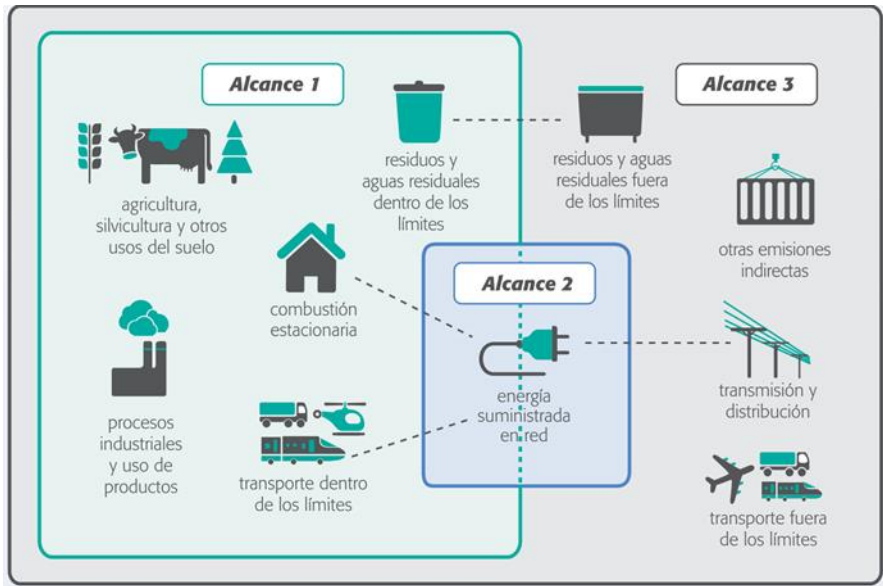
- **Emisiones directas:** son emisiones que se producen dentro de los límites geográficos del inventario (en el área de estudio).
- **Emisiones indirectas:** son emisiones que se producen fuera de los límites geográficos del inventario, pero que están directamente relacionadas con actividades que suceden dentro del área de estudio.

Con base en esta primera clasificación, el GPC plantea tres alcances diferentes, en línea con otros protocolos de contabilidad de carbono como el GHG Protocol o la norma ISO 14064-1:2006. En la Figura 9 presentan los alcances y los sectores que involucran.

- Alcance 1: Todas las emisiones directas. Es el caso por ejemplo de las emisiones asociadas a la combustión en cocción, calderas, o en motores de vehículos que se producen dentro del área de estudio.
- Alcance 2: Todas las emisiones indirectas asociadas al consumo de energía de red dentro de los límites geográficos del inventario, como es el caso del consumo de electricidad (parte de la electricidad se genera en la zona de estudio mientras que otra parte se genera fuera).

- Alcance 3: El resto de las emisiones indirectas no contempladas en el alcance 2. Por ejemplo, las emisiones asociadas a la gestión de residuos generados dentro de los límites geográficos, pero gestionados fuera del área de estudio.

Figura 9. Emisiones según alcances



Fuente: GHC Protocol

24

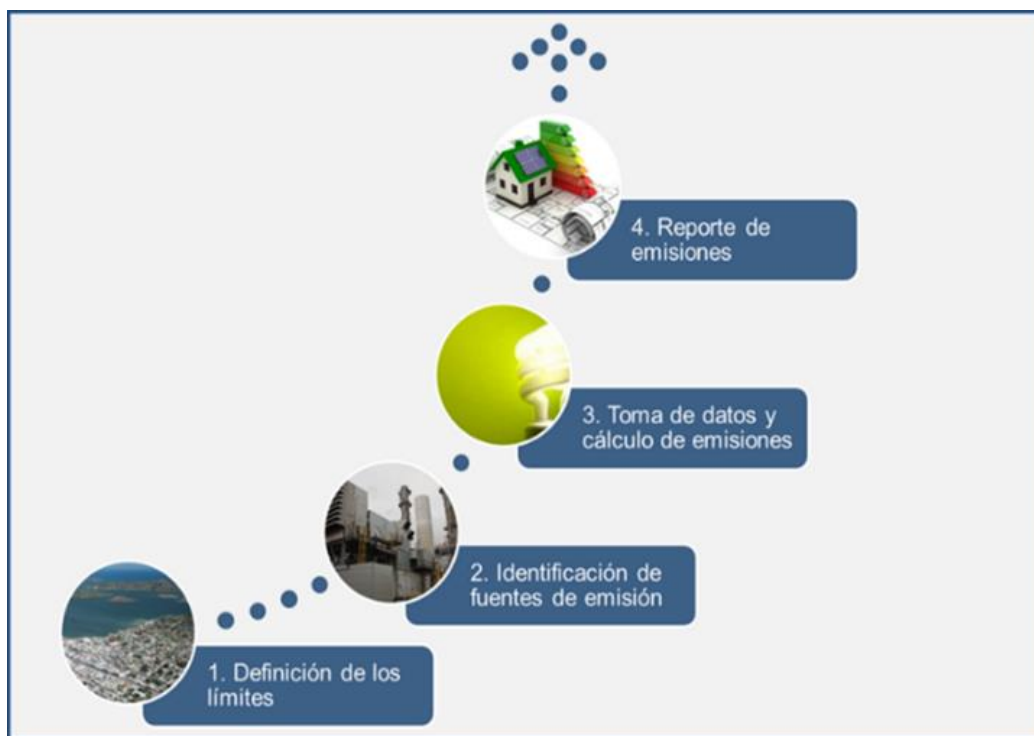
Puesto que la electricidad se contabiliza desde el lado de la demanda en el alcance 2, y con objeto de evitar la doble contabilidad, las emisiones del alcance 1 asociadas a la generación de electricidad en el área de estudio no deben ser contabilizadas en el valor total de emisiones. No obstante, estas emisiones sí deben ser reportadas en el alcance 1, a nivel informativo.

De forma similar sucede con las emisiones de GEI asociadas a la gestión en el área de estudio de residuos procedentes de fuera del área de estudio. Estas emisiones se contabilizan como alcance 1, pero no en el total de emisiones. Por estas dos excepciones, la suma de los alcances 1, 2 y 3, no es igual al total de las emisiones consideradas en el área de estudio.

Pasos para la realización de un inventario

Cualquier inventario de emisiones de GEI de un territorio debe contar con los cuatro pasos recogidos en la Figura 10.

Figura 10. Pasos para la elaboración de un inventario de emisiones de GEI



Fuente: IDOM, 2021

Paso 1: Definición de los límites y año-base del inventario

De acuerdo con la metodología a seguir, se definirán los límites del inventario de GEI con referencia a:

- **Límite geográfico:** define el área geográfica de estudio. En este caso el ámbito de estudio es el Distrito. Todas las emisiones que se produzcan dentro de estos límites serán emisiones directas.
- **Límite operativo:** define las fuentes de emisión que se considerarán. El GPC presenta dos tipos de límites operativos diferentes.
 - GPC 2014 BASIC: considera todas las fuentes de alcance 1 y de alcance 2 para las emisiones asociadas a unidades estacionarias, unidades móviles, residuos, así como las emisiones de alcance 3 del sector residuos.
 - GPC 2014 BASIC+: considera además de las anteriores las emisiones asociadas a los sectores procesos industriales y uso de productos (PIUP) y el sector de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU), y las emisiones de alcance 3 asociadas al transporte transfronterizo.
- **Año y frecuencia de cálculo:** se debe incluir un periodo continuo de 12 meses, idealmente alineado con el año calendario y seleccionar un año base para comparar las emisiones que se estimen en inventarios de años posteriores, los cuales preferentemente deben realizarse cada dos años, y monitorear la reducción de emisiones derivadas de las acciones de mitigación implementadas en el Distrito. Se recomienda, de ser posible, realizar una estimación de las emisiones de GEI para varios años consecutivos para contar con una serie de tiempo que permita validar la coherencia y consistencia de los datos a través del tiempo.

Paso 2: Identificación de fuentes de emisión y absorción

Una vez conocidos los límites del inventario es necesario identificar todas las fuentes de emisión. Algunas fuentes de emisión o de captura de carbono atmosférico dentro del sector Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS) del inventario. En el caso de las fuentes de emisión en general se cuenta con fuentes difusas que serán identificadas de forma agregada.

Para la identificación de las fuentes de emisión se toman en consideración actores con conocimientos locales, documentación existente (inventarios previos, anuarios estadísticos, etc.) y cartografía. Una vez identificadas y conforme la metodología de cálculo para cada tipo fuente de emisión, se establecen los datos por recopilar.

Paso 3: Levantamiento de información y cálculo de emisiones

La recopilación de información es un proceso iterativo, ya que depende en gran parte de los datos disponibles. En el paso anterior se han debido definir los datos óptimos para el cálculo a recopilar. Sin embargo, es común que algunos de estos datos óptimos no existan o no se puedan conseguir, casos en los que es necesario replantearse la estrategia de cálculo afectada por ese dato y buscar alternativas.

Los datos deben proceder, bien de documentos y estadísticas oficiales – datos **secundarios**, bien de procesos de encuesta directa a las fuentes de emisión – datos **primarios**.

El cálculo de emisiones se realiza siempre que sea posible, aplicando las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Estas directrices están orientadas a realizar inventarios nacionales, y por ello, en algunos casos no son directamente aplicables a inventarios de territorios subnacionales o municipios. Adicionalmente para mantener la coherencia y seguir el principio de comparabilidad, en este inventario se han empleado los factores de emisión y absorción derivados de investigaciones y cálculo con información propia de Panamá, los cuales han sido publicados en documentación nacional.

Los **gases que se contabilizarán** son gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes. Para el inventario se consideran: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y los hidrofluorocarbonos (HFC).

Cálculo de emisiones

La estimación de emisiones se plantea con base en el GPC, el cual sigue las Directrices del IPCC (2006) para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Salvo en casos especiales como el Sector Residuos o algunos conceptos del sector AFOLU, la metodología de cálculo de emisiones se basa en el uso de Datos de Actividad y Factores de Emisión.

$$\text{Emisiones de GEIs (t GEI)} = \text{Dato de actividad} \times \text{Factor de emisión}$$

Siendo:

- **Dato de Actividad:** Medida cuantitativa de la actividad que produce una emisión.

En el caso de las emisiones asociadas al consumo de combustibles, el dato de actividad suele ser el combustible consumido.

En el caso de las emisiones asociadas a la electricidad, el dato de actividad suele ser la energía consumida en términos de kWh.

En el caso de AFOLU, se utilizan datos de actividad como número de cabezas de vacuno o superficie de cultivo.

- **Factor de Emisión:** Razón que relaciona el dato de actividad con la emisión de GEI. Expresado en toneladas de GEI/unidades (dependiendo la unidad de las unidades del dato de actividad).

Para cada combustible se produce una emisión específica de GEI que se encuentra íntimamente ligada al contenido en carbono del combustible en cuestión.

Asimismo, existen factores de emisión sectoriales, para los procesos productivos, factores de emisión por degradación de materia orgánica y factores de emisión por distancia recorrida para distintos tipos de vehículos.

La elección de un factor de emisión implica considerar criterios de adecuación geográfica (cuanto más específico para la geografía sea, mejor) y de adecuación temporal (lo más cercano en el tiempo al período de cálculo). Se considerarán como fuentes reconocidas para la búsqueda de factores de emisión las registradas en la Informe de Inventario nacional 2020, así como otros señalados por las autoridades locales y nacionales. En esta oportunidad y como se ha mencionado anteriormente, se emplean los Factores de Emisión y Absorción Disponibles para Panamá, empleados en el último Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del país para el año 2017.

En ocasiones, para adecuar las unidades del dato de actividad a las unidades del factor de emisión disponible, es necesario utilizar factores de conversión tales como la densidad o el poder calorífico inferior en el caso de los combustibles.

Las emisiones directas de GEI por fugas o escapes, como es el caso de los gases refrigerantes, se contabilizan directamente como masa de GEI fugado a la atmósfera, sin necesidad de aplicar factores de emisión.

Para utilizar una unidad común y poder comparar el impacto de cada gas, las emisiones de cada GEI se convierten a toneladas de CO₂e aplicando un nuevo factor llamado Potencial de Calentamiento Global (PCG).

$$\text{Emisiones de GEI (t CO}_2\text{e)} = \text{Dato de emisión} \times \text{Potencial de calentamiento global}$$

Donde:

- **Dato de emisión:** Medida cuantitativa de la emisión producida (t GEI).
- **Potencial de calentamiento global:** Factor que describe el impacto sobre el cambio climático de cada tipo de GEI. Este factor se formula con base en la unidad de referencia, el CO₂, y por ello se expresa en toneladas de CO₂e /t GEI (existe un factor para cada tipo de GEI). El factor se refiere a la acción del GEI sobre el calentamiento global durante un período de 100 años. La definición de los potenciales de calentamiento global queda dentro del ámbito científico, y tienen una incertidumbre significativa. El IPCC publica los potenciales de calentamiento global más actuales en sus Informes de Evaluación que elabora periódicamente. A efectos de este inventario se utilizan los potenciales de calentamiento global publicados por el IPCC en el Quinto Informe

de Evaluación. En este sentido, los potenciales de calentamiento global para los GEI considerados se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Potenciales de calentamiento global utilizados para los GEI considerados en el Inventario

Gases de efecto invernadero	Potenciales de calentamiento global
CO ₂	1
CH ₄	28
N ₂ O	265

Fuente: IDOM con información del (IPCC, 2006)

Casos particulares: Sector residuos y AFOLU

Para el caso de las emisiones de CH₄ asociadas a la descomposición de materia orgánica en vertederos, el cálculo es más complejo y no se puede simplificar mediante el uso de factores de emisión. La emisión presenta un desfase en el tiempo respecto a la deposición del residuo y presenta una cinética no lineal. Se aplica el modelo de Descomposición de Primer Orden (FOD) tal y como indican las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Este modelo se puede resumir en los siguientes pasos:

1. En función de la cantidad de residuos, su composición y el contenido en carbono orgánico de cada corriente se calcula el carbono orgánico degradable en los residuos depositados en el año cero.
2. Asumir la cantidad de carbono que se descompone al año (por defecto 50%).
3. Calcular la constante de descomposición del residuo, con base en la constante de descomposición de cada corriente.
4. Aplicar una ecuación exponencial (reacción de primer orden) y calcular las emisiones de CH₄.
5. Calcular el carbono orgánico degradable que queda en el relleno y acumularlo al nuevo residuo que entra al siguiente año.

En el caso de AFOLU se aplican factores de emisión para las emisiones asociadas a la ganadería, la fertilización nitrogenada y a algunos cultivos como el arroz cultivado bajo sistemas de inundación. Para los usos del suelo (suelos que permanecen con el mismo uso y suelos que cambian de uso), se calcula el carbono acumulado en la biomasa en cada tipo de vegetación y en cada tipo de suelo. Los cambios de uso del suelo se consideran durante un período de 20 años. Transcurridos dichos 20 años no se computan como cambios de uso. Para cada una de las categorías de uso de la tierra (asentamientos, tierras de cultivo, tierras forestales, pastizales y humedales) se consideran tres depósitos de carbono:

- Biomasa (aérea⁴ y subterránea⁵);
- Materia Orgánica Muerta (madera muerta y hojarasca);
- Suelos.

⁴ Toda la biomasa de la vegetación viva, tanto maderera como herbácea, que se halla por encima del suelo, incluidos tallos, cepas, ramas, corteza, semillas y follaje.

⁵ Toda la biomasa de las raíces vivas. A menudo, las raíces finas, de menos de 2 mm de diámetro (sugerido), se excluyen porque, empíricamente, no se las puede distinguir de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca.

Las estimaciones de emisiones y absorciones se realizan para cada uso de la tierra. Se evalúa por separado:

- Las tierras que permanecen en la misma categoría de uso en el año de inventario;
- Las superficies que han sufrido un cambio del uso de la tierra. Una superficie que sufre un cambio en el uso de la tierra debe considerarse como tal durante un período de 20 años. Es decir, durante esos 20 años se debe considerar ese cambio de uso como una fuente de emisión o absorción.

Paso 4: Reporte de emisiones

Las emisiones y absorciones se deben reportar de una forma organizada y coherente a través de una tabla de resultados del inventario para cada año calculado, desagregada por fuente de emisión, alcance y GEI.

En el Reporte de emisiones se incluyen, a nivel informativo, las emisiones de CO₂ asociadas a la combustión de biomasa (leña, carbón vegetal, residuos vegetales, biodiesel y alcohol). La combustión de biomasa implica que, con una gestión adecuada de los recursos, dicho combustible podría llegar a ser considerado como neutral en emisiones de CO₂, sin producir un efecto a largo plazo sobre el cambio climático.

Esto es de aplicación únicamente a las emisiones de CO₂, el resto de los gases de efecto invernadero emitidos en la combustión de biomasa (CH₄, N₂O) sí tienen efecto a largo plazo sobre el cambio climático y deben ser considerados en el inventario.

1.2.2. Consideraciones metodológicas para el Distrito de Soná

La Tabla 4, señala las principales características del Inventario de GEI del distrito.

29

Tabla 4. Marco de inventario de GEI

MARCO DE ESTUDIO	
Estándar o protocolo aplicado	Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria - Versión 2.0 –2014 (ICLEI, C40, WRI).
Alcance	Básic+ sin cálculo del sector IPPU
Límites geográficos	Distrito de Soná
Límites operativos	• Todas las emisiones relevantes de Alcance 1 y Alcance 2 de: - Fuentes estacionarias, - Transporte, - Residuos (sólidos y aguas residuales) - AFOLU (Agricultura y Ganadería y, Usos de la Tierra, Cambios de Uso de Tierra y Silvicultura).
Año del inventario	2021

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

Las categorías que integra este inventario se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Categorías del Inventario de GEI

Categorías	Descripción
I. Energía proveniente de la producción y el uso de energía estacionaria	Emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O resultado de la combustión por medio de algún artefacto (alcance 1) y del consumo de electricidad (alcance 2) en los sectores residencial, comercial e institucional, industrias manufactureras y actividades agrícolas, pesqueras y mineras.
II. Transporte	Emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O provenientes del consumo de combustibles en transporte por carretera, dentro de la ciudad (interurbanos) (alcance 1), consumo de electricidad (alcance 2) y de los desplazamientos transfronterizos que se producen fuera de la ciudad por navegación marítima, fluvial y lacustre, así como de aviación (alcance 3)
III. Residuos	Emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O resultado de la generación y gestión de residuos sólidos urbanos y de aguas residuales domésticas.
IV. Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU)	Emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O que son generadas por procesos de la industria de los minerales y química, así como por el consumo de gases refrigerantes (HFC - hidrofluorocarbonos) en aire acondicionado y refrigeración en edificios gubernamentales. <i>Nota: El alcance de este proyecto no incluye este sector, dado que no se cuenta con estadística nacional, por lo que, no fue incluido en el Inventario Nacional de GEI 2021.</i>
V. AFOLU	Emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O generadas por actividades forestales y agropecuarias en las zonas rural y urbana; así como, de las absorciones de CO₂ realizadas por el arbolado urbano, los sistemas de árboles y procesos de restauración. <i>Nota: Esta categoría se dividirá, para efectos de los Inventarios Distritales en dos subcategorías: Agricultura y Ganadería; y UTCUTS.</i>

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

A efectos de la clasificación de las emisiones de este inventario se estiman 4 sectores: Energía estacionaria, Transporte, Residuos, Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (AFOLU). Cada sector se divide en subsectores, tal y como muestra la Tabla 6.

Tabla 6. Sectores considerados para el inventario de GEI

SECTORES	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
GPC: I - Energía proveniente de la producción y el uso de energía estacionaria	I.1 Edificios residenciales	Todas las emisiones provenientes del uso de energía en los hogares.
	I.2 Edificios e instalaciones comerciales	Todas las emisiones provenientes del uso de la energía en los edificios e instalaciones comerciales
	I.2 Edificios e instalaciones institucionales	Todas las emisiones provenientes del uso de la energía en edificios públicos como escuelas, hospitales, oficinas gubernamentales, alumbrado, carreteras y otras instalaciones públicas.
	I.3 Construcción e industrias manufactureras	Todas las emisiones provenientes del uso de energía en instalaciones industriales y actividades de construcción, excepto las incluidas en el subsector de las industrias de energía. Esto también incluye la combustión para la generación de electricidad y calor para uso propio en estas industrias.
	I.4 Industrias energéticas	Todas las emisiones provenientes de la producción de energía y el uso de energía en las industrias energéticas.
	1.4.4 Generación de energía suministrada a la red	Todas las emisiones provenientes de la generación de energía para electricidad, vapor, calor y refrigeración distribuidos en red.
	I.5 Actividades agrícolas, de silvicultura y de pesca	Todas las emisiones provenientes del uso de energía en la agricultura, la silvicultura y la pesca.

SECTORES	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
GPC: II – Transporte (Energía Fuentes Móviles)	I.6 Fuentes no especificadas	Todas las demás emisiones provenientes de instalaciones que producen y consumen energía no especificados en otra parte.
	I.7 Minería, procesamiento, almacenamiento y transporte de carbón	Incluye todas las emisiones intencionales y no intencionales provenientes de la extracción, procesamiento, almacenamiento y transporte del combustible en la ciudad
	I.8 Petróleo y sistemas de gas natural	Emisiones fugitivas provenientes de todas las actividades de petróleo y gas natural que se producen en la ciudad. Las fuentes primarias de estas emisiones pueden incluir filtraciones fugitivas de equipos, pérdidas por evaporación, venteo, quema y vertidos accidentales.
	II.1 Transporte por carretera	Los vehículos de carretera están diseñados para el transporte de personas, bienes o materiales en carreteras, vías o autopistas públicas. Esta categoría incluye vehículos como autobuses, automóviles, camiones, motocicletas, vehículos de recolección y transporte de residuos por carretera (por ejemplo, camiones compactadores), etc.
	II.2 Ferroviario	Los ferrocarriles se pueden utilizar para el transporte de personas y mercancías, y son accionados por una locomotora, que normalmente utiliza energía mediante la quema de combustibles diésel o electricidad (conocida como tracción eléctrica).
GPC: III – Residuos	II.3 Transporte fluvial	El transporte marítimo incluye buques, transbordadores y otras embarcaciones que operan dentro de los límites de la ciudad, así como buques de navegación marítima cuyos viajes se originan o terminan en los puertos dentro de los límites de la ciudad pero que viajan a destinos fuera de la ciudad.
	II.4 Aviación	La aviación civil, o los viajes aéreos, incluye las emisiones provenientes de los viajes en el aire que se producen dentro de los límites geográficos (por ejemplo, los helicópteros que operan dentro de la ciudad) y las emisiones provenientes de los vuelos que salen de aeropuertos que brindan servicios a la ciudad.
	II.5 Transporte fuera de carretera	Los vehículos todoterreno son aquellos diseñados o adaptados para el recorrido en terrenos sin pavimentar.
	III.1 Residuos sólidos generados en la ciudad que son dispuestos en vertederos o basurales a cielo abierto	Los residuos sólidos pueden ser dispuestos en los sitios regulados (por ejemplo, vertederos sanitarios y basurales gestionados), y en los sitios de disposición no regulados (por ejemplo, basurales al aire libre, incluyendo cúmulos por encima del suelo, agujeros en el suelo, y los vertidos en elementos naturales, tales como barrancos).
	III.2 Residuos sólidos generados en la ciudad que son tratados biológicamente	El tratamiento biológico de residuos se refiere al compostaje y la digestión anaerobia de residuos orgánicos, tales como residuos de alimentos, residuos de jardín y parque, lodos, y otras fuentes de residuos orgánicos. El tratamiento biológico de residuos sólidos reduce el volumen total de residuos para su disposición final (en un vertedero o incineración) y reduce la toxicidad de los residuos.
	III.3 Residuos sólidos generados en la ciudad que se incineran o se queman a cielo abierto	La incineración es un proceso industrial controlado, a menudo con recuperación de energía, donde las entradas y las emisiones pueden medirse y los datos están a menudo disponibles. Por el contrario, la quema al aire libre es un proceso no controlado, a

SECTORES	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
		menudo ilícito, con diferentes emisiones y, por lo general, solo puede ser calculada de acuerdo con los índices de recolección.
	III.4 Aguas residuales generadas en la ciudad	Las aguas residuales municipales pueden ser tratadas aeróbicamente (en presencia de oxígeno) y anaeróbicamente (en ausencia de oxígeno). Cuando las aguas residuales son tratadas en condiciones anaerobias, se produce el metano (CH ₄).
GPC: V - AFOLU	Emisiones provenientes de la ganadería dentro de los límites de la ciudad (Ganadería)	La producción ganadera emite CH ₄ mediante la fermentación entérica, y CH ₄ y N ₂ O mediante la gestión del estiércol. Las emisiones de CO ₂ provenientes de la ganadería no se estiman porque se supone que las emisiones anuales de CO ₂ netas son igual a cero, el CO ₂ fotosintetizado por las plantas se devuelve a la atmósfera en forma de CO ₂ respirado. Una parte del C se devuelve como CH ₄ y por esta razón el CH ₄ debe ser analizado por separado.
	Emisiones provenientes del uso del suelo dentro de los límites de la ciudad (UTCUTS)	Las emisiones y absorciones de CO ₂ se basan en los cambios en las existencias de C en los ecosistemas y se estiman para cada categoría de uso del suelo. Esto incluye tanto el suelo restante en una categoría de uso del suelo como el suelo convertido para otro uso.
	Emisiones provenientes de fuentes agregadas y emisiones procedentes de fuentes distintas al CO ₂ dentro de los límites de la ciudad (Agricultura entre otros)	Se trata de otras fuentes de emisiones de tierras que incluyen el cultivo de arroz, uso de fertilizantes, aplicación de urea. Se trata de emisiones de CH ₄ y N ₂ O.

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

32

Es importante considerar que la metodología GPC es compatible con las categorías del IPCC, por lo que es posible realizar inferencias con los datos del inventario nacional. En la Tabla 7 se presenta la correspondencia.

Tabla 7. Correspondencia de categorías IPCC y GPC

IPCC		GPC Alcance 1	
ENERGÍA		ENERGÍA ESTACIONARIA	
1A4b	Otros sectores: Residencial	I.1	Edificios residenciales
1A4a	Otros sectores: Comercial/ Institucional	I.2	Edificios e instalaciones comerciales e institucionales
1A2	Industrias Manufactureras y de la Construcción	I.3	Construcción e industrias manufactureras
1A1	Industrias de la energía	I.4	Industrias energéticas
1A4c	Otros sectores: Agricultura, silvicultura, pesca, granjas acuícolas	I.5	Actividades agrícolas, de silvicultura y de pesca
1A5a	No especificada	I.6	Fuentes no especificadas
1B1	Combustibles sólidos - emisiones fugitivas	I.7	Emisiones fugitivas provenientes de la minería, el procesamiento, el almacenamiento y el transporte de carbón
1B2	Petróleo y gas natural -emisiones fugitivas	I.8	Emisiones fugitivas provenientes de los sistemas de petróleo y gas natural

IPCC		GPC Alcance 1	
1B3	Otras emisiones provenientes de la producción de energía	I.6	Fuentes no especificadas
ENERGÍA		TRANSPORTE	
1A3b	Transporte terrestre	II.1	Transporte por carretera
1A3c	Ferrocarriles	II.2	Ferrovial
1A3d	Navegación marítima y fluvial	II.3	Navegación marítima, fluvial y lacustre
1A3a	Aviación civil	II.4	Aviación
1A3e	Otro transporte	II.5	Transporte fuera de carretera
RESIDUOS			
4A	Eliminación de residuos sólidos	III.1	Disposición de residuos sólidos
4B	Tratamiento biológico de los residuos sólidos	III.2	Tratamiento biológico de residuos
4C	Incineración e incineración abierta de residuos	III.3	Incineración y quema a cielo abierto
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	III.4	Tratamiento y vertido de aguas residuales
AFOLU			
3A	Ganado	V.1	Emisiones provenientes de la ganadería dentro de los límites de la ciudad
3B	Tierra	V.2	Emisiones provenientes del uso del suelo dentro de los límites de la ciudad
3C, 3D	Fuentes agregadas y fuentes de emisiones no CO ₂ en la tierra, Otros.	V.3	Emisiones provenientes de fuentes agregadas y emisiones procedentes de fuentes del suelo distintas al CO ₂ dentro de los límites de la ciudad

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

Definición de los límites

Paso 1: límites geográficos

La escala de estudio del inventario de GEI es el distrito de Soná, con una extensión territorial aproximada de 1,519.10 km². Situado en la costa del Pacífico en la provincia de Veraguas.

Paso 2: Identificación de emisiones

La identificación de fuentes de emisiones se ha realizado a través de la consulta de información secundaria, entrevistas con agentes relevantes, especialistas sectoriales, talleres y recorridos en el distrito. La Tabla 8 recopila las emisiones identificadas en cada categoría, referenciando las fuentes de emisión singulares en cada caso.

Tabla 8. Identificación de emisiones de GEI del Distrito de Soná

Categoría GPC SUBCATEGORÍAS		OCURRE
I. Energía en fuentes estacionarias		
I.1	Residencial: consumo de combustibles y electricidad	SI
I.2	Servicios: consumo de combustibles y electricidad	SI
I.2 ⁶	Institucional: consumo de combustibles y electricidad	SI
I.3	Industria manufacturera y de la construcción: consumo de combustibles y electricidad	SI
I.4	Producción de energía (electricidad y vapor): consumo de combustibles y electricidad	NO
I.5	Agricultura, pesca y minería: consumo de combustibles y electricidad	SI
I.6	Fuentes no especificadas: consumo de combustibles y electricidad	NO
I.7	Emisiones fugitivas de la producción de carbón mineral	NO
I.8	Emisiones fugitivas de la producción de petróleo y gas natural	NO
II. Transporte		
II.1	Emisiones asociadas al transporte en carretera.	SI
II.2	Emisiones asociadas al transporte por ferrocarril	NO
II.3	Emisiones asociadas al transporte por agua	SI
II.4	Emisiones asociadas al transporte por aire	SI
II.5	Emisiones asociadas al consumo de combustibles en tractores, maquinaria de obra, etc.	NO
III. Residuos		
III.1	Emisiones asociadas a la descomposición de la materia orgánica en rellenos sanitarios y vertido no regulado	SI
III.2	Emisiones asociadas al tratamiento biológico de los residuos	NO
III.3	Emisiones asociadas a la incineración y quema incontrolada de residuos a cielo abierto	SI
III.4	Emisiones asociadas al vertido de aguas residuales	SI
V. AFOLU		
V.1	Emisiones asociadas a la ganadería; fermentación entérica y gestión de estiércol	SI
V.2	Emisiones y absorciones asociadas al uso del suelo: uso de tierras, cambio de uso de tierras y silvicultura	SÍ
V.3	Emisiones de fuentes agregadas y emisiones No CO ₂ consecuencia del uso del suelo	SI

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

Paso 3: levantamiento de datos y cálculo de emisiones

La toma de datos es fruto de un proceso iterativo de búsqueda y solicitud, identificación de barreras y planteamiento de alternativas de cálculo para superarlas.

Para cada sector se ha estructurado una estrategia de cálculo tal como se muestra en la Tabla 9. Estas estrategias pueden ser de arriba-abajo, cuando parten de datos de nivel supramunicipal (datos regionales, departamentales o del país) o pueden ser de abajo-arriba, cuando parte de datos individuales de las diferentes fuentes de emisión del área de estudio.

⁶ En las categorías del GPC el sector institucional y el sector servicios se encuentran bajo el mismo epígrafe. Se ha decidido separarlos para dar una mayor relevancia al sector institucional.

Tabla 9. Estrategia abordada para la obtención del dato de actividad

DATOS NECESARIOS						
Categoría GPC	Subcategoría	Detalle	Alcance	Dato necesario	Fuente del dato	Estatus ⁷
I.1	Residencial	Consumo de combustible	1	Consumo de gas LP	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional)
I.1	Residencial	Consumo de combustible	1	Consumo de leña	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional)
I.1	Residencial	Consumo de electricidad	2	Consumo de electricidad	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional) Investigado (escala provincial)
I.2	Servicios	Consumo de combustible	1	Consumo de gas LP	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional)
I.2	Servicios	Consumo de electricidad	2	Consumo de electricidad	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional) Investigado (escala provincial)
I.2	Institucional	Consumo de electricidad	2	Consumo de electricidad	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional) Investigado (escala provincial)
I.3	Industria	Consumo de combustible	1	Consumo de diésel	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional)
I.3	Industria	Consumo de combustible	1	Consumo de gas LP	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional)
I.3	Industria	Consumo de electricidad	2	Consumo de electricidad	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional) Investigado (escala provincial)

⁷ Esta columna señala el estado actual del dato requerido para realizar la cuantificación de emisiones. Se muestra como **“Recibido”** cuando la solicitud de información realizada ha obtenido respuesta; **“Investigado”** señala campos donde no se recibió información como resultado de la solicitud, por lo que se realizó una búsqueda que arroja un dato que puede resultar útil; **“Desarrollado”** cuando a partir de información recibida o investigada, se ha procesado y obtenido el dato de actividad necesario; finalmente aparece como **“Pendiente”** en los casos en que se requiere reforzar la búsqueda.

DATOS NECESARIOS						
Categoría GPC	Subcategoría	Detalle	Alcance	Dato necesario	Fuente del dato	Estatus ⁷
	Transversal energía	Factor de emisión de electricidad	2	Factor emisión electricidad	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional)
	Transversal energía	Pérdidas electricidad	3	% de pérdidas de electricidad en la red eléctrica	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Investigado (escala nacional)
1.5	Agrícolas	Consumo de combustible	1	Consumo de gasolina	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido a escala nacional y agregado como Agro, Pesca y Minería
1.5	Agrícolas	Consumo de combustible	1	Consumo de diésel	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido a escala nacional y agregado como Agro, Pesca y Minería
1.5	Agrícolas	Consumo de electricidad	2	Consumo de electricidad	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido a escala nacional y agregado como Agro, Pesca y Minería
1.5	Silvicultura	Consumo de combustible	1	Consumo de gasolina	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido a escala nacional y agregado como Agro, Pesca y Minería
1.5	Silvicultura	Consumo de combustible	1	Consumo de diésel	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido a escala nacional y agregado como Agro, Pesca y Minería
1.5	Silvicultura	Consumo de electricidad	2	Consumo de electricidad	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido a escala nacional y agregado como Agro, Pesca y Minería
1.5	Pesca	Consumo de combustible	1	Consumo de gasolina	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido a escala nacional y agregado como Agro, Pesca y Minería
1.5	Pesca	Consumo de combustible	1	Consumo de diésel	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido a escala nacional y agregado como Agro, Pesca y Minería
1.5	Pesca	Consumo de electricidad	2	Consumo de electricidad	Información solicitada a la Secretaría	Recibido a escala nacional y agregado

DATOS NECESARIOS

Categoría GPC	Subcategoría	Detalle	Alcance	Dato necesario	Fuente del dato	Estatus ⁷
					Nacional de Energía	como Agro, Pesca y Minería
II.1	Transporte	Movilidad por carretera	1	Consumo diésel	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional)
II.1	Transporte	Movilidad por carretera	1	Consumo gasolina	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional)
II.1	Transporte	Movilidad por carretera	1	Consumo de gas LP	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional)
II.1	Transporte	Movilidad por carretera	1	Consumo de electricidad	Información solicitada a la Secretaría Nacional de Energía	Recibido (escala nacional)
II.3	Transporte	Movilidad marítima	1	Consumo de diésel		Recibido (escala nacional)
II.4	Transporte	Movilidad aérea	1	Consumo de jet fuel		Recibido (escala nacional)
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1 -3	Composición de residuos histórica y actual	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1 -3	Distribución de residuos entre cada tipo de sistema de gestión	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1 -3	Producción de residuos <i>per cápita</i>	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1 -3	Producción de residuos	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1 -3	Producción de residuos	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1	Volumen de generación de residuos urbanos	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1	Tratamiento y disposición final de residuos	Información solicitada a	Investigado (escala nacional)

DATOS NECESARIOS						
Categoría GPC	Subcategoría	Detalle	Alcance	Dato necesario	Fuente del dato	Estatus ⁷
					Ministerio de Ambiente	
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1	Volumen de tratamiento por tipo	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1	Clasificación de corregimientos por clúster de acuerdo con metodología de estimación de generación del PNGIR	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1	Estimación de generación <i>per cápita</i> actualizada por distrito/corregimiento de acuerdo con metodología PNGIR	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.1	Residuos	Residuos sólidos	1	Fecha de inicio del depósito en sitio de disposición final	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.2	Residuos	Residuos sólidos	1	Tratamiento biológico de residuos sólidos		Investigado (escala nacional)
III.3	Residuos	Residuos sólidos	1	Incineración abierta de residuos		Investigado (escala nacional)
III.4	Residuos	Aguas residuales	1	Volumen de aguas residuales	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Investigado (escala nacional)
III.4	Residuos	Aguas residuales	1	Volumen de aguas residuales domésticas	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Recibido (escala nacional)
III.4	Residuos	Aguas residuales	1	DBO	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Recibido (escala nacional)
III.4	Residuos	Aguas residuales	1	DQO	Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Recibido (escala nacional)
V.1	AFOLU	Ganadería	1	Cabezas de ganado bovino no lechero	Instituto Nacional de Estadística y Censo	Investigado (escala provincial)
V.1	AFOLU	Ganadería	1	Cabezas de ganado bovino lechero	Instituto Nacional de Estadística y Censo	Investigado (escala provincial)

DATOS NECESARIOS

Categoría GPC	Subcategoría	Detalle	Alcance	Dato necesario	Fuente del dato	Estatus ⁷
V.1	AFOLU	Ganadería	1	Cabezas de ganado, caprino, porcino, avícola y equino	Instituto Nacional de Estadística y Censo y FAOSTAT	Investigado (escala provincial y nacional)
V.2	AFOLU	Uso de tierras	1	Superficies de coberturas y usos	Las coberturas de suelo fueron generadas a partir del análisis vectorial de Cobertura boscosa y uso de suelo del año 2012 y 2021 obtenidos del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) Información solicitada a Ministerio de Ambiente	Recibido (SINIA) Desarrollado (escala distrital)
V.3	AFOLU	Agricultura	1	Uso de fertilizante por hectárea	FAOSTAT y superficies de cultivo de SINIA MIDA. Cierre Agrícola 2020-2021	Investigado y estimado (escala nacional y distrital)
V.3	AFOLU	Agricultura	1	Superficie de cultivo de arroz.	La superficie de arroz fue obtenida a partir del análisis vectorial de Cobertura boscosa y uso de suelo del año 2012 y 2021 obtenidos del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) MIDA. Cierre Agrícola 2020-2021	Recibido (SINIA) (escala distrital) Investigado (escala provincial) Desarrollado (escala distrital)

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2022

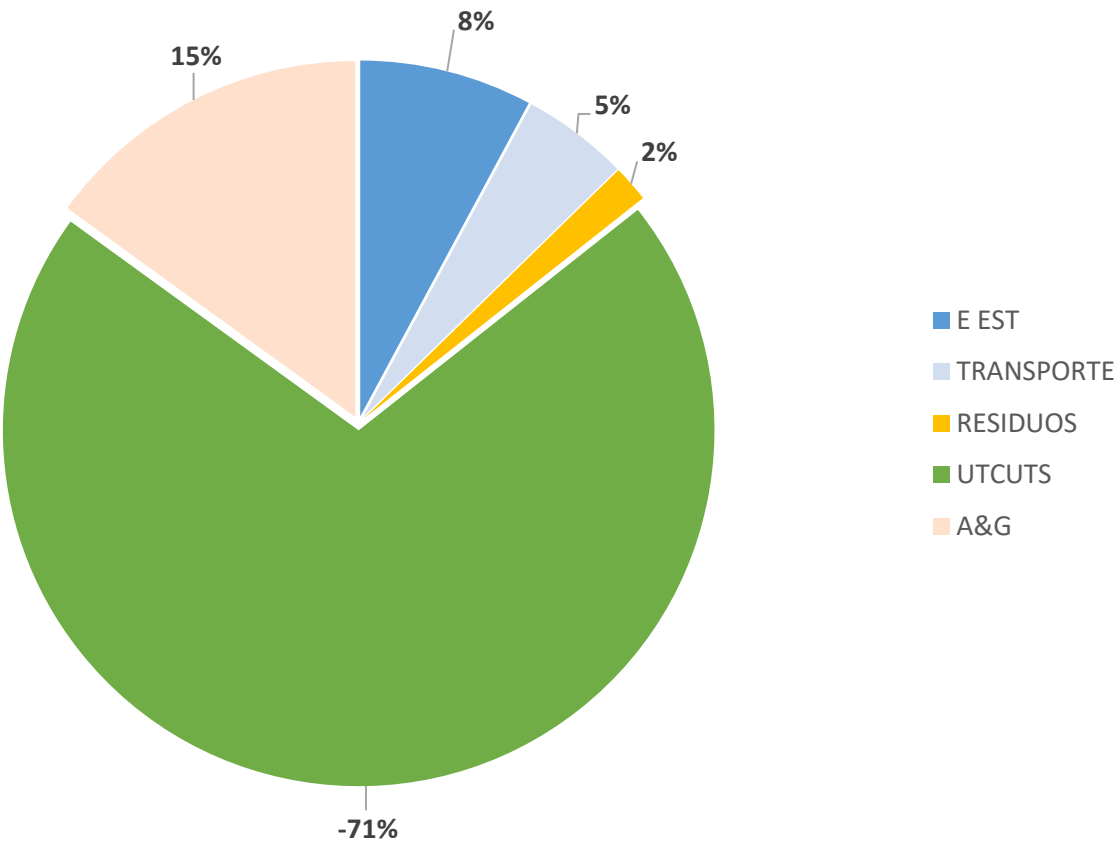
1.2.3. Resultados

Para el año 2021 se registraron emisiones netas (absorciones) del Distrito Soná de -274,527.49 tCO₂e considerando los tres GEI contabilizados, es decir, se trata de un distrito que es sumidero. Lo que representa unas emisiones netas per cápita de -9.19 tCO₂e, y emisiones netas por superficie de -180.72 tCO₂e por km².

La principal fuente de absorción corresponde al sector UTCUTS con -464,891.51 tCO₂e (71% del total de emisiones)

Por otra parte, las principales fuentes de emisión corresponden al sector Agricultura y Ganadería con 98,844.31 tCO₂e (15%) y al sector Energía Estacionaria con 48,711.59 tCO₂e (7%). Seguidos por los sectores de Transporte con 31,839.48 tCO₂e (5%) y el de Residuos con 10,968.64 tCO₂e (2%)⁸. La distribución de las emisiones por sector se presenta a continuación:

Figura 11. Resumen de emisiones por sector (en porcentaje)

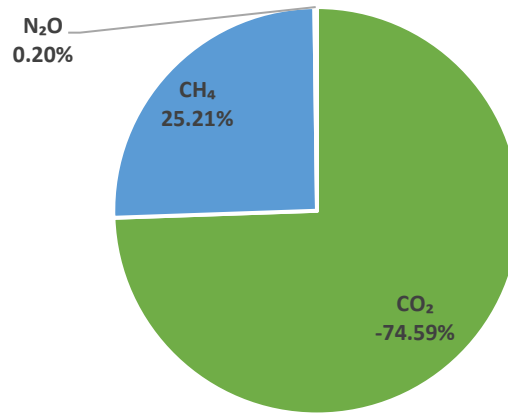


Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

⁸ El detalle sobre los resultados, los cálculos para llegar a éstos, los datos de actividad y factores de emisión para cada sector, así como las respectivas referencias documentales consultadas, se encuentran disponibles en el Anexo 1. Herramienta del Inventario de emisiones de GEI.

En el caso de la desagregación de las emisiones/absorciones por tipo de GEI, en 2021 se registraron - 416,393.07 tCO₂e (74.59%) para CO₂, 140,734.72 tCO₂e (25.21%) para CH₄ y 1,130.86 tCO₂e (0.20%) para N₂O, como se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Resumen de emisiones por tipo de GEI (en porcentaje)



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

En el sector energía estacionaria, las emisiones generadas por consumos de combustibles fósiles y electricidad usados en residencias, edificios comerciales e institucionales, industrias manufactureras y actividades agrícolas, de silvicultura y pesca fueron de 48,711.59 tCO₂e, repartidos como se observa en la Tabla 10 siendo el residencial el mayor emisor con más del 59% de las emisiones del sector, y seguidos por el uso de la energía en las industrias manufactureras (35.1%).

Tabla 10. Emisiones de categorías de energía estacionaria (tCO₂e y %)

Categoría	tCO ₂ e	%
Residencial	28,835.57	59.3
Edificios comerciales e institucionales	2,539.80	5.2
Industrias manufactureras	17,045.54	35.1
Actividades agrícolas, de silvicultura y de pesca	290.68	0.5

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

En el sector transporte las emisiones generadas por el consumo de combustibles fósiles usados en el transporte carretero, ferroviario (no presente en el distrito), aviación y navegación marítima fueron de 31,839.48 tCO₂e, repartidos como se observa en la Tabla 11 siendo el transporte carretero el responsable del 61.4% de las emisiones del sector.

Tabla 11. Emisiones de categorías de transporte (tCO₂e y %)

Categoría	tCO ₂ e	%
Carretero	19,542.68	61.4
Ferroviano	0	0.0
Aviación	2,161.39	6.8
Navegación marítima	10,135.40	31.8

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

El sector residuos integra las emisiones encontradas provenientes de la eliminación de residuos sólidos, incineración y quema abierta de residuos, y del tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas, alcanzando emisiones de 10,968.64 tCO₂e en el sector. El mayor emisor del sector es la eliminación de residuos sólidos (53.5%).

Tabla 12. Emisiones de categorías de residuos (tCO₂e y %)

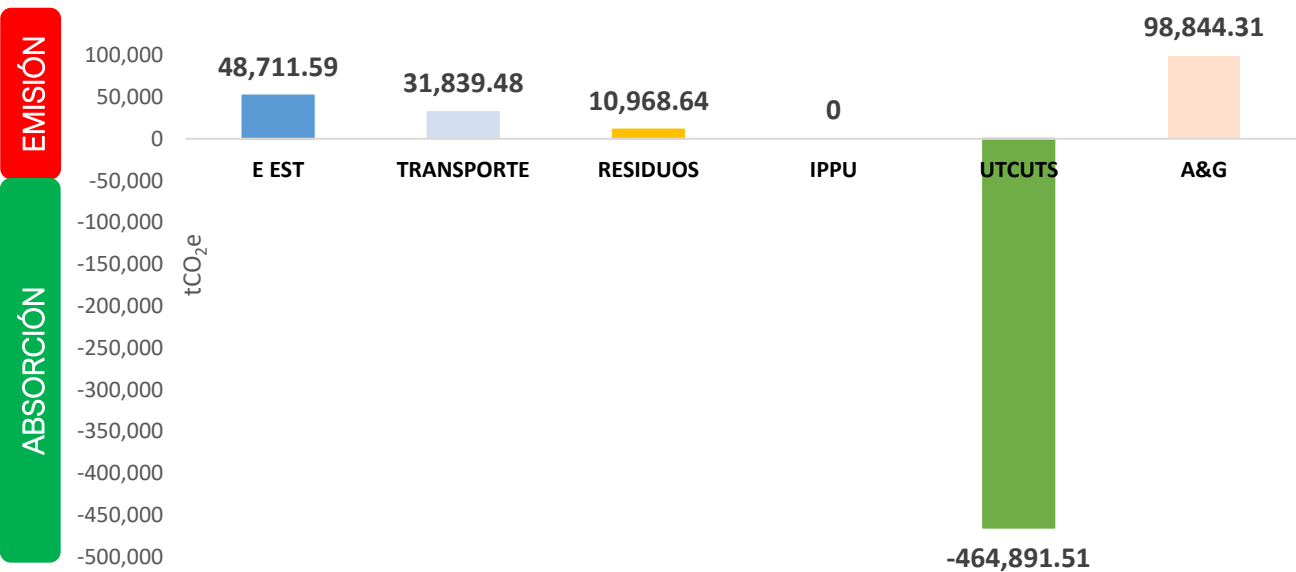
Categoría	tCO ₂ e	%
Eliminación de residuos sólidos	5,867.89	53.5
Incineración y quema abierta de residuos	2,480.22	22.6
Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	2,620.53	23.9

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

En el sector agricultura y ganadería se identificaron emisiones por el uso de fertilizantes nitrogenados y urea, así como por la ganadería (fermentación entérica y manejo de estiércol) alcanzando las 98,844.31 tCO₂e, encontrando que la ganadería es el principal emisor con un 95.7% de emisiones del sector y las emisiones por uso de fertilizantes y urea (agricultura) apenas un 4.3%.

En el sector uso de tierras, cambio de uso de tierras y silvicultura se consideraron las emisiones/absorciones brutas provenientes de la permanencia o cambio de coberturas de la tierra, resultando en 38,191.21 tCO₂e emitidas (7%) y -503,082.71 tCO₂e en absorciones (93%) y con un balance neto de -464,891.51 tCO₂e.

Figura 13. Resumen de emisiones y absorciones por sector (emisiones netas)



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Se presenta en la Tabla 13 el resumen de los resultados obtenidos para el inventario del Distrito de Soná, de acuerdo con la metodología del GPC en su tabla 4.2, destacando los alcances calculados por sector, así como la diferencia entre el nivel de inventario BASIC con un total de 91,519.71 tCO₂e y el nivel de inventario BASIC+ con un total de -274,527.49 tCO₂e. Asimismo, en la Tabla 14 se detallan los datos requeridos por GPC en su tabla resumen 4.1, a la cual se le han añadido campos para enriquecerla.

Tabla 13. Resumen de emisiones de gases de efecto invernadero por sector y alcance (GPC Tabla 4.2)

Sector		Total por alcance (tCO ₂ e)				Total por nivel de informe	
		Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	Otras	BASIC	BASIC +
Energía Estacionaria	Uso de energía (todas las emisiones de I, excepto I.4.4)	47,381.02	1,330.57	-	-	48,711.59	48,711.59
	Generación de energía suministrada a la red (I.4.4)	-	-	-	-	-	-
Transporte (Energía Móvil) (todas las emisiones de II)		19,542.36	0.32	12,296.79	-	31,839.48	31,839.48
Residuos	Generados en la ciudad (todo III.X.1 y III.X.2)	10,968.64	-	-	-	10,968.64	10,968.64
	Generados fuera de la ciudad (todo III.X.3)	-	-	-	-	-	-
IPPU (todas las emisiones de IV)		-	-	-	-	-	-
AFOLU (todas las emisiones de V)		-366,047.20	-	-	-	-	-366,047.20
TOTAL						91,519.71	-274,527.49

● Fuentes necesarias para el reporte de nivel BÁSICO

● Fuentes necesarias para el territorio total, pero no para el reporte de nivel BÁSICO/BÁSICO+(en cursiva)

● + ● Fuentes requeridas para el reporte del nivel BÁSICO+

● Emisiones No aplicables

● Fuentes incluidos en Otras emisiones de alcance 3

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Tabla 14. Resultados del inventario de GEI para el año 2021 (GPC Tabla 4.1)

Emisiones netas	-274,527.49 tCO ₂ e
Nombre del distrito	Soná
Provincia	Veraguas
País	Panamá
Año del inventario	2021
Población residente	29,860
Emisiones per cápita (tCO ₂ e/hab)	-9.19
Emisiones por superficie (tCO ₂ e/km ²)	-180.72

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023 a partir de formato (WRI, 2014)

Finalmente, se presenta el desglose de resultados del inventario del Distrito Soná (

Tabla 15), de acuerdo con la metodología GPC en su tabla 4.3.

Tabla 15. Desglose de resultados del inventario de GEI del distrito Soná (GPC tabla 4.3)

No. de referenci a del GPC	Alcance	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	Claves de Notación	Gases (en toneladas)								Calidad de los datos		Comentarios explicativos (descripción de los métodos o claves de notación utilizados)	Emisiones GEI totales (toneladas CO ₂ eq)			
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HF C	PF C	SF ₆	NF ₃	TOTAL CO ₂ eq	D A	FE		Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	Total
I		ENERGIA ESTACIONARIA																
I.1		Edificios residenciales																28,835.57
I.1.1	1	Emisiones provenientes de la quema de combustible dentro de los límites de la ciudad		3,122.38	895.41	5.12E-03	0	0	0	0	28,195.32	T1	D		28,195.32	0	0	
I.1.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida dentro de los límites de la ciudad		637	4.76E-02	5.80E-03	0	0	0	0	640.26	T1	D		0	640.26	0	
I.1.3	3	Emisiones provenientes de las pérdidas de transmisión y distribución del consumo de energía suministrada en red	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE, NO		0	0	0	
I.2		Edificios e instalaciones comerciales e institucionales																2,539.80
I.2.1	1	Emisiones provenientes de la quema de combustible dentro de los límites de la ciudad		1,946.50	7.29E-02	1.45E-02	0	0	0	0	1,952.39	T1	D		1,952.39	0	0	
I.2.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida dentro de los límites de la ciudad		584.78	4.37E-02	5.32E-03	0	0	0	0	587.41	T1	D		0	587.41	0	
I.2.3	3	Emisiones provenientes de las pérdidas de transmisión y distribución del consumo de energía suministrada en red	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE, NO		0	0	0	
I.3		Construcción e industrias manufactureras																17,045.54
I.3.1	1	Emisiones provenientes de la quema de combustible dentro de los límites de la ciudad		10,375.56	233.82	0.08	0	0	0	0	16,942.64	T1	D		16,942.64	0	0	
I.3.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida dentro de los límites de la ciudad		102.44	0.01	0.00	0	0	0	0	102.90	T1	D		0	102.90	0	

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

No. de referenci a del GPC	Alcanc e	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	Claves de Notació n	Gases (en toneladas)								Calidad de los datos		Comentario s explicativos (descripción de los métodos o claves de notación utilizados)	Emisiones GEI totales (toneladas CO ₂ eq)			
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HF C	PF C	SF 6	NF 3	TOTAL CO ₂ eq	D A	FE		Alcance 1	Alcanc e 2	Alcance 3	Total
I.3.3	3	Emisiones provenientes de las pérdidas de transmisión y distribución del consumo de energía suministrada en red	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.4		Industrias energéticas																0
I.4.1	1	Emisiones provenientes de la energía utilizada en las operaciones auxiliares de centrales eléctricas dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.4.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida en las operaciones auxiliares de centrales eléctricas dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.4.3	3	Emisiones provenientes de las pérdidas de transmisión y distribución del consumo de energía suministrada en red en las operaciones auxiliares de centrales eléctricas	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.4.4	1	Emisiones provenientes de la generación de energía suministrada a la red	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.5		Actividades agrícolas, de silvicultura y de pesca																290.68
I.5.1	1	Emisiones provenientes de la quema de combustible dentro de los límites de la ciudad		289.78	1.12E-02	2.20E-03	0	0	0	0	290.68	T1	D		290.68	0	0	
I.5.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.5.3	3	Emisiones provenientes de las pérdidas de transmisión y distribución del consumo de energía suministrada en red	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.6		Fuentes no especificadas																0

No. de referenci a del GPC	Alcanc e	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	Claves de Notació n	Gases (en toneladas)								Calidad de los datos		Comentario s explicativos (descripción de los métodos o claves de notación utilizados)	Emisiones GEI totales (toneladas CO ₂ eq)			
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HF C	PF C	SF ₆	NF ₃	TOTAL CO ₂ eq	D A	FE		Alcance 1	Alcanc e 2	Alcance 3	Total
I.6.1	1	Emisiones provenientes de la quema de combustible dentro de los límites de la ciudad	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.6.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida dentro de los límites de la ciudad	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.6.3	3	Emisiones provenientes de las pérdidas de transmisión y distribución del consumo de energía suministrada en red	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.7		Emisiones fugitivas de la minería, procesamiento, almacenamiento y transporte de carbón																0
I.7.1	1	Emisiones provenientes de las emisiones fugitivas dentro de los límites de la ciudad	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
I.8		Emisiones fugitivas de los sistemas de petróleo y gas natural																0
I.8.1	1	Emisiones provenientes de las emisiones fugitivas dentro de los límites de la ciudad	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
SUBTOTAL																		51,711.89
II		TRANSPORTE (ENERGÍA MÓVIL)																
II.1		Transporte por carretera																19,542.68
II.1.1	1	Emisiones provenientes de la quema de combustible en transporte por carretera que se producen dentro de los límites de la ciudad		19,245.48	1.02	1.01	0	0	0	0	19,542.36	T1	D		19,542.36	0	0	
II.1.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida dentro de los límites de la ciudad para el transporte por carretera		0.32	1.25E-06	1.72E-06	0	0	0	0	0.32	T1	D		0	0.32	0	
II.1.3	3	Emisiones provenientes de la porción de los desplazamientos transfronterizos que se producen fuera de los límites de la ciudad, y las	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	

No. de referenci a del GPC	Alcanc e	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	Claves de Notació n	Gases (en toneladas)								Calidad de los datos		Comentario s explicativos (descripción de los métodos o claves de notación utilizados)	Emisiones GEI totales (toneladas CO ₂ eq)			
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HF C	PF C	SF 6	NF 3	TOTAL CO ₂ eq	D A	FE		Alcance 1	Alcanc e 2	Alcance 3	Total
		pérdidas de transmisión y distribución del consumo de energía suministrada en red																
II.2		Ferrovionario																0
II.2.1	1	Emisiones provenientes de la quema de combustibles para el transporte ferroviario que se producen dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
II.2.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida para los ferrocarriles dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
II.2.3	3	Emisiones provenientes de la porción de los desplazamientos transfronterizos que se producen fuera de los límites de la ciudad, y las pérdidas de transmisión y distribución del consumo de energía suministrada en red	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
II.3		Navegación marítima, fluvial y lacustre																10,135.40
II.3.1	1	Emisiones provenientes de la quema de combustibles para la navegación marítima, fluvial y lacustre que se producen dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
II.3.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida dentro de los límites de la ciudad para navegación marítima, fluvial y lacustre	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
II.3.3	3	Emisiones provenientes de la porción de los desplazamientos transfronterizos que se producen fuera de los límites de la ciudad, y las pérdidas de transmisión y distribución del consumo de energía suministrada en red		9,981.48	0.53	0.53	0	0	0	0	10,135.40	T1	D		0	0	10,135.40	

CUARTO INFORME ETAPA IV. FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL
Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de Soná

No. de referenci a del GPC	Alcanc e	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	Claves de Notació n	Gases (en toneladas)								Calidad de los datos		Comentario s explicativos (descripción de los métodos o claves de notación utilizados)	Emisiones GEI totales (toneladas CO ₂ eq)			
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HF C	PF C	SF ₆	NF ₃	TOTAL CO ₂ eq	D A	FE		Alcance 1	Alcanc e 2	Alcance 3	Total
II.4		Aviación																2,161.39
II.4.1	1	Emisiones provenientes de la quema de combustibles para la aviación que se producen dentro de los límites de la ciudad		0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
II.4.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida para aviación dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
II.4.3	3	Emisiones provenientes de la porción de los desplazamientos transfronterizos que se producen fuera de los límites de la ciudad, y las pérdidas de transmisión y distribución del consumo de energía suministrada en red	NE, NO	2,108.16	0.98	0.10	0	0	0	0	2,161.39	T1	D		0	0	2,161.39	
II.5		Transporte fuera de carretera																0
II.5.1	1	Emisiones provenientes de la quema de combustible en transporte fuera de carretera que se producen dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
II.5.2	2	Emisiones provenientes de la energía suministrada en red consumida dentro de los límites de la ciudad para el transporte fuera de carretera	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
SUBTOTAL																		31,839.48
III		RESIDUOS																
III.1		Disposición de residuos sólidos																5,867.89
III.1.1	1	Emisiones provenientes de los residuos sólidos generados dentro de los límites de la ciudad y dispuestos en vertederos o basurales a cielo abierto dentro de los límites de la ciudad		0	209.57	0	0	0	0	0	5,867.89	T1	D		5,867.89	0	0	

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

No. de referenci a del GPC	Alcanc e	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	Claves de Notació n	Gases (en toneladas)								Calidad de los datos		Comentario s explicativos (descripció n de los métodos o claves de notación utilizados)	Emisiones GEI totales (toneladas CO ₂ eq)			
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HF C	PF C	SF 6	NF 3	TOTAL CO ₂ eq	D A	FE		Alcance 1	Alcanc e 2	Alcance 3	Total
III.1.2	3	Emisiones provenientes de los residuos sólidos generados dentro de los límites de la ciudad, pero dispuestos en vertederos o basurales a cielo abierto fuera de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
III.1.3	1	Emisiones provenientes de los residuos generados fuera de los límites de la ciudad y dispuestos en vertederos o basurales a cielo abierto dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
III.2		Tratamiento biológico de residuos																0
III.2.1	1	Emisiones provenientes de los residuos sólidos que se generan dentro de los límites de la ciudad que son tratados biológicamente dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
III.2.2	3	Emisiones provenientes de los residuos sólidos generados dentro de los límites de la ciudad, pero tratados biológicamente fuera de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
III.2.3	1	Emisiones provenientes de los residuos generados fuera de los límites de la ciudad, pero tratados biológicamente dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
III.3		Incineración y quema a cielo abierto																2,480.22
III.3.1	1	Emisiones provenientes de los residuos sólidos generados y tratados dentro de los límites de la ciudad		1.70E-02	72.70	1.68	0	0	0	0	2,480.22	T1	D		2,480.22	0	0	
III.3.2	3	Emisiones provenientes de los residuos sólidos generados dentro de los límites de la ciudad, pero tratados fuera de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	

CUARTO INFORME ETAPA IV. FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL
Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de Soná

No. de referenci a del GPC	Alcanc e	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	Claves de Notació n	Gases (en toneladas)								Calidad de los datos		Comentario s explicativos (descripcón de los métodos o claves de notación utilizados)	Emisiones GEI totales (toneladas CO ₂ eq)			
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HF C	PF C	SF 6	NF 3	TOTAL CO ₂ eq	D A	FE		Alcance 1	Alcanc e 2	Alcance 3	Total
III.3.3	1	Emisiones provenientes de los residuos generados fuera de los límites de la ciudad, pero tratados dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
III.4		Tratamiento y vertido de aguas residuales																2,620.53
III.4.1	1	Emisiones provenientes de las aguas residuales generadas y tratadas dentro de los límites de la ciudad		0	93.48	1.15E-02	0	0	0	0	2,620.53	T1	D		2,620.53	0	0	
III.4.2	3	Emisiones provenientes de las aguas residuales generadas dentro de los límites de la ciudad, pero tratados fuera de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
III.4.3	1	Emisiones provenientes de las aguas residuales generadas fuera de los límites de la ciudad, pero tratadas dentro de los límites de la ciudad	NE, NO	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE , NO		0	0	0	
SUBTOTAL																		10,968.64
IV		PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS																
IV.1	1	Emisiones provenientes de los procesos industriales que ocurren dentro de los límites de la ciudad	NE	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE		0	0	0	0
IV.2	1	Emisiones provenientes del uso de productos que se producen dentro de los límites de la ciudad	NE	0	0	0	0	0	0	0	0	NE	NE		0	0	0	0
SUBTOTAL																		0
V		SILVICULTURA Y OTROS USOS DE SUELO																
V.2	1	Emisiones provenientes del uso del suelo dentro de los límites de la ciudad		- 464,891.51	0	0	0	0	0	0	- 464,891.51	T1	D		- 464,891.51	0	0	-464,891.51
SUBTOTAL																		-464,891.51
V		AGRICULTURA Y GANADERÍA																
V.1	1	Emisiones provenientes de la ganadería dentro de los límites de la ciudad		0	3369.07	0	0	0	0	0	94,333.85	T1	D		94,583.95	0	0	94,583.95

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

No. de referenci a del GPC	Alcanc e	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	Claves de Notació n	Gases (en toneladas)								Calidad de los datos		Comentario s explicativos (descripción de los métodos o claves de notación utilizados)	Emisiones GEI totales (toneladas CO ₂ eq)			
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HF C	PF C	SF 6	NF 3	TOTAL CO ₂ eq	D A	FE		Alcance 1	Alcanc e 2	Alcance 3	Total
V.3	1	Emisiones provenientes de fuentes agregadas y emisiones procedentes de fuentes del suelo distintas al CO ₂ entro de los límites de la ciudad		104.15	140.55	0.83	0	0	0	0	4,260.36	T1	D		4,260.36	0	0	4,260.36
															SUBTOTAL			98,844.31

- Fuentes necesarias para el reporte de nivel BÁSICO
- Fuentes necesarias para el territorio total, pero no para el reporte de nivel BÁSICO/BÁSICO+(*en cursiva*)
- +

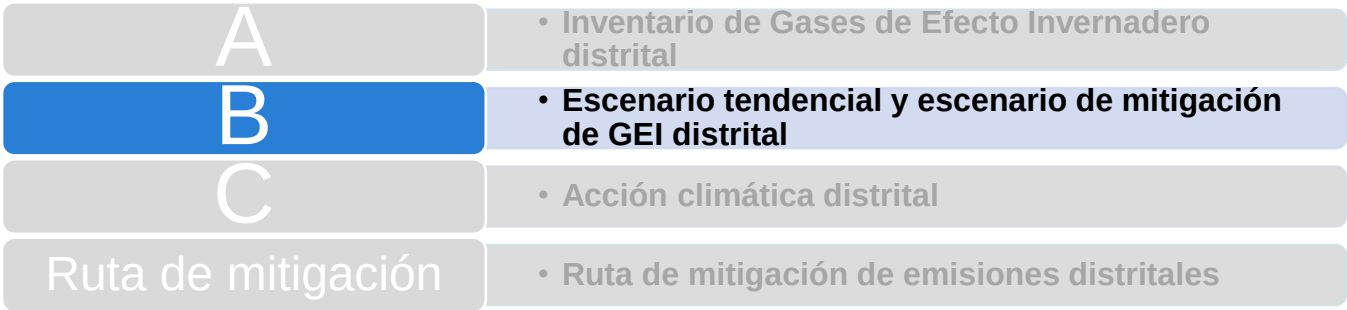
Fuentes requeridas para el reporte del nivel BÁSICO+
- Emisiones No aplicables
- Fuentes incluidos en Otras emisiones de alcance 3

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023 a partir de formato (WRI, 2014)

1.3. Escenario tendencial de emisiones y escenario de reducción de GEI distrital

En esta segunda etapa del proceso de desarrollo de la Hoja de Ruta, se presentan los resultados de los escenarios tendencial y de mitigación de GEI del distrito. Estos escenarios están basados en el diagnóstico de emisiones elaborado en el inventario de GEI (componente anterior).

Figura 14. Componente: Escenario tendencial y escenario de mitigación



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

1.3.1. Resultados del escenario tendencial de emisiones de GEI (BAU)

La segunda etapa del diagnóstico corresponde al desarrollo de los escenarios de emisiones de GEI a nivel distrital, también conocido comúnmente como escenario tendencial o *Business As Usual* (BAU por sus siglas en inglés). En esta sección se presentan los resultados del Distrito de Soná, con el objetivo principal de identificar tendencias en el comportamiento durante plazos de tiempo relacionados con la implementación, en paralelo, tanto del POT como de la acción climática nacional y distrital (2030, 2040 y 2050).

En relación con los escenarios de mitigación al cambio climático, se realizó la construcción del escenario tendencial (*Business As Usual* - BAU) para el distrito de Soná, con el fin de visualizar la tendencia del comportamiento en el tiempo de las emisiones o absorciones presentes en el territorio.

La proyección del escenario BAU se realizó con base en los datos de actividad utilizados en la construcción del inventario de GEI del distrito, considerando distintas variables de carácter cuantitativo, para generar las tasas de crecimiento a través de las series históricas disponibles para cada sector.

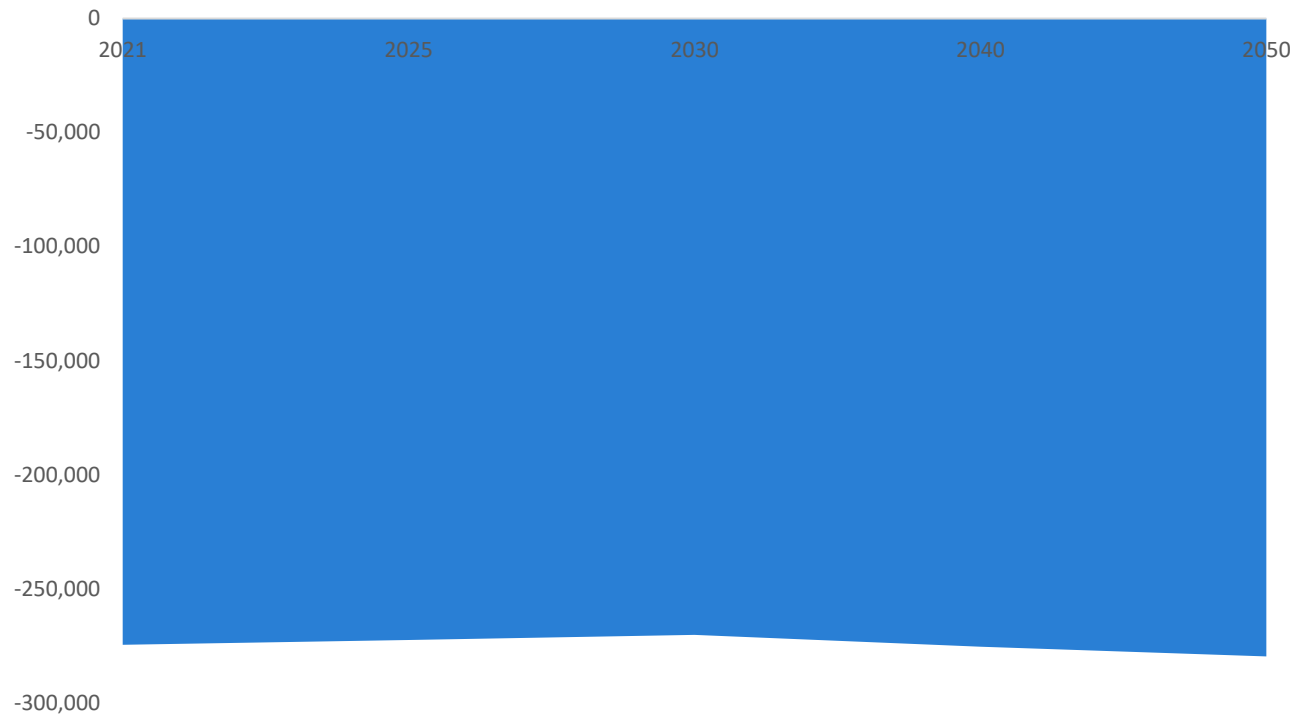
En ese sentido, los datos considerados para la construcción de las tasas de crecimiento son los siguientes:

- Población nacional/provincial/distrital tendencial
- Consumo per cápita tendencial (combustibles fósiles/electricidad)
- PIB histórico (consumo energético)
- Generación de residuos per cápita tendencial
- Empresas con permisos para la descarga de aguas residuales
- Número de cabezas de ganado tendencial
- Superficies cultivadas tendencial
- Aplicación de urea tendencial
- Cartografía nacional de cambios de uso de la tierra

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

De forma general, el escenario de emisiones de GEI del Distrito de Soná al año 2050 muestra una tendencia al incremento, aunque no pierde su cualidad de distrito sumidero, ya que inicialmente se mantienen las absorciones en el sector UTCUTS con una ligera disminución con tasas de crecimiento negativas -1.87% para el periodo 2021 a 2050.

Figura 15. Escenario BAU de emisiones de GEI al 2050 para el distrito de Soná



53

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

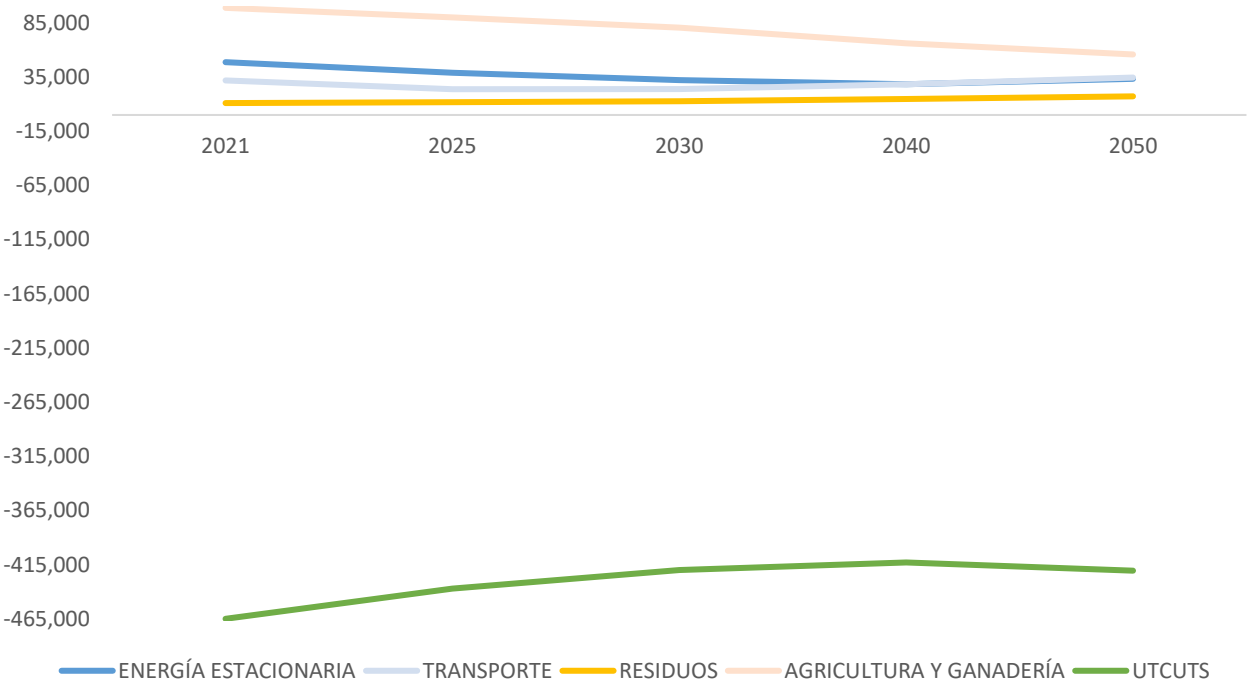
En ese sentido, la Tabla 16 presenta el resumen por sector, de la proyección en el tiempo de las emisiones de GEI al año 2050 en el distrito de Soná:

Tabla 16. Proyección de emisiones de GEI al 2050 por sector en Soná

No. de referencia del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	2021	2025	2030	2040	2050
I	ENERGÍA ESTACIONARIA	48,711.57	39,081.82	32,265.07	28,369.69	33,452.13
II	TRANSPORTE	31,839.46	23,775.67	23,907.85	28,360.12	34,512.64
III	RESIDUOS	10,968.64	11,660.75	12,591.28	14,694.93	17,170.81
V	AGRICULTURA Y GANADERÍA	98,844.31	90,136.91	80,725.66	66,048.44	55,823.98
V	UTCUTS	-464,891.51	-437,145.17	-419,778.86	-412,910.23	-420,625.88
SUBTOTAL		-274,527.53	-272,490.02	-270,289.00	-275,437.05	-279,666.31

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Figura 16. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 por sector para el distrito de Soná



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

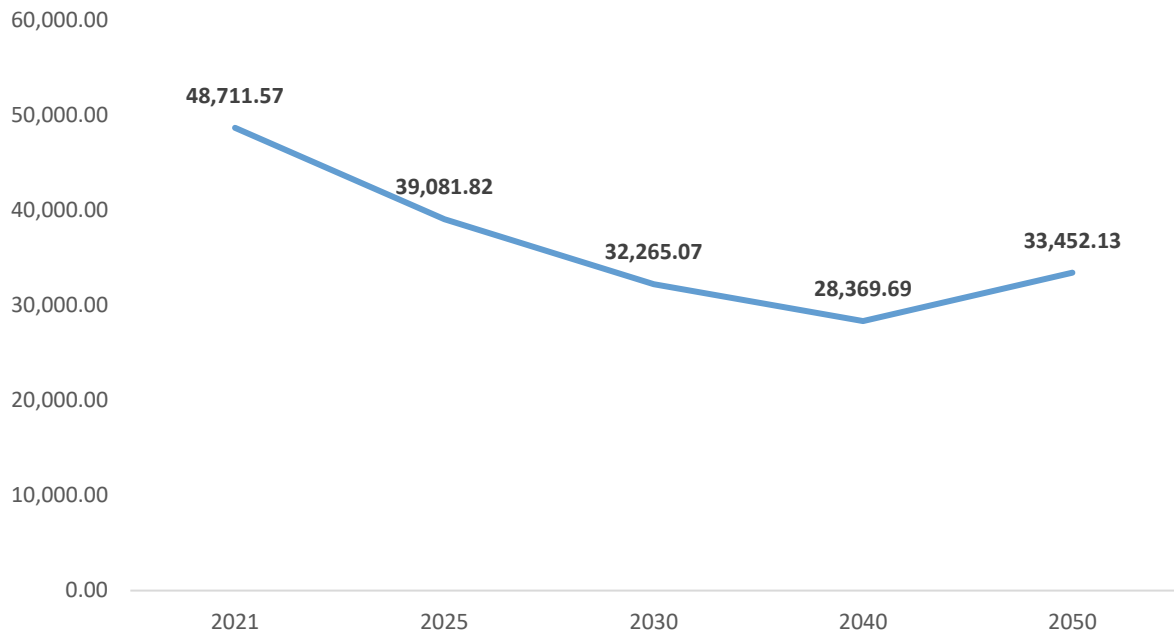
Para el sector de Energía Estacionaria, el escenario tendencial muestra un decremento en las emisiones con una tasa de -19.76% al 2025, -17.44% al 2030, -12.07% al 2040 y finalmente empieza a incrementar de nuevo hacia el final del periodo con un 17.91% al 2050, esto significa que del año 2021 al año 2050, habrá una disminución de -31.32% en las emisiones de GEI.

Tabla 17. Escenario tendencial de emisiones de GEI al 2050 para el sector Energía Estacionaria

No. de referencia del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	2021	2025	2030	2040	2050
I	ENERGÍA ESTACIONARIA					
I.1	Edificios residenciales	28,835.57	24,957.67	21,120.46	16,021.17	13,375.69
I.2	Edificios e instalaciones comerciales e institucionales	2,539.79	3,228.38	4,399.69	8,264.01	15,650.69
I.3	Industrias manufactureras y de la construcción	17,045.53	10,660.06	6,554.48	3,922.83	4,217.27
I.4.1/2/3	Industrias de energía	0	0	0	0	0
I.4.4	Generación de energía suministrada a la red	0	0	0	0	0
I.5	Agricultura, silvicultura y actividades pesqueras	290.68	235.71	190.44	161.68	208.48
I.6	Fuentes no-especificadas	0	0	0	0	0
I.7	Emisiones fugitivas del carbón	0	0	0	0	0
I.8	Emisiones fugitivas de la distribución de gas natural	0	0	0	0	0
SUBTOTAL		48,711.57	39,081.82	32,265.07	28,369.69	33,452.13

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Figura 17. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 para el sector Energía Estacionaria



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Para el sector de Transporte, el escenario tendencial muestra un ligero incremento en las emisiones con una tasa de disminución inicial de -25.33% al 2025 y a partir de ahí de incrementos de 0.56% al 2030, 18.62% al 2040 y finalmente 21.69% al 2050, esto significa que del año 2021 al año 2050, habrá un aumento de 8.40% en las emisiones de GEI.

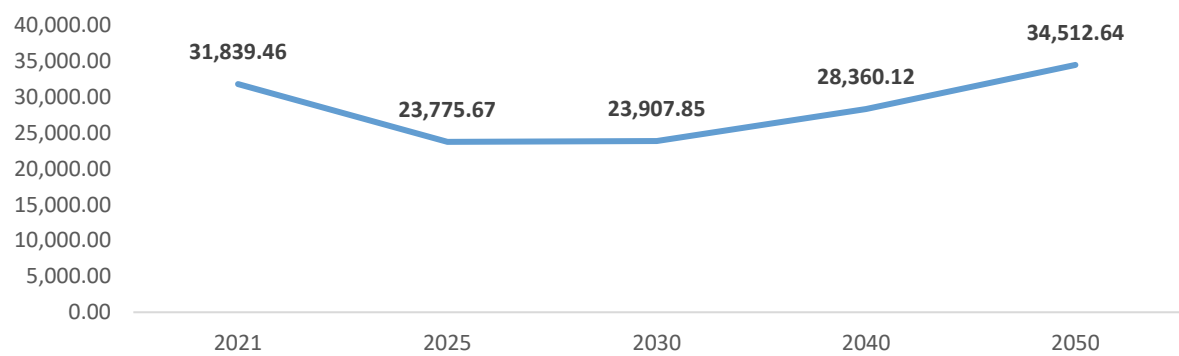
55

Tabla 18. Escenario tendencial de emisiones de GEI al 2050 para el sector Transporte

No. de referenci a del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	2021	2025	2030	2040	2050
II	TRANSPORTE					
II.1	Transporte carretero	19,542.67	11,197.66	10,969.26	14,669.06	20,025.35
II.2	Ferrovionario	0	0	0	0	0
II.3	Navegación marítima	2,161.39	2,210.82	2,274.20	2,406.46	2,546.41
II.4	Aviación	10,135.40	10,367.19	10,664.39	11,284.60	11,940.88
II.5	Fuera de carretera	0	0	0	0	0
	SUBTOTAL	31,839.46	23,775.67	23,907.85	28,360.12	34,512.64

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Figura 18. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 para el sector Transporte



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

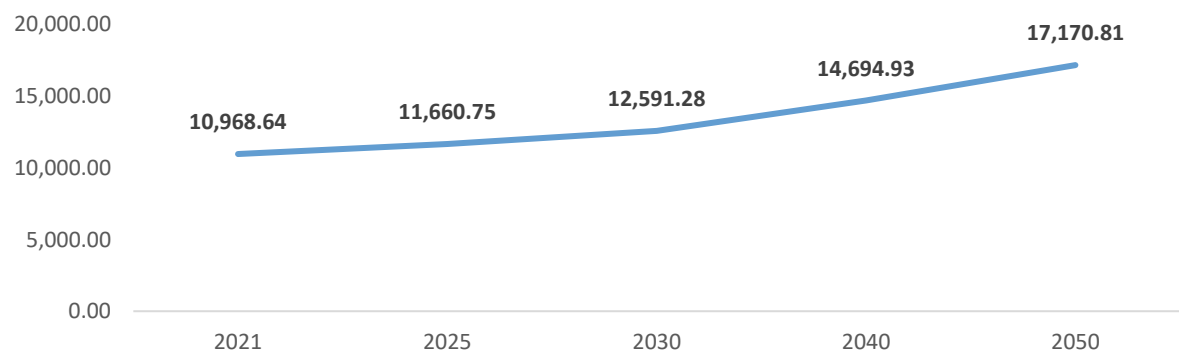
Para el sector de Residuos, el escenario tendencial muestra un incremento en las emisiones con una tasa de crecimiento de 6.31% al 2025, 7.98% al 2030, 16.71% al 2040 y finalmente 16.85% al 2050, esto significa que del año 2021 al año 2050, habrá un aumento de 56.54% en las emisiones de GEI.

Tabla 19. Escenario tendencial de emisiones de GEI al 2050 para el sector Residuos

No. de referenci a del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	2021	2025	2030	2040	2050
III	RESIDUOS					
III.1	Disposición de residuos sólidos	5,867.89	6,288.54	6,857.01	8,152.77	9,693.38
III.2	Tratamiento biológico de los residuos	0	0	0	0	0
III.3	Incineración y quema a cielo abierto	2,480	2,658	2,898	3,446	4,097
III.4	Tratamiento y vertido de aguas residuales	2,620.53	2,714.18	2,835.97	3,096.18	3,380.27
	SUBTOTAL	10,968.64	11,660.75	12,591.28	14,694.93	17,170.81

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Figura 19. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 para el sector Residuos



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

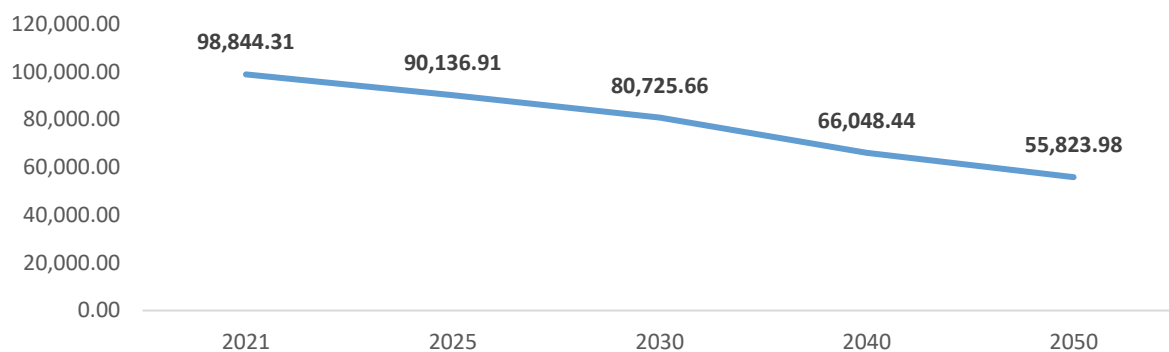
Para el sector de Agricultura y Ganadería, el escenario tendencial muestra un decremento en las emisiones con una tasa de -8.81% al 2025, -10.44% al 2030, -18.18% al 2040 y finalmente -15.48% al 2050, esto significa que del año 2021 al año 2050, habrá un aumento de -43.52% en las emisiones de GEI.

Tabla 20. Escenario tendencial de emisiones de GEI al 2050 para el sector Agricultura y Ganadería

No. de referencia del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	2021	2025	2030	2040	2050
V	AGRICULTURA Y GANADERÍA					
V.1	Emisiones provenientes de la Ganadería	94,583.95	85,501.17	75,573.64	59,684.19	47,960.91
V.3	Emisiones de fuentes agregadas y emisiones procedentes de fuentes del suelo distintas al CO2	4,260.36	4,635.74	5,152.01	6,364.25	7,863.07
SUBTOTAL		98,844.31	90,136.91	80,725.66	66,048.44	55,823.98

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Figura 20. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 para el sector Agricultura y Ganadería



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

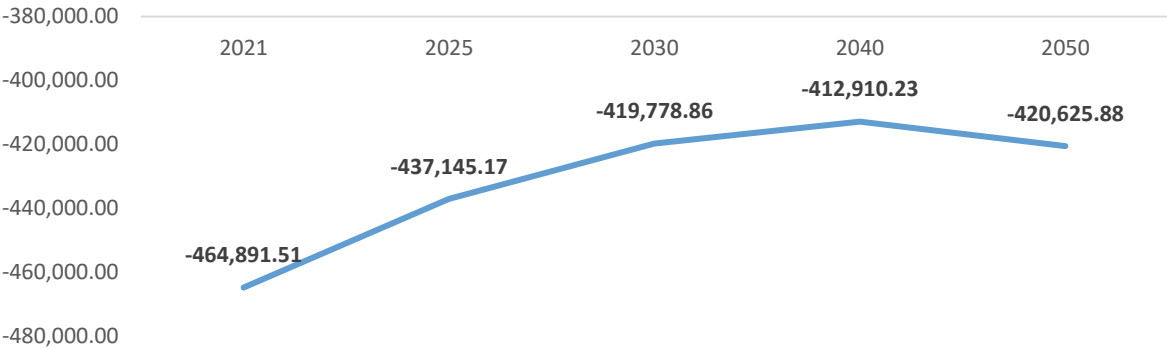
Para el sector de UTCUTS, el escenario tendencial muestra un decremento en las absorciones tasas de -5.97% al 2025, -3.97% al 2030, -1.64% al 2040 y finalmente un ligero incremento del 1.87% al 2050, esto significa que del año 2021 al año 2050, habrá un decremento de -9.52% en las absorciones de GEI.

Tabla 21. Escenario tendencial de emisiones de GEI al 2050 para el sector UTCUTS

No. de referencia del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	2021	2025	2030	2040	2050
V	UTCUTS					
V.2	Emisiones producidas por el uso del suelo	-464,891.51	-437,145.17	-419,778.86	-412,910.23	-420,625.88
SUBTOTAL		-464,891.51	-437,145.17	-419,778.86	-412,910.23	-420,625.88

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Figura 21. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 para el sector UTCUTS



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

1.3.2. Escenario de mitigación de emisiones de GEI

Derivado del ejercicio de priorización de las medidas de mitigación seleccionadas para el distrito de Soná (Anexo 3) se construyó un escenario de mitigación para aquellas con potencial de reducción de emisiones de GEI, donde se destaca que, al realizar su implementación, se tendría una mitigación neta de 4,194.99 tCO₂e anuales en el año 2050, siendo este el año con mayor reducción de emisiones.

Tabla 22. Comparativa de escenario tendencial vs escenario de mitigación

Comparativo	2021	2025	2030	2040	2050
Escenario Tendencial (tCO ₂ e)	-274,527.53	-272,490.02	-270,289.00	-275,437.05	-279,666.31
Escenario de Mitigación (tCO ₂ e)	-274,527.53	-276,577.37	-274,343.34	-279,568.60	-283,861.31

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Por otro lado, en alineación con las metas nacionales de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero de la República de Panamá, establecidas en la actualización de la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional (CDN1) presentada en 2016 y actualizada en 2020, se construyó un segundo escenario que refleje la magnitud del potencial en la reducción de emisiones, en ese sentido, el escenario se construye a partir de los datos base del primer escenario de mitigación, con la diferencia de que se incorporan las metas de reducción al 2050 para el sector UTCUTS y Energía.

En este escenario, se destaca que al realizar su implementación, se tendría una mitigación neta de 6,298.12 tCO₂e acumuladas al año 2050, siendo este el año con mayor reducción de emisiones.

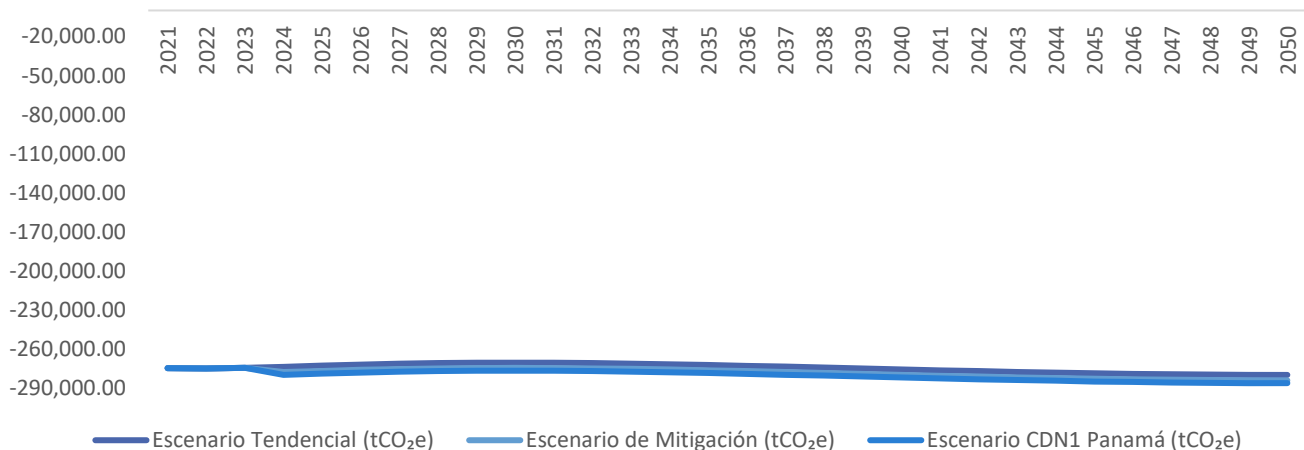
Tabla 23. Comparativa de escenario tendencial vs escenario CDN1 Panamá

Comparativo	2021	2025	2030	2040	2050
Escenario Tendencial (tCO ₂ e)	-274,527.53	-272,490.02	-270,289.00	-275,437.05	-279,666.31
Escenario de Mitigación (tCO ₂ e)	-274,527.53	-278,763.10	-276,442.23	-281,633.15	-285,964.44

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

A continuación, se muestra en la Figura 22, la comparativa en el tiempo del escenario tendencial de emisiones contra el escenario de mitigación propuesto al implementar las medidas seleccionadas en el distrito de Soná y el escenario de mitigación alineado con la CDN1:

Figura 22. Escenario BAU y escenarios de mitigación de GEI al 2050 para el distrito de Soná



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

El escenario de mitigación muestra que para el año 2025 habrá una reducción en las emisiones de 4,087.35 tCO₂e, para el año 2030 habrá una reducción en las emisiones de 4,054.34 tCO₂e y para el año 2040 habrá una reducción en las emisiones de 4,194.99 tCO₂e⁹.

En ese sentido, la Tabla 24 presenta el resumen sectorial, de la proyección en el tiempo de la mitigación de GEI al año 2050 en el distrito de Soná, así como del total de emisiones por año, con la implementación de las medidas seleccionadas para el distrito¹⁰:

Tabla 24. Escenario de mitigación por sector en el distrito de Soná

ID Sector	Sector	2021	2025	2030	2040	2050
EE	Energía Estacionaria	48,711.57	39,668.05	32,749.04	28,795.24	33,953.92
T	Transporte	31,839.46	24,132.31	24,266.46	28,785.52	35,030.33
R	Residuos	10,968.64	11,835.66	12,780.15	14,915.36	17,428.37
AG	Agricultura y Ganadería	98,844.31	91,488.96	81,936.54	67,039.16	56,661.34
S	UTCUTS	-464,891.51	-443,702.34	-426,075.54	-419,103.88	-426,935.27
tCO ₂ e		-274,527.53	-276,577.37	-274,343.34	-279,568.60	-283,861.31
Emisiones mitigadas (tCO ₂ e)		0.00	4,087.35	4,054.34	4,131.56	4,194.99

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

El escenario de mitigación CDN1 muestra que para el año 2025 habrá una reducción en las emisiones de 6,273.08 tCO₂e, para el año 2030 habrá una reducción en las emisiones de 6,153.23 tCO₂e y para el año 2040 habrá una reducción en las emisiones de 6,196.11 tCO₂e.

En ese sentido, la presente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el resumen sectorial, d e la proyección en el tiempo de la mitigación de GEI al año 2050 en el distrito de Soná, así como del total de emisiones por año:

Tabla 25. Escenario CDN1 por sector en el distrito de Soná

ID Sector	Sector	2021	2025	2030	2040	2050
EE	Energía Estacionaria	48,711.57	39,668.05	32,749.04	28,795.24	33,953.92
T	Transporte	31,839.46	24,132.31	24,266.46	28,785.52	35,030.33
R	Residuos	10,968.64	11,835.66	12,780.15	14,915.36	17,428.37
AG	Agricultura y Ganadería	98,844.31	91,488.96	81,936.54	67,039.16	56,661.34
S	UTCUTS	-464,891.51	-445,888.07	-428,174.43	-421,168.43	-429,038.40
tCO ₂ e		-274,527.53	-278,763.10	-276,442.23	-281,633.15	-285,964.44
Emisiones mitigadas (tCO ₂ e)		0.00	6,273.08	6,153.23	6,196.11	6,298.12

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

⁹ Las reducciones de emisiones van disminuyendo a lo largo de la línea temporal por dos motivos principales: el aumento poblacional de los distritos que demanda mayor presión sobre los recursos (ej. mayor demanda de energía) y la vida útil de cada medida de mitigación considerada. Por lo que tanto las medidas como los escenarios tendenciales y de mitigación tendrán que ser revisados y reevaluados para alcanzar una mitigación acorde a la ambición de Panamá presentada en las CDN.

¹⁰ En el caso del Distrito de Soná, el 80% del total de reducciones acumuladas se alcanza en el año 2037

1.4. Acción climática distrital

En esta tercera etapa del proceso de desarrollo de la Hoja de Ruta, se describen los pasos seguidos para determinar las acciones de mitigación de GEI más apropiadas para el distrito. En este sentido, esta sección consolida los hallazgos tanto del inventario como de los escenarios, con el fin de identificar oportunidades para la acción climática, que, en el tema de mitigación de emisiones, corresponde a la reducción de GEI en los sectores apropiados para el distrito.

Figura 23. Componente: Acción climática distrital

A	• Inventario de Gases de Efecto Invernadero distrital
B	• Escenario tendencial y escenario de mitigación de GEI distrital
C	• Acción climática distrital
Ruta de mitigación	• Ruta de mitigación de emisiones distritales

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

1.4.1. Progreso gradual hacia la sostenibilidad

El Distrito de Soná ha asumido diferentes compromisos nacionales e internacionales, que guían su actuar en términos de la mitigación y la adaptación ante el cambio climático. Estos acuerdos suscritos permiten sostener una visión a largo plazo, así como sumar esfuerzos para reducir las emisiones de GEI que se producen en el Distrito. Los más relevantes son:

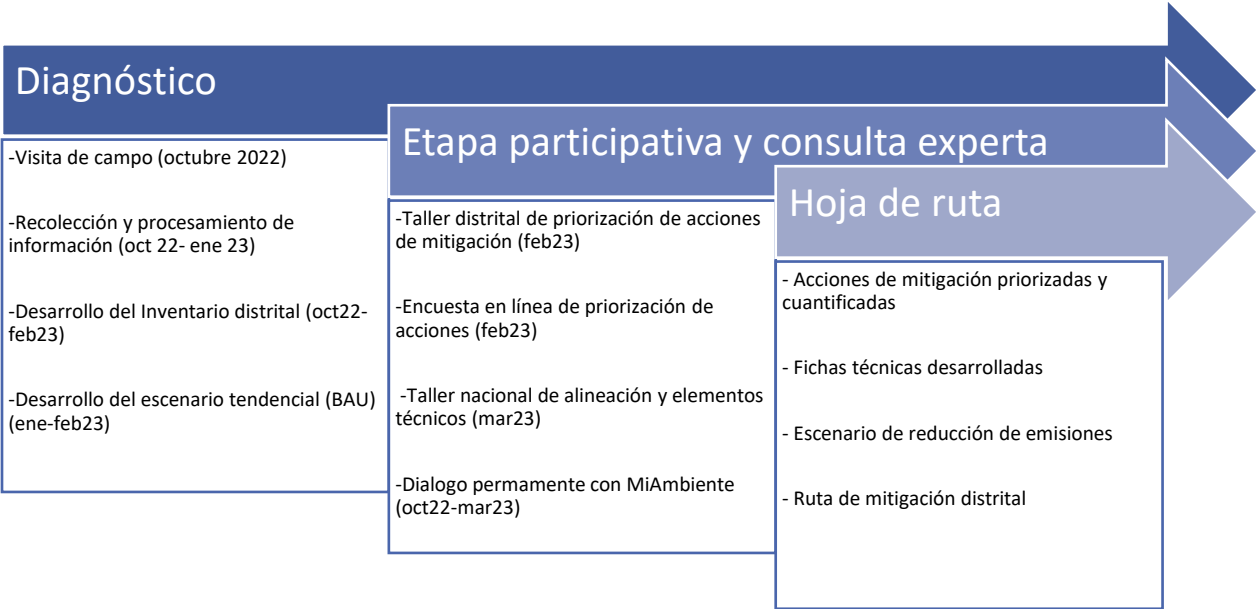
- En julio de 2021, con el fin de desarrollar actividades de conservación, la dirección regional del Ministerio de Ambiente entregó personería jurídica como organización de base comunitaria (OBC) a la Asociación de Productores Unidos y Ambientalistas (OBC) de Rodeo Viejo del distrito de Soná. Con esta formalización se podrán ejecutar proyectos sostenibles en beneficio de la comunidad.
- El 31 de julio de 2021, se constituyó la Finca FZ como un modelo para restaurar la cobertura boscosa y proteger las cuencas hidrográficas del distrito. Esta finca busca ser un proyecto piloto y modelo de escuela de campo para las Organizaciones de Base Comunitarias (OBC) de las provincias centrales enfocadas en el tema de agroforestal.
- En junio de 2022, en el marco del Día Mundial del Ambiente, el Ministerio de Ambiente realizó una serie de actividades con el fin de generar conciencia ambiental a través de actividades de educación e integración social. Durante el evento se envió un mensaje a toda la población sobre la importancia del cuidado y conservación de los recursos naturales. Se realizaron, además, actividades de sensibilización en materia de reciclaje y desechos sólidos.

1.4.2. Identificación y definición de acciones de mitigación en el distrito

Proceso del diagnóstico a la acción

El diseño de componentes de la acción climática local implica concentrar diferentes tipos de recursos, personas e instituciones para determinar opciones viables de reducción de emisiones. Con este fin se implementaron las etapas descritas en el inicio de este documento y que se muestran con otro nivel de detalle en la Figura 24.

Figura 24. Etapas generales y actividades para el desarrollo de la Hoja de ruta del distrito



62

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

El objetivo de esta serie de pasos es contar, en la integración final de la Hoja de Ruta de mitigación de emisiones de GEI, con acciones apropiadas al territorio, que respondan de forma efectiva a una problemática real concerniente de la emisión de GEI en la escala local, que integren la perspectiva y opinión de actores locales y expertos sectoriales, y que cuenten con un fundamento técnico tanto en el diagnóstico del que proviene, como en su integración robusta y como solución a un tipo específico de emisión de una categoría, subsector o sector.

Mientras se plantea la acción local para atender las emisiones de GEI, es pertinente considerar que, las opciones de mitigación consideradas cumplan con:

- Relacionarse directamente con el diagnóstico (inventario y BAU) desarrollados para el territorio.
- Atender a las especificidades de contexto (ej. No es posible proponer acciones de mitigación del sector de transporte marítimo si no se cuenta con este tipo de emisión en el distrito).
- Ordenarse a partir de criterios de prioridad que faciliten su implementación en plazos de tiempo específicos.
- Contar en la medida de lo posible con información técnica completa sobre aspectos clave (cuantificación prevista de las reducciones, metas e indicadores, responsable del seguimiento

y otros actores e instituciones involucrados, alineación con los diversos planes, programas y proyectos sobre cambio climático).

Metodología de priorización

Los criterios señalados anteriormente funcionan como filtros mientras se identifican y diseñan las acciones de mitigación. Un paso importante es el de la priorización de las medidas de mitigación. Con este fin, para el distrito fue desarrollada una metodología multicriterio que considera algunos de los principales elementos que permiten caracterizar o detallar una acción de mitigación. Estos criterios evalúan al menos tres dimensiones, lo que permite que las acciones de mitigación más integrales resulten con un mayor nivel de prioridad que otras menos comprensivas.

Tabla 26. Dimensiones de evaluación de los criterios utilizados para la priorización de acciones de mitigación

Tipo de criterio		
Técnico sobre cambio climático	Público objetivo y consideraciones relevantes	Nivel de implementabilidad
- Potencial de mitigación - Sinergias con adaptación	- Consideraciones de género - Interculturalidad	- Barreras / Problemáticas - Coordinación entre actores y sectores - Formación de capacidades

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

A continuación, se describen a mayor detalle los criterios usados en la metodología:

- **Potencial de mitigación.-** Cantidad de emisiones que pueden reducirse o evitarse a partir de la implementación de la acción, referido al resto de acciones evaluadas.
- **Sinergias con adaptación.-** Criterio que considera la interacción benéfica/positiva entre la acción de mitigación y sus resultados, en impactos positivos en cuanto a la reducción de la vulnerabilidad y aumento de la resiliencia ante el cambio climático.
- **Consideraciones de género.-** Identifica el nivel de transversalidad del tema de equidad de género con el que se plantea/diseña la acción.
- **Interculturalidad.-** Considera las relaciones de intercambio y comunicación igualitarias entre grupos culturales que son diferentes en atención, basado en criterios como etnia, religión, lengua o nacionalidad, entre otros.
- **Barreras / Problemáticas.-** Se trata del nivel de retos al diseño e implementación de la acción de acuerdo con el contexto actual de la jurisdicción de la que se trate.
- **Coordinación entre actores y sectores.-** La acción fomenta la coordinación entre diferentes sectores e instituciones de los tres órdenes de gobierno, academia y sociedad civil.
- **Formación de capacidades.-** La acción apunta a la educación, informar y sensibilizar a los gobiernos locales y/o a los ciudadanos.

A partir de los criterios se desarrolló una plantilla para realizar ejercicios de priorización de las acciones. Este formato se muestra en la Figura 25.

Figura 25. Plantilla de priorización de acciones de mitigación a nivel distrital.

NO.	TABLA DE PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS	Criterios							Resultado
		A	B	C	D	E	F	G	
		Potencial de mitigación	Sinergias con adaptación	Consideraciones de género	Interculturalidad	Barreras/ Problemáticas	Coordinación entre actores y sectores	Formación de capacidades	
1. ENERGÍA ESTACIONARIA									
1									0%
2. TRANSPORTE									
1									0%
3. AGRICULTURA Y GANADERÍA									
1									0%
4. RESIDUOS									
1									0%
5. USO DE LA TIERRA, CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA									
1									0%

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

64 Por su parte, la identificación de acciones de mitigación se realizó con base en la etapa de diagnóstico (inventario y BAU), así como en la etapa de prospectiva, la cual incluyó determinar:

- 1) Problemas relacionados con cambio climático
- 2) Escenarios cualitativos denominados “tendencial¹¹”, “intermedio” e “ideal”.
- 3) Determinar objetivos para asegurar que el escenario intermedio ocurra en el plazo previsto (para cambio climático hasta 2050, para el POT en general a 2040).
- 4) Los objetivos, descritos de forma operativa, fungieron como las acciones de mitigación identificadas originalmente para el distrito.
- 5) A través de los procesos descritos en la siguiente sección “Diseño participativo”, las acciones fueron contextualizadas y detalladas para asegurar su pertinencia.

Las acciones de mitigación identificadas corresponden a dos tipos: habilitadoras y de impacto. Las primeras se tratan de acciones que establecen condiciones para la posterior implementación de acciones de impacto, por lo que son cuantificable en términos de un indicador de gestión, y aunque contribuyen indirectamente a la reducción de CO₂e, son indispensables de considerar en fases iniciales de la acción climática de una jurisdicción. Las segundas son acciones directamente ligadas con los GEI

¹¹ Existen dos escenarios denominados como *tendenciales*. Uno es un escenario cualitativo, no numérico ni relacionado con la proyección de emisiones de GEI, el cual se desarrolló de forma paralela y que sirvió como base para identificar las acciones de mitigación. El **escenario tendencial de emisiones de GEI o BAU**; por su parte, es el que se presenta en este documento. Para consultar los problemas, escenarios cualitativos y objetivos planteados para el tema de cambio climático en el distrito, por favor refiérase a los entregables 2 y 3 de esta consultoría.

diagnosticados en el inventario y BAU, cuantificables en términos de la reducción de emisiones y, por tanto, que contribuyen con la meta de CO₂e del distrito.

Diseño participativo

Con el fin de fomentar la apropiación de los resultados de esta Hoja de Ruta, así como contribuir al fortalecimiento de capacidades, en el desarrollo de los elementos técnicos contenidos en este documento, se privilegió la coordinación con la autoridad ambiental del país, representada por el Ministerio de Ambiente, concretamente la Dirección de Cambio Climático, así como con los actores involucrados en el POT: Autoridad de Turismo de Panamá y Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial.

Además, por tratarse de Hojas de Ruta de Mitigación de GEI a nivel distrital, resultó igualmente pertinente, incorporar a actores locales en diversas fases de su diseño.

Finalmente, y dado el carácter multilateral de la acción climática y a la necesaria observancia de los lineamientos nacionales para atender el tema, se integró a expertos sectoriales nacionales, como parte de los ejercicios de obtención de insumos para las hojas de ruta.

Es preciso señalar también que este proceso paralelo para desarrollar seis hojas de ruta de diversos distritos en el país ha permitido aprovechar las coincidencias e identificar las posibles diferencias o ventajas entre distritos. Por lo que cada Hoja de Ruta mantiene formatos y lineamientos comunes, y más aún, de forma sustantiva, contenidos alineados a las prioridades de atención nacional ante el cambio climático. Esto puede resultar en una fortaleza, que contribuya a la acción sinérgica y coordinada desde el nivel local.

El proceso de diseño participativo se conformó por las siguientes etapas:

- **Visita y diagnóstico.-** a partir de un recorrido por cada distrito, se identificaron las principales fuentes de emisiones de GEI, así como otros factores ambientales, sociales y económicos que permitieron calibrar los diagnósticos de gabinete con la realidad.
- **Talleres distritales.-** en el marco de los talleres de lanzamiento, el equipo de mitigación de emisiones de GEI participó, principalmente en las mesas de trabajo relacionadas con medio ambiente, durante las cuales se obtuvieron insumos adicionales para el desarrollo de los diagnósticos.
- **Talleres distritales de priorización de acciones de mitigación de GEI.-** durante febrero de 2023 se realizó un taller distrital para conocer la apreciación de actores locales sobre las prioridades para la reducción de emisiones de GEI. Además, se realizó un ejercicio de difusión al compartir los resultados obtenidos hasta ese momento en el inventario de emisiones de GEI y en el BAU.

Figura 26. Ejemplo de acciones priorizadas durante el taller distrital de Soná

NO.	TABLA DE PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS	Criterios							Resultado
		A	B	C	D	E	F	G	
		Potencial de mitigación	Sinergias con adaptación	Consideraciones de género	Interculturalidad	Barreras/ Problemáticas	Coordinación entre actores y sectores	Formación de capacidades	
1. AGRICULTURA Y GANADERÍA									
AG1	Disminuir el volumen de fertilizantes nitrogenados aplicados (En 2030 respecto a 2021)	5	3	1	1	1	1	1	37%
AG2	Realizar pilotos, seleccionar e implementar los modelos exitosos de prácticas y soluciones basadas en la naturaleza en superficies de aprovechamiento agropecuario (agroforestal, silvopastoril, técnicas como cortinas rompevientos, captación y almacenamiento de agua, densificar cultivos, sistemas de riego más eficientes)	3	5	3	3	3	5	5	77%
AG3	Desarrollar un programa de fortaleciendo de capacidades de los productos agropecuarios	1	1	5	5	5	3	3	66%
AG4	Realizar pilotos con parcelas demostrativas que integren soluciones basadas en la naturaleza (cultivos principales, maíz, plátano, arroz, caña)	3	3	3	3	3	3	3	60%
AG5	Implementar un programa piloto de producción de fertilizantes orgánicos incluyendo aplicación en predios de forma demostrativa para los cultivos representativos de Soná (desde el manejo del estiércol hasta la aplicación del abono)	3	3	3	3	3	3	3	60%

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Taller nacional de obtención de insumos para las hojas de ruta.- Se realizó de manera presencial en la ciudad de Panamá con autoridades nacionales y representantes sectoriales el día 10 de marzo de 2023. En este taller se presentó el inventario, los escenarios BAU y la priorización de medidas realizada con actores locales, para ser insumo de la discusión en dos mesas de trabajo en donde se revisaron todos los sectores.

66 La primera mesa de trabajo fue enfocada a las acciones de mitigación, su pertinencia e identificación para cada distrito (ver Tabla 27), mientras que la segunda mesa se refirió a los elementos técnicos de cada medida priorizada (ver Tabla 28; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), de manera que se recuperara información desde la visión de expertos sectoriales, la cual se utilizó para el desarrollo de cada una de las medidas.

Tabla 27. Preguntas detonantes de la discusión en la mesa de trabajo 1 “Acciones de mitigación”

Mesa 1 Acciones de mitigación
¿Puede realizar algún ajuste a 1) toda la medida, 2) para un distrito? ¿Existe alguna acción NO considerada que pueda integrarse a partir del perfil de emisiones / contexto del distrito? ¿Existe alguna acción que se lleve a cabo actualmente similar a la planteada? ¿Tiene seguimiento? A nivel nacional ¿quién (institución/experto) podría ser un referente para consultas del distrito sobre este tema/acción? ¿Esta acción debería implementarse en el corto, mediano, largo plazos? Corto (2-3 años), Mediano (3-10 años), Largo (+10) ¿Existe otra consideración relevante para el sector, acción o distrito? ¿Cuál?

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Tabla 28. Preguntas detonantes de la discusión en la mesa de trabajo 2 “Elementos técnicos”

Mesa 2 Elementos técnicos
Indicadores

¿Actualmente se da seguimiento a un indicador que pueda informar del avance de una acción como esta? ¿Se da seguimiento a información/datos que puedan ayudar a calcular el avance del indicador?
Financiamiento
¿Existe financiamiento para una acción similar? (sí/no) (en ese distrito/ distrito contiguo/otro lugar del país) ¿Qué fuentes podrían financiar (o financian) este tipo de acción/sector?
MRV
¿Se cuenta con algún ejemplo de MRV en esta acción / sector?
Cobeneficios
¿Qué cobeneficios identifica de la implementación de esta acción?

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Figura 27. Participantes del taller de “Obtención de insumos para las hojas de ruta de mitigación de emisiones de GEI”



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Diálogo técnico permanente con la autoridad ambiental.- A partir de una primera reunión para establecer enlaces de coordinación, se agendó una sesión de trabajo y revisión de productos con el equipo encargado del Programa Reduce Tu Huella Municipal, perteneciente a la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente. En este marco se celebraron más de siete reuniones de seguimiento, revisión técnica, recepción de comentarios por parte de expertos sectoriales y planeación de la etapa participativa.

Acciones de mitigación del distrito

Las acciones identificadas y priorizadas se presentan de forma ordenada (mayor a menor cantidad de emisiones de acuerdo con el inventario). El carácter de estas acciones de reducción de emisiones es, principalmente, perfectible. Se trata de un primer ejercicio a nivel distrital para identificar prioridades de mitigación de acuerdo con un inventario y un BAU, también limitados por la cantidad y calidad de la información disponible.

Figura 28. Medidas priorizadas para el distrito de Soná

SONÁ	
AG2	Realizar pilotos, seleccionar e implementar los modelos exitosos de prácticas y soluciones basadas en la naturaleza en superficies de aprovechamiento agropecuario (agroforestal, silvopastoril, técnicas como cortinas rompevientos, captación y almacenamiento de agua, densificar cultivos, sistemas de riego más eficientes)
EE1	Implementar un programa de acciones de eficiencia energética diferenciado por hogares, industria, comercios y gobierno, privilegiando de inicio las acciones más costo-eficientes
T1	Implementar un plan de movilidad urbana sustentable con dos componentes principales: transporte público (incluido no motorizado) y transporte de carga-mercancías logística y tecnológicamente más eficiente
R1	Implementar un programa de reducción del volumen de residuos sólidos urbanos que se depositan en sitio de disposición final, incluyendo separación en origen, recolección diferenciada, reciclaje y revalorización, composteo (En 2030 respecto a 2021)
S4	Implementar un programa de manejo que disminuya los impactos de asentamientos humanos y aprovechamiento agropecuario ya establecidos
S1	Frenar el incremento/desplazamiento de la frontera agrícola y urbana sobre zonas con valor ecológico (agrícola, Asentamientos Humanos)
S2	Mantener e incrementar los sumideros de carbono de Soná conservando y restaurando las zonas de valor natural
S3	Implementar un programa de sensibilización y capacitación sobre los efectos de la deforestación y la degradación en los suelos que capturan carbono
AC1	Diseñar e implementar un Plan Distrital de Cambio Climático en Soná que incluya acciones de mitigación priorizadas que contribuyan a reducir las emisiones de GEI
AC2	Consolidar un equipo encargado de la acción climática dentro del Municipio del Distrito de Soná
AC3	Contar con un sistema de información que facilite la integración de datos (abajo-arriba) para desarrollar inventarios de GEI locales y nacional
AC4	Generar capacidades técnicas en los departamentos/áreas y funcionarios distritales de Soná, involucrados en temas relacionados con la acción climática (ej. Movilidad, aseo público, desarrollo agropecuario, etc)
AC5	Sensibilizar a los diversos actores involucrados sobre la importancia de su participación en el diseño e implementación de acciones de mitigación en un marco de gobernanza climática y territorial

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

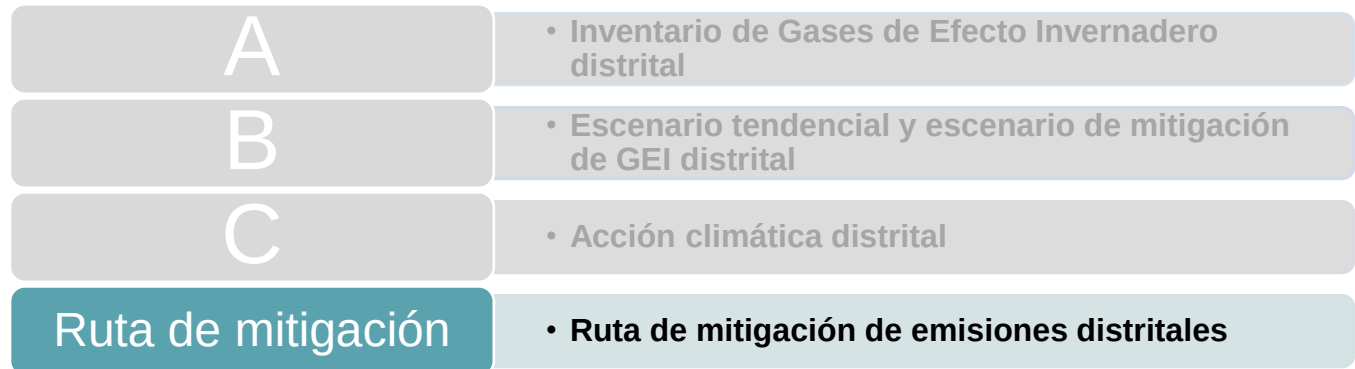
Estas acciones de mitigación representan un primer paso de la acción climática del Distrito de Soná.

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

1.5. Ruta de mitigación de emisiones en Soná

En esta última etapa del proceso de desarrollo de la Hoja de Ruta, se integra todo el conocimiento generado en los pasos anteriores, de manera que se plasmen las actividades, hitos y metas a lo largo del periodo 2023 al 2050 que permitirán alcanzar el escenario de mitigación planteado.

Figura 29. Componente: Ruta de mitigación de emisiones distritales



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

1.5.1. Elementos de diagnóstico

Uno de los elementos necesarios para el proceso de desarrollo de la Hoja de Ruta, es la elaboración del inventario de gases de efecto invernadero distrital, el cual será de utilidad para conocer la cantidad de emisiones presentes en el territorio, como resultado de las actividades humanas en sectores como la energía estacionaria, el transporte, los residuos, la agricultura y ganadería y el uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura.

69

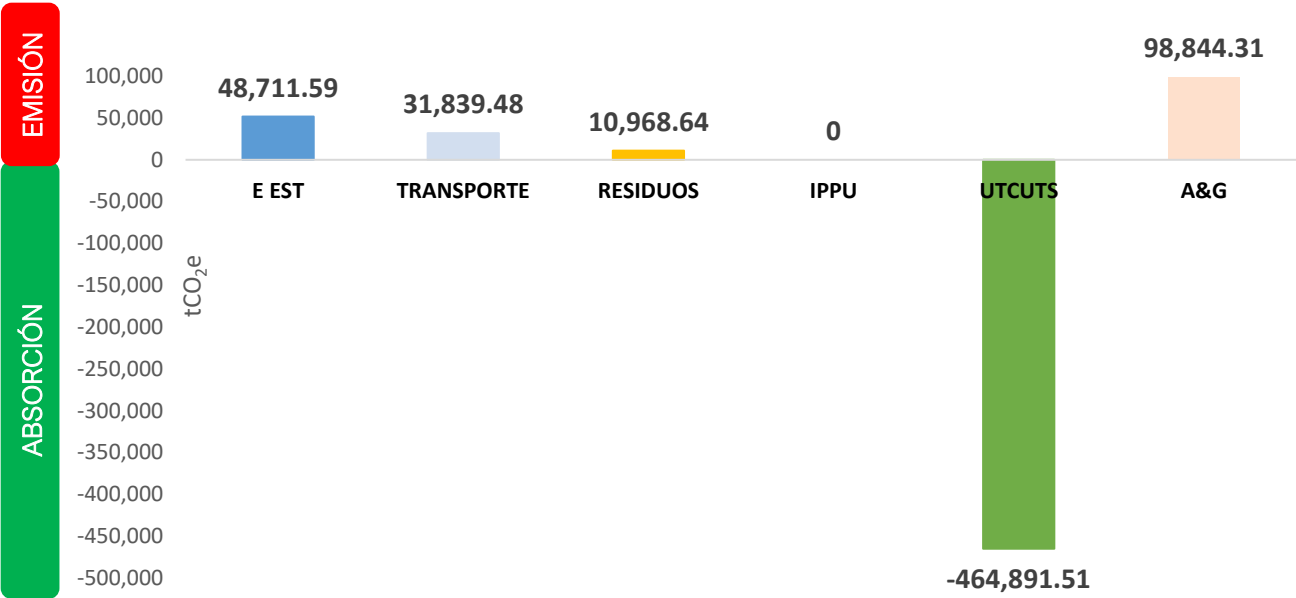
Tabla 29. Síntesis de resultados del inventario

	tCO ₂	tCH ₄	tN ₂ O	tCO ₂ e
ENERGÍA ESTACIONARIA	17,058.83	1,129.42	0.11	48,711.59
TRANSPORTE	31,335.44	2.52	1.64	31,839.48
RESIDUOS	1.70E-02	375.75	1.69	10,968.64
AGRICULTURA Y GANADERÍA	104.15	3,518.55	0.83	98,844.31
UTCUTS	-464,891.51	0	0	-464,891.51
Emisiones Totales (tCO₂e)				-274,527.49

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

La siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra el balance de emisiones de gases de efecto invernadero, así como las absorciones por captura de carbono del sector UTCUTS presentes en el distrito de Soná:

Figura 30. Emisión y absorción por sector



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

1.5.2. Impacto de las emisiones de GEI del distrito en plazos

Una vez que se cuenta con el inventario de gases de efecto invernadero del distrito de Bocas del Toro, se elaboró un escenario tendencial para visualizar el comportamiento en el tiempo de los resultados obtenidos, algunos de los aspectos relevantes del escenario tendencial de emisiones son:

- El distrito mantiene su cualidad de sumidero gracias a la absorción correspondiente al sector UTCUTS
- La tendencia sectorial muestra que el nivel de emisiones se incrementa a través del tiempo
- El sector de energía estacionaria muestra la mayor tendencia de incremento de emisiones

Tabla 30. Escenario tendencial de emisiones de GEI 2021 - 2050

No. de referencia del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	2021	2025	2030	2040	2050
I	ENERGÍA ESTACIONARIA	48,711.57	39,081.82	32,265.07	28,369.69	33,452.13
II	TRANSPORTE	31,839.46	23,775.67	23,907.85	28,360.12	34,512.64
III	RESIDUOS	10,968.64	11,660.75	12,591.28	14,694.93	17,170.81
V	AGRICULTURA Y GANADERÍA	98,844.31	90,136.91	80,725.66	66,048.44	55,823.98
V	UTCUTS	-464,891.51	-437,145.17	-419,778.86	-412,910.23	-420,625.88
SUBTOTAL		-274,527.53	-272,490.02	-270,289.00	-275,437.05	-279,666.31

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

1.5.3. Acciones de mitigación para el distrito

Derivado de los ejercicios de obtención de insumos para las hojas de ruta se incorporó el plazo requerido para la implementación de las medidas de mitigación seleccionadas para el distrito de Bocas del Toro, considerando el corto (2-3 años), el mediano (3-10 años) y el largo (+10 años) plazo, como se muestra en la siguiente **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 31. Medidas de mitigación y su plazo

ID	MEDIDA	Corto (2-3 años)	Mediano (3-10 años)	Largo (+10)
EE1	Implementar un programa de acciones de eficiencia energética diferenciado por hogares, industria, comercios y gobierno, privilegiando de inicio las acciones más costo-eficientes	Sí	Sí	Sí
T1	Implementar un plan de movilidad urbana sustentable con dos componentes principales: transporte público (incluido no motorizado) y transporte de carga-mercancías logística y tecnológicamente más eficiente	Sí	Sí	Sí
R1	Implementar un programa de reducción del volumen de residuos sólidos urbanos que se depositan en sitio de disposición final, incluyendo separación en origen, recolección diferenciada, reciclaje y revalorización, composteo (En 2030 respecto a 2021)	Sí	Sí	Sí
AG2	Realizar pilotos, seleccionar e implementar los modelos exitosos de prácticas y soluciones basadas en la naturaleza en superficies de aprovechamiento agropecuario (agroforestal, silvopastoril, técnicas como cortinas rompevientos, captación y almacenamiento de agua, densificar cultivos, sistemas de riego más eficientes)	Sí	Sí	71
S1	Frenar el incremento/desplazamiento de la frontera agrícola y urbana sobre zonas con valor ecológico (agrícola, AH)		Sí	
S2	Mantener e incrementar los sumideros de carbono restaurando las zonas de valor natural, incluidos los manglares, riberas, y otros	Sí	Sí	
S3	Implementar un programa de sensibilización y capacitación al público y a los productores agropecuarios, sobre los efectos de la deforestación y la degradación en los suelos que capturan carbono	Sí		
S4	Implementar un programa de manejo que disminuya los impactos de asentamientos humanos y aprovechamiento agropecuario ya establecidos		Sí	Sí

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

1.5.4. Cuantificación de acciones de mitigación

Partiendo de la formulación de los escenarios de mitigación, se establece una serie de actividades que aportan a cada una de las medidas priorizadas por el distrito para conocer su costo de abatimiento, es decir, los beneficios en términos de emisiones evitadas y el costo derivado de su implementación, como se muestra en la Tabla 32

Tabla 32. Costo de abatimiento de las medidas de mitigación priorizadas del distrito

Sector	Actividad	Costo de abatimiento (USD/tCO ₂ e)		
		Alto	Promedio	Bajo
ENERGÍA ESTACIONARIA	Construcciones eficientes (nuevas y existentes)	-133.78	-39.78	234.04
	Electrodomésticos eficientes	-177.54	-6.76	162.46
	Cocción eficiente	-37.65	40.92	166.33
	Bomba de agua solar	-132	-31	70
	Eficiencia energética industrial	-132.17	-24	153.07
	Eficiencia de materiales	7.6	57.04	83.65
	Energía hidroeléctrica	-133.78	-39.78	234.04
	Energía eólica	-177.54	-6.76	162.46
	Energía solar fotovoltaica	-37.65	40.92	166.33
	CCUS de Carbono	-132	-31	70
	Biocombustibles	-132.17	-24	153.07
	Calentadores Solares Domésticos	-158	-108	-58
	Calentadores Solares Comercial	-460	-352	-57
TRANSPORTE	Paquete de movilidad urbana (BRT, ciclovías, aceras peatonales)	-	-37.5	-
	Desarrollo de la forma urbana y el cambio modal	-	-237.5	-
	Combustibles alternativos en el transporte de pasajeros	-	62.5	-
	Combustibles alternativos en el transporte de carga	-	212.5	-
	Eficiencia energética en el transporte de mercancías	-	225	-
	Incremento de participación en caminar (20 - 25%)	-	-15	-
	Incremento del uso de bicicletas entre 0 - 5%	-	-14	-
	Incremento del uso de bicicletas entre 0 - 10%	-	-17	-
	Coches de energía alternativa	-	190	-
	Reducción del consumo de energía del automóvil	-	320	-
	Cambio en el uso del automóvil hacia el uso compartido del automóvil y del viaje	-	-950	-
RESIDUOS	Reciclaje de papel, comercial e industrial	-77	-33	-55

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

	Reciclaje de papel, RSU	-14	-3	-9
	Compostaje de residuo comercial e industrial	29	98	63
	Compostaje doméstico	20	69	45
	Compostaje de textiles de algodón	62	109	82
	Reciclaje de LDPE	97	42	79
	Reciclaje de vidrio en la acera por contenedores	45	157	112
	Asfalto reciclado en la construcción de carreteras	-166	-106	-75
	Uso de combustible derivado de llantas	-73	-31	-52
	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)	-	80.4	-
	Suministro de agua potable al distribuidor de agua mediante bombas controladas por frecuencia	-	-730	-
AGRICULTURA Y GANADERÍA	Optimización de nitrógeno	-94	-107	-120
	Inhibidores de la nitrificación	60	80	100
	Modernización del riego	200	295	390
UTCUTS	Deforestación evitada en 10%	-5	-3.5	-2
	Deforestación evitada en 50%	-21	-15.5	-10
	Adopción de técnicas de manejo forestal para el secuestro de carbono	-	-3.5	-
	Protección y gestión de bosques templados	-	2	-
	Restauración de humedales costeros	-	1.6	-
	Repoblación forestal y silvopastoril	-	2	-

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

CUARTO INFORME ETAPA IV. FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL
Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de Soná

1.5.5. Ruta de mitigación en Soná

Tipo	Sector / Año	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Actividades habilitadoras																													
Actividad	Se implementan acciones tipo AC - Acción Climática	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●										
Hito	Se cuenta con un equipo profesionalizado que atiende la acción climática distrital		▲	▲																									
Hito	Se publica el primer Plan Distrital de Cambio Climático			▲	▲																								
Hito	Los ciudadanos (social, privado, academia, etc.) participan cotidianamente de la gobernanza climática distrital			▲	▲	▲																							
Hito	Se implementa el sistema de información para desarrollar inventarios de GEI locales y nacionales				▲																								
Hito	Se comienza a utilizar la Plataforma Nacional de Transparencia Climática (PNTC) para dar seguimiento a la acción climática local		▲	▲	▲																								
Hito	El Distrito funge como caso piloto dentro del Programa Reduce Tu Huella Municipal	▲	▲	▲																									
Actividad	Se desarrolla el inventario de GEI 2023, 2025, 2027, 2029, 2031, 2033, 2035, 2037, 2039, 2041, 2043, 2045, 2047, 2049		●		●		●		●		●		●		●		●		●		●		●		●		●		●
Hito	Se realiza el primer Inventario con más del 50% de datos locales directo de las fuentes de emisión						▲																						
Hito	Se realiza el primer Inventario con el 100% de datos obtenidos del sistema de información local para inventarios de GEI										▲																		
Hito	Se publica la CDN 2030-2040								▲																				
Hito	Se publica la CDN 2040-2050																		▲										
Meta	Se cuenta en el Distrito de Soná, con una acción climática distrital fortalecida y alineada con los compromisos nacionales								◆																				
Actividades sectoriales																													
Actividad	Se implementan acciones AG - Agricultura y Ganadería	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●										
Hito	Se alcanza reducciones sectoriales de 10,248.06 tCO ₂ e (50%) respecto a lo planificado en esta Hoja de Ruta										▲																		
Hito	Se revisan las acciones sectoriales y se aumenta su ambición para alinear las metas distritales con las nacionales										▲																		
Hito	Se alcanza reducciones sectoriales de 16,869.19 tCO ₂ e (80%) respecto a lo planificado en esta Hoja de Ruta															▲													
Actividad	Se implementan acciones EE - Energía estacionaria	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●										
Hito	Se alcanza reducciones sectoriales de 4,270.35 tCO ₂ e (50%) respecto a lo planificado en esta Hoja de Ruta										▲																		
Hito	Se revisan las acciones sectoriales y se aumenta su ambición para alinear las metas distritales con las nacionales										▲																		
Hito	Se alcanza reducciones sectoriales de 6,915.87 tCO ₂ e (80%) respecto a lo planificado en esta Hoja de Ruta															▲													

75

1.6. ANEXOS

- 1.6.1. Anexo 1. Herramienta del Inventario de emisiones de GEI del Distrito de Bocas del Toro
- 1.6.2. Anexo 2. Herramienta del escenario tendencial (Business As Usual) distrital y el escenario de reducciones
- 1.6.3. Anexo 3. Matriz de priorización de medidas distritales
- 1.6.4. Anexo 4. Fichas sintéticas de las medidas de mitigación
- 1.6.5. Anexo 5a. Calidad del aire
- 1.6.6. Anexo 5b. Contaminantes atmosféricos
- 1.6.7. Anexo 5c. Factores de emisión (calidad del aire)

1.6.8. Anexo 6. Metodológico de inventario de emisiones de GEI

Sector energía: energía estacionaria

Se realizaron cálculos para estimar las emisiones derivadas del consumo de energía en los subsectores: Residencial, Comercial y servicios públicos, Industrial y Agro, pesca y minería.

- Electricidad
- Combustibles fósiles y leña: gas LP, gasolina y naftas, keroseno y jet fuel, diesel oil, fuel oil, no energéticos de petróleo, carbón vegetal, leña y bagazo.

La estimación de la energía estacionaria se realizó por dos métodos: Método 1 con datos nacionales/provinciales y, Método 2 con datos distritales, que se describen a continuación.

Datos de actividad

Electricidad

Método 1. Con datos nacionales/provinciales

1. Identificar en el Informe de Demanda de la ASEP el consumo (ventas) de electricidad a nivel nacional expresado en GWh, así como, el tipo de subsector (comercial, residencial, gobierno, industrial, alumbrado público y uso empresa, o el que corresponda) para el año de referencia (2021).
 2. Estimar la participación porcentual del consumo de electricidad por subsector.
 3. Identificar el porcentaje de consumo (ventas) por provincia.
 4. Determinar el consumo (ventas) de electricidad por provincia multiplicando el consumo total de electricidad a nivel nacional por el porcentaje de consumo por provincia.
 5. Determinar el consumo (ventas) por subsector a nivel provincial multiplicando el consumo total de electricidad provincial por el porcentaje de participación por subsector.
 6. Convertir los datos de GWh a MWh al año multiplicando por el factor de conversión correspondiente.
- Los datos se muestran en MWh.

Método 2. Con datos distritales

1. Identificar los consumos distritales por subsector para el año de referencia, de acuerdo con información proporcionada por el Ministerio de Ambiente.
2. Si no se cuenta con la información del año de referencia, pero se tiene una serie histórica (2016 – 2020), el dato del año de referencia se estima calculando la tasa media de crecimiento anual (tmca) aplicando la siguiente ecuación:

$$tmca (\%) = \left(\left(\frac{V_f}{V_i} \right)^{\frac{1}{(P_f - P_i)}} - 1 \right)$$

Donde:

tmca = tasa media de crecimiento anual
 V_i = Valor inicial
 V_f = Valor final
 P_i = Periodo inicial
 P_f = Periodo final

Para estimar el dato del 2021 se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo 2021} = \text{Consumo 2020} * (1 + tmca)$$

Consumo de combustibles fósiles y leña

Método 1. Con datos nacionales/provinciales

1. Estimar un multiplicador de proporcionalidad Distrital/Nacional, este se calcula dividiendo la población total distrital entre la población total nacional.
2. Identificar, del Balance Energético de la República de Panamá 2021, el consumo nacional de combustibles fósiles y leña en unidades de energía (KBEP) en los subsectores: Residencial, Comercial y servicios públicos, Industrial y Agro, pesca y minería para el año de referencia (2021).
3. Convertir los datos de consumo de KBEP a TJ multiplicando por el factor de conversión correspondiente.
4. Estimar la proporcionalidad de datos nacionales a datos distritales por cada tipo de combustible y subsector multiplicando el consumo nacional por el multiplicador de proporcionalidad Distrital/Nacional.

Los datos se expresan en TJ.

Factor de emisión

Electricidad

El factor de emisión se muestra en la hoja 1.1 FE del Anexo 1. Inventario GEI.xlsx, el cual, corresponde al Factor de Emisión para Huella de carbono e inventarios reportado por la Secretaría de Energía de Panamá en el Reporte factor de emisión del SIN Panamá 2021 y de las Directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero 2006 - Volumen 2: Energía.

Consumo de combustibles fósiles y leña

Los factores de emisión que se muestran en la hoja 1.1 FE del Anexo 1. Inventario GEI.xlsx, se tomaron del INGEI, cuya fuente son las Directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero 2006 - Volumen 2: Energía.

Pasos generales para la estimación de emisiones

La estimación de emisiones generadas por el consumo de electricidad y combustibles fósiles y leña se encuentran en el Anexo 1. Inventario GEI.xlsx en la hoja 4.E EST.

Para estimar las emisiones de GEI asociadas al **consumo de electricidad (MWh-año)** por subsector (3.1 DA E EST) por el factor de emisión correspondiente a la generación de electricidad (1.1 FE) para **bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O)**.

En el caso del **consumo de combustibles y la leña** se multiplican los resultados de los diferentes combustibles consumidos por cada subsector estimados en unidades de energía (TJ) (3.1 DA E EST) por el factor de emisión correspondiente a cada tipo de combustible (1.1 FE) para **bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O)**.

Las emisiones para cada gas de efecto invernadero (GEI) se multiplican por su correspondiente potencial de calentamiento global establecidos en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (PCG CO =1; CH₄ = 28 y N₂O = 265). Las emisiones totales se expresan en toneladas de **bióxido de carbono equivalente (tCO₂e)**.

Plan de mejora

- Registro distrital periódico (anual) del consumo de electricidad por subsector.
- Registro distrital periódico (anual) y por subsector del consumo por cada de tipo de combustible fósil y de leña.

Sector energía: transporte

Se realizaron cálculos para estimar las emisiones derivadas del consumo de combustibles fósiles en los subsectores: carretero, aéreo y fluvial, a partir de datos nacionales.

- Carretero: gasolina y naftas, diesel oil, gas LP y electricidad.
- Aéreo: gasolina para aviación y keroseno y jet fuel.
- Fluvial: diesel oil (marino).

Datos de actividad

1. Estimar un multiplicador de proporcionalidad Distrital/Nacional, este se calcula dividiendo la población total distrital entre la población total nacional (3.1 DA E EST).
2. Identificar, para cada uno de los subsectores, el consumo nacional por tipo de combustibles en unidades de energía (TJ) para el año de referencia.
 - Si los datos de consumo de combustibles se encuentran reportados en unidades diferentes a TJ, éstos deben ser convertidos aplicando los factores correspondientes por tipo de combustible (2. FC).
 - Si no se dispone del dato al año de referencia, pero se cuenta con una serie histórica, por ejemplo, de 1994 - 2017, el valor deseado se estima calculando la tasa media de crecimiento anual (tmca) aplicando la siguiente ecuación:

$$tmca (\%) = \left(\left(\frac{V_f}{V_i} \right)^{\frac{1}{(P_f - P_i)}} - 1 \right)$$

Donde:

tmca = tasa media de crecimiento anual
 V_i = Valor inicial
 V_f = Valor final
 P_i = Periodo inicial
 P_f = Periodo final

Para estimar el dato del 2021 se aplica la siguiente ecuación:

$$Consumo\ 2021 = Consumo\ 2017 * (1 + tmca) + \dots + Consumo\ 2020 * (1 + tmca)$$

* El consumo de *jet fuel* y de electricidad fueron obtenidos del Balance Nacional de Energía 2021: 100.33 y 49.6 KBEP, respectivamente y se convirtieron a TJ .

3. Estimar la proporcionalidad de datos nacionales a datos distritales por cada tipo de combustible y subsector multiplicando el consumo nacional por el multiplicador de proporcionalidad Distrital/Nacional (3.1 DA E EST).
4. Determinar la participación porcentual (proporcionalidad) de los diferentes tipos de combustibles para el subsector correspondiente (carretero, fluvial y aéreo). Ésta se obtiene dividiendo el consumo de cada combustible entre el total consumido por el subsector.

5. Identificar si existen datos históricos de consumo total de combustible por distrito. Si es así, el periodo disponible, por ejemplo, de 2019 - 2022 expresado en galones y convertirlos a TJ. En caso de no existir el dato deseado, aplicar la ecuación del punto 2.
6. Determinar la desagregación por tipo de combustible, para lo cual, se requiere multiplicar el consumo total de combustible del distrito para el año deseado por el porcentual de participación de cada uno.

Los datos se expresan en TJ.

Factor de emisión

Los factores de emisión que se muestran en la hoja 1.1 FE del Anexo 1. Inventario GEI.xlsx, se tomaron del INGEI, cuya fuente son las Directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero 2006 - Volumen 2: Energía.

Pasos generales para la estimación de emisiones

La estimación de emisiones del transporte por subsector se encuentra en el Anexo 1. Inventario GEI.xlsx en la hoja 5. E MOV.

Para estimar las emisiones de GEI asociadas al **consumo de combustibles fósiles (TJ)** por subsector (3.3 DA E MOV) se multiplica por el factor de emisión correspondiente al tipo de combustible (1.1 FE) para **bióxido de carbono (CO₂)**, **metano (CH₄)** y **óxido nitroso (N₂O)**.

Las emisiones para cada gas de efecto invernadero (GEI) se multiplican por su correspondiente potencial de calentamiento global establecidos en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (PCG CO =1; CH₄ = 28 y N₂O = 265). Las emisiones totales se expresan en toneladas de **bióxido de carbono equivalente (tCO₂e)**.

80

Plan de mejora

- Registro distrital periódico (anual) y por subsector del consumo por cada de tipo de combustible fósil utilizado por cada subsector.
- Registro del parque vehicular que circula en el distrito, su desagregación modal y tipo de combustible usado.
- Registro distrital periódico (anual) del consumo de combustible en cada una de las terminales marítimas y aéreas.
- Estadística del parque marítimo en funcionamiento, indicando periódicamente la salida de operación de embarcaciones.

Sector residuos

Se realizaron cálculos para estimar las emisiones derivadas del sector residuos en los subsectores: disposición de residuos sólidos urbanos, incineración y quema abierta de residuos (si aplica), tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas a partir de datos nacionales del INEC, así como los estudios de la Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario (AAUD) para el desarrollo del PNGIR 2017-2027.

- Disposición de residuos sólidos urbanos: Composición de los residuos, generación por vertedero.
- Incineración y quema abierta de residuos: Composición de los residuos, generación por vertedero.
- Eliminación de aguas residuales domésticas/industriales: Empresas con permisos de descarga de aguas residuales, disponibilidad diaria de la proteína *per cápita*.

Datos de actividad

Las emisiones del sector se estimaron de acuerdo con el método de Nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006 para los subsectores calculados, al no contar con datos estadísticos a nivel distrital, se partió de datos de actividad de las estadísticas nacionales y factores de emisión por defecto.

Disposición de residuos sólidos

1. Identificar la clasificación de materiales en la República de Panamá (orgánica, celulosas, madera, papel – cartón, envases complejos, textiles, cueros, plásticos, vidrio, metales, RAEES, residuos peligrosos/especiales, inertes, voluminosos, misceláneo).
2. Identificar la composición de los residuos por origen de generación establecida en el Modelo de Gestión de Residuos del Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017 de Panamá.
3. Determinar la composición de residuos de acuerdo con la clasificación de materiales entre la actividad doméstica y la actividad económica (comercios, servicios e industria).
4. Definir clústeres poblacionales tomando en cuenta que los corregimientos del clúster 1 tienen el índice de pobreza más alto, los ingresos más bajos y el nivel agropecuario más alto mientras que los corregimientos del clúster 4 tienen el índice de pobreza más bajo, los ingresos más altos y el nivel agropecuario más bajo.
5. Establecer niveles de generación correspondiendo el nivel 1 al menor nivel de generación y el 4 al mayor nivel de generación.
6. Definir la población correspondiente a cada clúster.
7. Identificar la generación diaria de residuos por vertedero en kilogramos por habitante al día.
8. Relacionar la generación de residuos en vertedero por clúster poblacional.
9. Determinar el coeficiente de corrección para obtener la generación en kilogramos por habitante al día, considerando que no todos los residuos generados en origen llegan al vertedero, ya sea por la ausencia de recolección, rutas de recolección incompletas o bien, por la falta de personal especializado. Estos coeficientes actúan al alza, ya que se estima que a medida que los corregimientos son más pequeños o bien, son rurales, el volumen que no llega al vertedero es mayor, siendo por tanto, los coeficientes de corrección mayores para los conglomerados con menor generación de residuos.
10. Estimación de generación de residuos en vertedero y cielo abierto en kilogramos por habitante al día.
11. Determinar la generación de residuos *per cápita* por nivel de generación.
12. Identificar clúster correspondiente al distrito de análisis.
13. Estimar la generación de residuos en vertedero y cielo abierto del distrito de análisis.
14. Calcular la proporcionalidad de los datos nacionales a datos de distrito mediante el nivel de generación y clúster al que corresponde para obtener un factor de proporción poblacional para el distrito con el que se obtendrá la generación en kilogramos por habitante al día.
15. Desglosar el dato de generación calculado de acuerdo con la con la clasificación de materiales entre la actividad doméstica y la actividad económica.
16. Desagregar la composición de residuos por origen de acuerdo con la clasificación de materiales previamente identificada.
17. Realizar la conversión de unidades de kilogramos a toneladas.

81

Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas

1. Identificar empresas con permisos de descarga de aguas residuales y/o plantas de tratamiento de aguas residuales en el país.

2. Determinar la demanda biológica de oxígeno 5 (DBO₅) de las empresas con permisos de descarga de aguas residuales y/o plantas de tratamiento de aguas residuales.
3. Identificar las empresas y/o plantas presentes en el distrito de estudio.
4. Calcular el promedio de demanda biológica de oxígeno 5 (DBO₅) de las empresas con permisos de descarga de aguas residuales y/o plantas de tratamiento de aguas residuales para obtener el dato de actividad del distrito
5. Identificar la disponibilidad diaria de proteína *per cápita* en la república y aplicar el factor de proporcionalidad de datos nacionales a datos de distrito calculado en los sectores previos y obtener el dato de actividad del distrito.

Factor de emisión

Se utilizaron los factores de emisión por defecto de las Directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero 2006 y se pueden consultar en la hoja 6 RES del Anexo 1. Inventario GEI.xlsx.

Pasos generales para la estimación de emisiones

La estimación de emisiones para el sector se encuentra en el Anexo 1. Inventario GEI.xlsx en la hoja 6 RES, se utilizó la metodología de cálculo de las Directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero 2006.

- Cálculo del carbono orgánico degradable disuelto (DDOC)

$$DDOC_m = W * DOC * DOC_f * MCF$$

- Cálculo del DDOC acumulado en los sitios de disposición en el año de estudio

$$DDOC_{maT} = DDOC_{mdT} + (DDOC_{maT-1} * e^{-k})$$

- Cálculo de DDOC acumulado descompuesto en el año de estudio

$$DDOC_{m descompT} = DDOC_{maT-1} * (1 - e^{-k})$$

- Cálculo de CH₄ generado a partir del DDOC en descomposición

$$CH_4 \text{ generado}_T = DDOC_{m descompT} * F * \frac{16}{12}$$

- Estimación de emisiones de CH₄ con el modelo de descomposición de primer orden (FOD)

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \left[\sum CH_4 \text{ generado}_{xT} - R_T \right] * (1 - OX_T)$$

- Cálculo del contenido de materia seca en los sitios de disposición

$$dm = \sum (WF_i * dm_i)$$

- Cálculo del contenido de carbono total en los sitios de disposición

$$CF = \sum (WF_i * CF_i)$$

- Cálculo de la fracción de carbono fósil en los sitios de disposición

$$FCF = \sum(WF_i * FCF_i)$$

- Estimación de emisiones de CO₂ para incineración de residuos

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \text{DSM} * \sum(WF_j * dm_j * CF_j * FCF_j * OF_j) * \left(\frac{44}{12}\right)$$

- Estimación de emisiones de CH₄ para incineración de residuos

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \sum(IW_i * EF_i)$$

- Estimación de emisiones de N₂O para incineración de residuos

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \sum(IW_i * EF_i)$$

- Cálculo del total de materia orgánica degradable en las aguas residuales

$$\text{TOW} = P * \text{DBO} * 0.001 * I * 365$$

- Cálculo del factor de emisión de CH₄ para cada vía o sistema de tratamiento

$$FE_j = B_o * MCF_j$$

- Cálculo de emisiones totales de CH₄ procedente de las aguas residuales

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \left[\sum(U_i * T_{i,j} * FE_j) \right] * (\text{TOW} - S) - R$$

- Cálculo del nitrógeno total de los efluentes

$$N_{\text{EFLUENTE}} = (P * \text{Proteína} * F_{\text{NPR}} * F_{\text{NON-CON}} * F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{LODO}}$$

- Estimación de emisiones de N₂O provenientes de las aguas residuales efluentes

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = N_{\text{EFLUENTE}} * FE_{\text{EFLUENTE}} * \frac{44}{28}$$

Las emisiones para cada gas de efecto invernadero (GEI) se multiplican por su correspondiente potencial de calentamiento global establecidos en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (PCG CO =1; CH₄ = 28 y N₂O = 265). Las emisiones totales se expresan en toneladas de **bióxido de carbono equivalente (tCO₂e)**.

Plan de mejora

- Contar con un registro del volumen de residuos que ingresa a los sitios de disposición

- Contar con la desagregación de las comunidades que mantienen como práctica común la quema de residuos
- Contar con estudios para determinar el porcentaje de los distritos y provincias que realmente depositan en vertederos
- Realizar un análisis para establecer factores de emisión específicos del país
- Contar con información estadística sobre las aguas residuales involucrando al sector privado que maneja los datos

Sector AFOLU: agricultura y ganadería

Se realizaron cálculos para estimar las emisiones derivadas de agricultura y ganadería:

- Ganadería: fermentación entérica y manejo de estiércol.
- Agricultura: arroz, aplicación de urea y emisiones indirectas de fertilizantes nitrogenados.

Datos de actividad

Al no contar con datos estadísticos a nivel distrital, se utilizaron métodos para derivarlos a partir de los datos nacionales y provinciales, considerando los siguientes pasos (ver hoja 3.5 DA AFOLU del Anexo 1. Inventario GEI.xlsx, los datos estimados se encuentran en *cursivas*).

Ganadería

1. Identificar actividades ganaderas en el distrito.
2. Se generó una serie de tiempo en cabezas de ganado por tipo de ganado para la república de Panamá, los datos se obtuvieron de FAOSTAT del 2015 al 2020.
3. Para generar el dato de 2021, se utilizó la tasa de crecimiento medio anual para la serie de datos anterior.
4. Se tomaron los datos de existencia de ganado por provincia y por tipo del año 2010 al 2020 (INEC), generando los datos de 2021 a través de tasa de crecimiento.
5. En el caso del ganado vacuno, se obtuvieron los valores para cría, leche y ceba a nivel provincia (INEC).
6. De FAOSTAT se obtuvieron las unidades de ganado por mayor superficie de tierras agrícolas (UGM/ha) en Panamá del año 2015 al 2020. El año 2021 se derivó del promedio de los años anteriores.
7. De FAOSTAT se derivó la cuota en el total de ganado, es decir, el porcentaje total de unidad de ganado mayor (UGM) para cada tipo de ganado en el país.
8. A partir de la cartografía (SNIA, 2021) se obtuvieron las superficies pecuarias en hectáreas a nivel nacional y distrital.
9. A partir de la información anterior, se derivó la estimación de cabezas de ganado por tipo y hectárea a nivel nacional.
10. Tomando esa estimación, se multiplicaron las cabezas de ganado por hectárea, por la superficie en hectáreas identificada como pecuaria en la cartografía para el distrito, obteniendo el número de cabezas para cada distrito.
11. En el caso del ganado vacuno, se generó un factor de proporcionalidad entre el distrito y la provincia (cabezas de ganado vacuno 2021) para asignar al distrito las cabezas de cría, leche y ceba, a partir del total de cabezas generado en el paso anterior.

Agricultura

1. Identificar si existen actividades agrícolas en el distrito.
2. Identificar si existe cultivo de arroz en el distrito.
3. Obtener la superficie nacional sembrada (ha) del Cierre Agrícola 2020-2021 (MIDA).
4. Obtener la superficie distrital sembrada del distrito (ha) a partir de la cartografía de cobertura 2021 (SNIA).
5. Obtener la superficie distrital sembrada de arroz a partir de la cartografía de cobertura 2021 (SNIA).
6. Obtener el área cosechada, área cosechada de riego y área cosechada de secano para el cultivo de arroz en la provincia, a partir de la serie histórica del MIDA. Se identifica que el 13% de la superficie es de riego y el 87% de secano (ha).
7. Estimar la superficie de arroz de riego y secano para el distrito a partir de las hectáreas identificadas en la cartografía (SNIA) y la proporción encontrada en el MIDA.
8. Estimar la proporción entre la superficie nacional sembrada y la superficie distrital sembrada.
9. Se obtuvo una serie temporal 2015-2020 de fertilizantes sintéticos de uso agrícola nacional, contenido de fertilizante nitrogenado aplicado que lixivia y contenido de fertilizante nitrogenado aplicado que se volatiliza (FAOSTAT) y se estiman los valores nacionales para 2021.
10. Usando la proporción de superficie sembrada nacional/distrital, se obtienen los valores de fertilizantes sintéticos de uso agrícola, contenido de fertilizante nitrogenado aplicado que lixivia y contenido de fertilizante nitrogenado aplicado que se volatiliza a nivel distrital.
11. Se obtuvo serie temporal de 2002 a 2010 de uso agrícola de urea (toneladas) desde FAOSTAT, se estimó la tasa de crecimiento para construir los datos al 2021.
12. Se estima el uso de urea agrícola principal a partir de multiplicar por la proporción nacional/distrital de superficie sembrada.

Factor de emisión

Los factores de emisión se pueden ver en la hoja 1.1 FE del Anexo 1. Inventario GEI.xlsx, se tomaron del INGEI con fuente de las Directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero 2006.

85

Pasos generales para la estimación de emisiones

La estimación de emisiones para agricultura y ganadería se encuentran en el Anexo 1. Inventario GEI.xlsx en la hoja 8.1 A&G.

Para el **manejo de estiércol emisiones indirectas por volatilización de N_2O** se utiliza el sistema de manejo de estiércol, al no tener datos distritales, se asume que todos se realizan en pasturas, prados y praderas, se manejan como suelos gestionados. Se toman datos del INGEI 2020 para la tasa de excreción de N por defecto, la masa animal típica por categoría de ganado, la excreción anual de N por cabeza por categoría de ganado, la fracción de la excreción total anual de nitrógeno por cada tipo de ganado.

Para las **emisiones de metano del manejo de estiércol** se multiplica el dato de actividad (cabezas de ganado por tipo) (hoja 3.5 DA AFOLU) por el factor de emisión de la hoja 1.1. FE.

Para la **fermentación entérica** se multiplica el dato de actividad (cabezas de ganado por tipo) (hoja 3.5 DA AFOLU) por el factor de emisión de la hoja 1.1 FE.

Para la estimación de **emisiones por aplicación de urea y emisiones indirectas de fertilizantes nitrogenados** se multiplica el dato de actividad (hoja 3.5 DA AFOLU) por el factor de emisión (hoja 1.1 FE).

Para las **emisiones de metano por cultivo de arroz** se multiplican los datos de actividad (hoja 3.5 DA AFOLU) para riego y secano por el factor ajustado de emisión diaria, el periodo del cultivo en días, diferenciado para riego y secano.

Las emisiones para cada gas de efecto invernadero (GEI) se multiplican por su correspondiente potencial de calentamiento global establecidos en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (PCG CO =1; CH₄ = 28 y N₂O = 265). Las emisiones totales se expresan en toneladas de **bióxido de carbono equivalente (tCO₂e)**.

Plan de mejora

- Inventarios ganaderos y agrícolas locales para obtener mejores datos de actividad para nuevas estimaciones.
- Identificación de sistemas de manejo de estiércol.

Sector AFOLU: uso de tierras, cambio de uso de tierras y silvicultura

Datos de actividad

Los datos de actividad provienen de la cartografía en formato vectorial de coberturas de suelo para los años 2012 y 2021 del Sistema Nacional de Información Ambiental (SNIA, 2021).

Los pasos seguidos para obtener los datos de actividad fueron los siguientes (Ver Anexo 1. Inventario GEI.xlsx hoja 3.5 DA AFOLU).

1. Recortar la cartografía vectorial de ambas fechas al límite distrital.
2. Siguiendo los lineamientos del nivel de referencia de emisiones forestales (MiAMBIENTE, 2022) (NREF), categorizar las coberturas de la cartografía.
3. Generar la matriz de cambio de superficies por categoría del NREF 2012-2021.
4. Identificar las transiciones consideradas ilógicas con base en el NREF.
5. Las superficies de transiciones ilógicas fueron sumadas a las superficies finales, es decir, del año 2021, considerando que la cartografía de este año es de una mejor exactitud temática que la del año 2012, de acuerdo con criterio experto. Es así como las superficies de categorías del NREF permanecen para el año 2021 a pesar de los cambios ilógicos.
6. Se anualizaron los datos para los cambios, mientras que las permanencias se mantienen para todo el periodo.
7. Se obtienen entonces matrices de cambio 2012-2021 con 12 categorías NREF como sigue:

Tabla 33. Categorías de coberturas de la tierra usadas como dato de actividad en UTCUTS

Categoría IPCC	Categoría NREF o INGEI	Cobertura de la cartografía 2012-2021
Tierra Forestal	Bosque maduro	Bosque latifoliado mixto maduro
	Bosque secundario	Bosque de orej Bosque de rafia Bosque latifoliado mixto secundario
	Manglar	Bosque de mangle
	Plantación conífera	Bosque plantado de coníferas
	Plantación latifoliada	Bosque plantado de latifoliadas
	Rastrojo	Rastrojo y vegetación arbustiva Vegetación herbácea
Tierras agrícolas	Cultivo anual	Arroz Caña de azúcar Horticultura mixta Maíz

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

Categoría IPCC	Categoría NREF o INGEI	Cobertura de la cartografía 2012-2021
		Otro cultivo anual Piña Área heterogénea de producción agropecuaria
	Cultivo perenne	Café Otro cultivo permanente Cítrico Palma aceitera Plátano/banano
Pastizales/Praderas	Pasto	Pasto
Humedales	Humedal	Superficie de agua Vegetación baja inundable
Asentamientos	Asentamiento	Área poblada Infraestructura Explotación minera
Otras tierras	Otras tierras	Afloramiento rocoso y tierra desnuda Playa y arenal natural Albinas Estanque para acuicultura

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Factor de emisión

Los factores de emisión fueron tomados del NREF, del INGEI y del IPCC, se pueden encontrar en el Anexo 1. Inventario de GEI.xlsx hoja 1.2 P UTCUTS, donde se puede encontrar la referencia de cada parámetro utilizado en la construcción de los FE.

Se consideró la regionalización climática de Panamá y su homologación de las regiones climáticas del IPCC: región tropical muy húmeda (RTMH), Región tropical húmeda (RTH) y Región tropical montano (RTM), para la selección de los factores de emisión que mejor representan las condiciones del distrito (NREF).

87

Pasos generales para la estimación de emisiones

Ver hoja 8.2 UTCUTS del Anexo 1. Inventario de GEI.xlsx.

- Para cada clase de la matriz de cambio se construyó un factor de emisión (Ver hoja 1.2 P UTCUTS del Anexo 1 Inventario de GEI) el cual se multiplica por la superficie (ha) de cada clase, para obtener tC/ha (toneladas de carbono por hectárea).
- Las tC/ha se multiplican por (44/12) para convertir a tCO₂e.

Plan de mejora

- Para la estimación de datos de actividad en futuros inventarios se recomienda densificar la malla nacional con la que se han trabajado el INGEI y el NREF. Esto permitirá llevar a cabo el cálculo de incertidumbre.
- Para la estimación de datos de actividad se recomienda ampliar el periodo de análisis de dinámicas de cambio.
- Incluir estimaciones de productos de madera recolectada y emisiones asociadas a incendios en tierras forestales.

1.6.9. Anexo 7. Comparativa de emisiones de los distritos del proyecto

La siguiente tabla presenta el comparativo distrital (tCO₂e) en términos de las emisiones brutas resultantes en cada uno de los distritos de estudio diferenciado por sector:

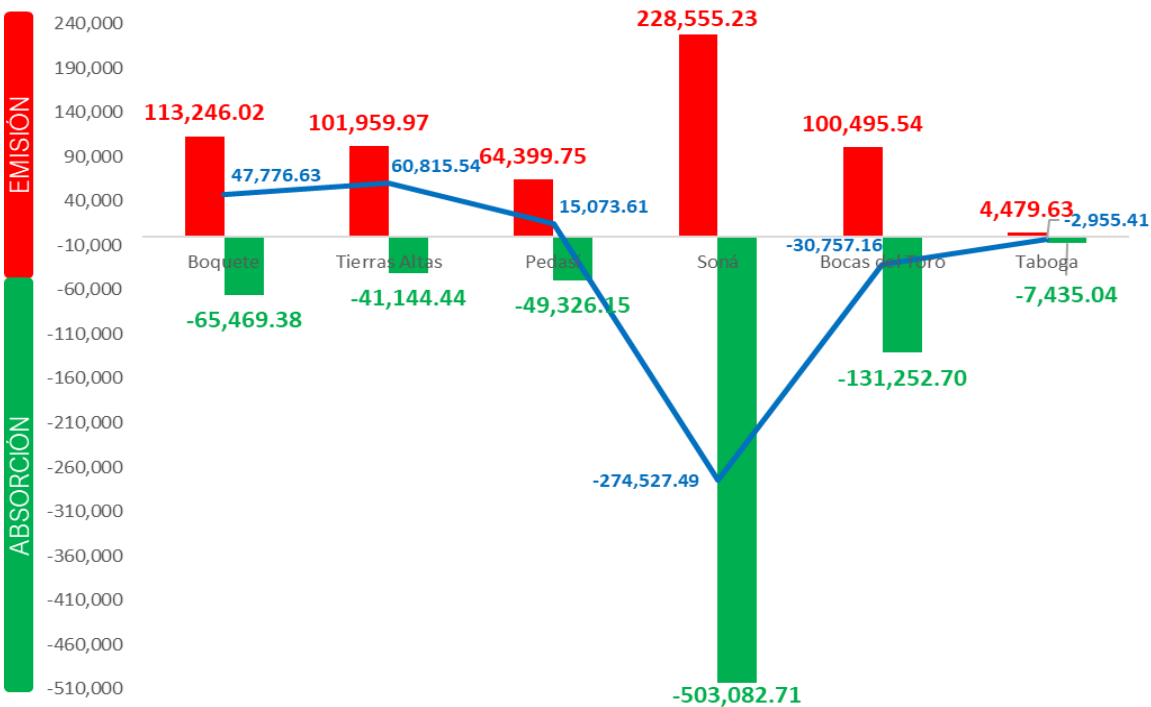
Distrito	Energía Estacionaria	Transporte	Residuos	Agricultura y Ganadería	UTCUTS (Emisión)	UTCUTS (Absorción)
Boquete	40,765.94	40,276.64	7,157.59	16,963.66	8,082.19	-65,469.38
Tierras Altas	38,717.64	37,443.08	6,374.50	16,716.25	2,708.50	-41,144.44
Pedasí	8,859.73	13,936.54	3,809.28	35,062.86	2,731.34	-49,326.15
Soná	48,711.59	31,839.48	10,968.64	98,844.31	38,191.21	-503,082.71
Bocas del Toro	38,218.48	43,743.38	7,699.43	7,141.61	3,692.64	-131,252.70
Taboga	2,535.59	483.66	1,456.61	0.00	3.77	-7,435.04

En ese sentido, se obtiene la totalidad de emisiones a la cual se le deduce la captura de carbono correspondiente al sector UTCUTS de cada distrito, obteniendo el comparativo (tCO₂e) en términos de emisiones netas:

Distrito	Emisiones Totales	Absorciones Totales	Total tCO ₂ e
Boquete	113,246.02	-65,469.38	47,776.63
Tierras Altas	101,959.97	-41,144.44	60,815.54
Pedasí	64,399.75	-49,326.15	15,073.61
Soná	228,555.23	-503,082.71	-274,527.49
Bocas del Toro	100,495.54	-131,252.70	-30,757.16
Taboga	4,479.63	-7,435.04	-2,955.41

88

La representación gráfica de esta comparativa se resume en la siguiente gráfica:



1.6.10. Anexo 8. Talleres y reuniones (listas de asistencia, fotografías y reporte)

El trabajo participativo es relevante para la construcción de diferentes perspectivas que permitan la integración de ideas previo a la toma de decisiones.

En ese sentido, para la construcción de la Hoja de Ruta de Mitigación de Emisiones de GEI, el proceso participativo se realizó de la siguiente manera:

Taller de lanzamiento en el distrito de Taboga 22 de octubre 2022

Objetivo: Identificar los riesgos, necesidades y potencialidad del Taboga.

Actividades: 1) Insumos por cada distrito sobre fuentes de emisión de GEI de acuerdo con las categorías del GPC; 2) Identificar el lugar dentro de los límites administrativos donde se llevan a cabo las emisiones.

Participantes: MIVIOT, MIAMBIENTE, ATP, Representantes de corregimientos, Junta de Planificación Municipal (JPM), Consejeros Municipales (CM), empresarios, inversionistas, gremios profesionales, asociaciones civiles, academia, organizaciones ambientales y ciudadanos.

Resultados obtenidos: Identificación de las principales fuentes de emisión y problemáticas del distrito, así como insumos para la generación de las medidas de mitigación.

Taller de priorización de Soná (16 de febrero)

Objetivo: Realizar un proceso informativo para dar a conocer los resultados del ejercicio de Inventario Distrital de Gases de Efecto Invernadero 2021.

Llevar a cabo un proceso participativo de priorización de las medidas de mitigación que conforman la Hoja de Ruta de Mitigación del GEI del distrito.

Actividades: 1) Presentación de la acción climática estatal 2) Presentación de sobre el Inventario Distrital de Emisiones de GEI: proceso y metodología y resultados preliminares Priorización de medidas de mitigación 3) Priorización de medidas de mitigación de GEI.

Participantes:

Soná: 19 participantes

Resultados obtenidos: Reconocimiento de las principales problemáticas en cada uno de los distritos y resultados de la priorización de las medidas (encuesta y taller) para su integración a la Hoja de Ruta de Mitigación. Listado de medidas de mitigación priorizadas y cuantificadas.

Taller Ciudad de Panamá (10 de marzo 2023)

Objetivo: Presentar el proceso general de desarrollo de las hojas de ruta de los distritos del proyecto, Obtener retroalimentación sobre elementos de diseño y técnicos en estos documentos.

Actividades: 1) Presentación de la Acción climática en una gobernanza distrital: Ciencia del cambio climático, Acción global y local, Acción nacional y distrital, 2) Presentación de Hoja de Ruta de mitigación: Proceso de elaboración, Inventarios distritales 2021, BAU distritales 2021, Recomendaciones y puesta en acción, 3) Priorización y retroalimentación de medias

Participantes: 34 participantes

Resultados obtenidos: Obtención de comentarios a las Hojas de Ruta y validación de medidas de mitigación de GEI de cada distrito. Alineación de marcos y elementos técnicos.

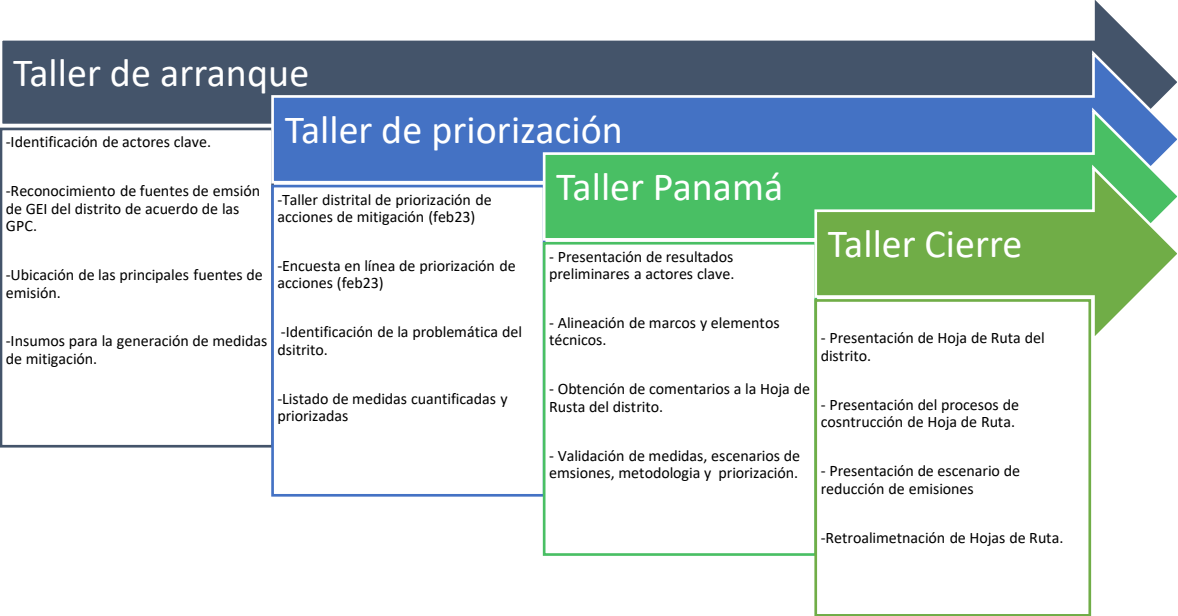
Taller de cierre

Objetivo: Presentar el proceso de elaboración de la hoja de ruta de mitigación, diagnóstico de inventarios distrital de emisiones de GEI y escenario tendencial de emisiones (2021-2050) y retroalimentación a los sectores relevantes.

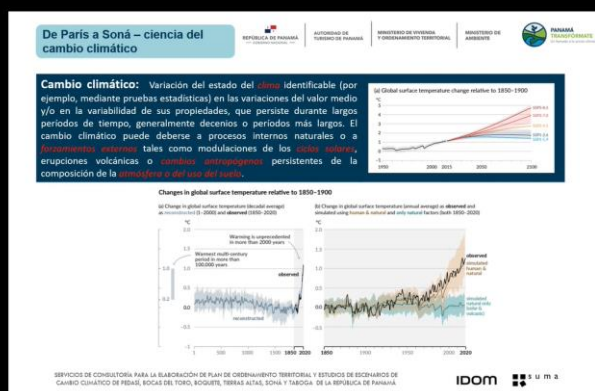
Fecha: Soná: 30 de marzo

Resultados obtenidos: Retroalimentación de las Hojas de Ruta del distrito previo a su entrega.

El proceso participativo se definió en cuatro fases, un primer taller de arranque para identificar las principales fuentes de emisión, un segundo taller de priorización de medidas, seguido de un taller para identificar insumos para las Hojas de Rutas en Panamá y un cuarto taller de cierre de presentación del proceso de elaboración de la Hoja de Ruta de Panamá.



Memoria fotográfica del distrito de Soná





1.6.11. Anexo 9. Evaluación de la incertidumbre en inventarios

El análisis de la incertidumbre es un componente de la caracterización de riesgos, el cual proporciona una estimación cuantitativa del margen de valores de un resultado, además es un elemento esencial de un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero.

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, la estimación de la incertidumbre tiene como finalidad coadyuvar a la priorización de los esfuerzos por mejorar la exactitud de futuros inventarios, orientar las decisiones sobre la elección de las metodologías de cálculo y constituye un elemento esencial para un inventario exhaustivo.

En ese sentido, se realizó una evaluación general de la incertidumbre con base en los criterios considerados en la realización del Informe de Inventario Nacional 2020 de la República de Panamá, el cual se aplica mediante el Método 1 de Propagación del Error, el cual es útil en la estimación de la incertidumbre de categorías individuales, principalmente para los datos de actividad y factores de emisión utilizados en todo el inventario.

1.6.11.1. Incertidumbre del Sector Energía Estacionaria

Para la estimación de las incertidumbres del sector se aplicaron los valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006 para los datos de actividad y para los factores de emisión.

No. de referencia del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	GEI	Incertidumbre de los datos de actividad (± %)	Incertidumbre de los factores de emisión (± %)	Incertidumbre combinada (± %)
I	ENERGÍA ESTACIONARIA				
I.3	Industrias manufactureras y de la construcción	CO ₂	11.40%	1.60%	11.50%
		CH ₄	12.00%	119.60%	120.20%
		N ₂ O	12.20%	190.00%	190.40%

93

1.6.11.2. Incertidumbre del Sector Transporte

Para la estimación de las incertidumbres del sector se aplicaron los valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006 para los datos de actividad y para los factores de emisión.

No. de referencia del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	GEI	Incertidumbre de los datos de actividad (± %)	Incertidumbre de los factores de emisión (± %)	Incertidumbre combinada (± %)
II	TRANSPORTE				
II.1	Transporte carretero	CO ₂	3.50%	2.90%	4.60%
		CH ₄	4.60%	213.20%	213.30%
		N ₂ O	3.50%	160.80%	160.90%
II.3	Navegación marítima	CO ₂	50.00%	1.50%	50.00%
		CH ₄	50.00%	50.00%	70.70%
		N ₂ O	50.00%	140.00%	148.70%
II.4	Aviación	CO ₂	4.50%	3.60%	5.80%
		CH ₄	4.50%	90.40%	90.50%
		N ₂ O	4.50%	135.60%	135.60%

1.6.11.3. Incertidumbre del Sector Residuos

Para la estimación de las incertidumbres del sector se aplicaron los valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006 para los datos de actividad y para los factores de emisión.

No. de referencia del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	GEI	Incetidumbre de los datos de actividad (± %)	Incetidumbre de los factores de emisión (± %)	Incetidumbre combinada (± %)
III	RESIDUOS				
III.1	Disposición de residuos sólidos	CH ₄	0.00%	63.40%	63.40%
III.4	Tratamiento y vertido de aguas residuales	CH ₄	35.00%	42.70%	55.20%
		N ₂ O	35.00%	20.00%	40.30%

1.6.11.4. Incertidumbre del Sector Agricultura y Ganadería

Para la estimación de las incertidumbres del sector se aplicaron los valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006 para los datos de actividad y para los factores de emisión.

No. de referencia del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	GEI	Incetidumbre de los datos de actividad (± %)	Incetidumbre de los factores de emisión (± %)	Incetidumbre combinada (± %)
III	AGRICULTURA Y GANADERÍA				
V.1	Fermentación entérica	CH ₄	6.00%	30.00%	30.60%
		CH ₄	6.00%	30.00%	30.60%
		CH ₄	20.00%	30.00%	36.10%
		CH ₄	13.00%	30.00%	32.70%
		CH ₄	20.00%	30.00%	36.10%
	Gestión de estiércol	CH ₄	6.00%	30.00%	30.60%
		N ₂ O	57.10%	75.00%	94.30%
		CH ₄	6.00%	30.00%	30.60%
		CH ₄	20.00%	30.00%	36.10%
		N ₂ O	66.50%	75.00%	100.20%
		CH ₄	13.00%	30.00%	32.70%
		N ₂ O	60.80%	75.00%	96.50%
		CH ₄	13.80%	30.00%	33.00%
		N ₂ O	64.60%	75.00%	99.00%
		N ₂ O	349.00%	240.00%	423.50%
		N ₂ O	84.80%	240.00%	254.60%
V.3	Cultivo de arroz	CH ₄	10.00%	60.50%	61.30%
		CH ₄	10.00%	63.20%	64.00%
	Suelos agrícolas	N ₂ O	50.00%	134.30%	143.30%
		N ₂ O	92.60%	135.00%	163.70%
		N ₂ O	61.60%	132.60%	146.20%
		N ₂ O	132.10%	240.00%	273.90%
		N ₂ O	132.50%	163.30%	210.30%
	Aplicación de urea	CO ₂	25.00%	30.00%	39.10%

1.6.11.5. Incertidumbre del Sector UTCUTS

Para la estimación de las incertidumbres del sector se aplicaron los valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006 para los datos de actividad y para los factores de emisión.

No. de referencia del GPC	Fuente de emisión de GEI (por Sector y Sub-sector)	GEI	Incertidumbre de los datos de actividad (± %)	Incertidumbre de los factores de emisión (± %)	Incertidumbre combinada (± %)
III	AGRICULTURA Y GANADERÍA				
V.2	Emisiones producidas por el uso del suelo	CO ₂	-	16.90%	16.90%
		CH ₄	-	27.00%	27.00%
		N ₂ O	-	23.50%	23.50%
		CO ₂	-	49.80%	49.80%
		CO ₂	-	34.60%	34.60%
		CH ₄	-	53.10%	53.10%
		N ₂ O	-	45.90%	45.90%
		CH ₄	-	26.80%	26.80%
		N ₂ O	-	27.20%	27.20%
		CO ₂	-	15.60%	15.60%
		CH ₄	-	54.40%	54.40%
		N ₂ O	-	53.10%	53.10%

4.2.

**Evaluación de la vulnerabilidad,
riesgo y adaptación al cambio
climático**

2. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD, RIESGO Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

2.1. Introducción

Los impactos del cambio climático en las ciudades son cada vez más evidentes. Un aumento esperado en número e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos incrementará las pérdidas económicas y humanas, reducirá la disponibilidad de agua y la capacidad de producción, amenazará las zonas costeras y colindantes a cuerpos de agua, y generará impactos sociales negativos significativos, entre otros.

97

Si bien, Panamá no ha sido objeto de incidencia directa de múltiples ciclones tropicales, debido a su ubicación latitudinal y relativamente baja temperatura superficial del mar¹² No obstante, la cercanía con el cinturón de huracanes de América, y las características geofísicas y climáticas del país han hecho que se considere altamente vulnerable a eventos hidrometeorológicos extremos teniendo como amenazas principales la elevación del nivel del mar, inundaciones, sequías y deslizamientos. De hecho, de acuerdo con los resultados de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático en Panamá, entre las zonas de mayor vulnerabilidad frente al aumento del nivel del mar y riesgo por inundaciones se encuentran las costas de la provincia de Los Santos, destacando Punta Mala y la región de Arco Seco en el lado del Pacífico (PNUD, 2018) (IH Cantabria, s.f).

El objeto del presente capítulo es realizar una evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático y riesgo de desastre para el Distrito de Soná. Los objetivos prioritarios de este análisis son: 1. Análisis de riesgo y propuesta de medidas de adaptación que afecten a cualquiera de las componentes que lo forman, peligrosidad, exposición o vulnerabilidad de forma que se reduzca o se elimine en la medida de lo

¹² De acuerdo con registros históricos, solo el huracán Martha (noviembre de 1969) atravesó el país, aunque existe registro de las afectaciones por tsunamis que han impactado tanto la zona del Caribe como del Pacífico (IH Cantabria, s.f).

posible. 2. Establecer una zonificación de amenazas que sea un limitante al desarrollo urbano de forma que no se generen nuevas áreas de riesgo.

2.1.1. Metodología

En esta sección se describe la metodología propuesta para el cálculo del riesgo frente a las amenazas identificadas (ver siguiente sección) en la zona de estudio. Mostrando del marco conceptual para el cálculo del riesgo, incluidos sus componentes:

Cálculo de la Amenaza

Este análisis debe identificar las causas de la vulnerabilidad asociadas con las amenazas priorizadas y relacionadas con la infraestructura, o con causas institucionales, sociales o económicas.

Se realiza un análisis probabilístico de las amenazas cuyas variables permiten ser ajustadas estadísticamente para determinar la probabilidad de ocurrencia de éstas. Se realizarán mapas que ilustren la localización de la amenaza relacionada con su frecuencia.

En aquellas amenazas donde no se puede determinar la frecuencia de ocurrencia de sus desencadenantes se realizará un análisis de la susceptibilidad desarrollándose mapas donde se identifique la zonificación en función de su grado de susceptibilidad relativo (alto, medio y bajo).

Análisis de los elementos expuestos

Se desarrolla un inventario de infraestructura crítica y áreas residenciales y comerciales que pueden estar afectadas por las amenazas. Se utilizará la información sobre infraestructura de salud, suministro de agua potable, saneamiento, drenajes, suministro eléctrico, recolección de residuos sólidos, viviendas y vías, así como de zonas residenciales, teniendo en cuenta las tipologías constructivas y estructurales predominantes en cada zona.

Estimación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la predisposición de un sistema, elemento, componente, grupo humano o cualquier grupo biológico o no, a sufrir afectación ante la acción de una situación de amenaza específica. Se analizará de qué forma la amenaza estudiada impacta en los elementos expuestos.

Cálculo del riesgo

Basados en la información sobre las amenazas, valores de exposición y funciones de vulnerabilidad, se desarrolla un análisis de riesgo probabilístico cuantitativo en términos de pérdidas físicas y humanas. Este cálculo incluye las pérdidas máximas probables y las pérdidas anuales esperadas de las amenazas priorizadas.

El proceso de valoración o estimación de riesgos que se describe a continuación se basa en criterios propios del equipo técnico de IDOM, los cuales a su vez se apoyan principalmente en la metodologías de trabajo desarrolladas en el documento “Multihazard risk assessment”, versión 2011, de la Universidad de Naciones Unidas y el instituto holandés ITC School on Disaster Geoinformation Management de la Universidad de Twente, y el sexto informe de evaluación del IPCC (Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change), así como en el desarrollo metodológico propuesto en la plataforma CAPRA.

El análisis de riesgo (natural) es el proceso sistemático para comprender la naturaleza del riesgo y deducir diversas consecuencias desastrosas, de tal forma que constituye la base sobre la que planificar las políticas de gestión (emergencia, prevención, mitigación, etc.).

Brevemente se puede comentar que la base de la evaluación de las amenazas suele ser un registro de fenómenos y desastres naturales, tal como se ha intentado recopilar en esta ocasión.

Cuantitativamente la amenaza se puede definir como $P(mi)$, equivalente a la frecuencia o probabilidad de ocurrencia de un evento (i), expresado como $\%/año$, de una magnitud (mi), definida por parámetros como profundidad, velocidad, volumen, energía, etc.

En cuanto a la vulnerabilidad, ésta determina el nivel de exposición y predisposición de daños y pérdidas ante una amenaza específica. Consiste en la identificación y evaluación de los elementos vulnerables y la estimación del porcentaje de pérdidas resultantes de una amenaza o fenómeno peligroso. Se puede identificar como $V(mi)$ o porcentaje del valor monetario expuesto, en moneda (w), que se perdería ante el impacto de un evento i de magnitud m .

Finalmente, el cálculo del riesgo consiste en estimar las pérdidas probables para los diferentes eventos peligrosos posibles, mediante un proceso de relación entre amenazas identificadas y vulnerabilidades estimadas con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales. En este caso se está incorporando el valor monetario de los daños sufridos por el elemento o sistema, es decir, grupo de elementos, objeto de análisis. Si el valor del sistema se define como W (\$), la expresión matemática del riesgo que venimos desarrollando se plasmaría de la siguiente forma:

$$Ri = P(mi) \times V(mi) \times W \text{ medido en } \$/año$$

Donde,

Ri: Riesgo;

$P(mi)$: Probabilidad de Ocurrencia;

$V(mi)$: Vulnerabilidad; y

W: Valor Actual del Bien

En cuanto a la expresión matemática de riesgo, la bibliografía igualmente presenta diversidad de ecuaciones cada una con ligeros matices diferenciales, entre las que se podrían incluir, a título de ejemplo, las incluidas en la “Guía de evaluación de riesgos naturales” de la Universidad de Naciones Unidas-ITC:

Cualitativa:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} / \text{Capacidad o resiliencia}$$

Añadiendo de esta forma la capacidad del sistema o sociedad para sobreponerse a las posibles consecuencias desastrosas, y

Cuantitativa:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Nº Elementos en riesgo (o expuestos)}$$

Esta guía presenta la siguiente expresión matemática para el riesgo específico (Rs):

$$Rs = PT \times PL \times V \times A$$

Donde,

PT: Probabilidad temporal (p.e. anual) de ocurrencia de un escenario de peligro específico (HS) con un periodo de retorno concreto;

PL: Probabilidad espacial de ocurrencia de un escenario de peligro específico con un periodo de retorno concreto en un área dentro de la que se encuentren los elementos expuestos;

V: Vulnerabilidad física, definida como el grado de daño sufrido por los elementos expuestos, considerando la intensidad local causada por la ocurrencia de un peligro específico HS; y

A: Coincide con el número de elementos de un tipo específico en riesgo o expuestos.

Respecto a este último parámetro, la guía destaca la importancia de entender que la cantidad o número se puede definir de diversas maneras, que a su vez repercuten en la expresión cuantitativa del riesgo. Por ejemplo, la cantidad se puede dar en números, tal como el número de edificios (que pueden sufrir un daño), personas (heridas, fallecidas o afectadas), tramos de tubería rotos por kilómetro, etc. Igualmente, y coincidiendo con la primera definición citada del riesgo, los elementos en riesgo o expuestos se pueden cuantificar como valor monetario, siendo esta la alternativa elegida en el presente documento de acuerdo con el enfoque histórico aplicado en estos proyectos.

La consideración del riesgo específico es importante como concepto elemental y parcial del cálculo probabilístico para un periodo de recurrencia e intensidad de la amenaza concretos. Sin embargo, de acuerdo con la metodología de trabajo elegida para este tipo de estudio igualmente en este caso se trabajará en términos de riesgo global o completo, realizando la interpolación e integración matemáticas de los resultados parciales obtenidos para cada cálculo específico dado que mediante estas operaciones se obtiene el riesgo probabilístico.

2.2. Selección de amenazas

Para la selección de las amenazas a estudiar se partió de los hallazgos del primer (01) taller “evento de lanzamiento”, que conforman el proceso participativo de la elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial del distrito de Soná, el martes 19 de octubre de 2022 de 9.30 a.m. a 1:20 p.m. en el Centro Regional Universitario de Veraguas extensión Soná. Tuvo como objetivo principal dar a conocer el proceso de consultoría y elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático, presentando así a los coordinadores del proyecto, al consorcio y a los especialistas técnicos. Adicionalmente, se aprovechó la ocasión para crear un primer acercamiento con los representantes de la sociedad civil, sector público y sector privado con quienes se realizaron unas mesas de trabajo para identificar fenómenos, riesgos y oportunidades en los temas sociales, económicos, ambientales, cambio climático, infraestructura, equipamiento y turísticos.

De forma general podemos observar que los hallazgos se distribuyen de tal manera que se reconocieron más premisas positivas (56%) que negativas (44%). Donde las Fortalezas 28%, Oportunidades 28%, Debilidades 30% y Amenazas 14%.

El taller contribuyó en la elaboración de un análisis territorial integrado, el cual permitió perfilar el modelo de desarrollo distrital y su estructura geofísica-territorial. Los resultados del taller contribuyeron a la elaboración de un diagnóstico integrado y un análisis territorial actualizado, pero especialmente para el tema de riesgos nos ayudó a identificar no solo la preocupación de las personas al respecto, sino identificar la percepción del riesgo en el territorio y del tipo de fenómenos hidrometeorológicos asociados al cambio climático que se están magnificando con el paso de los años (ilustración siguiente).

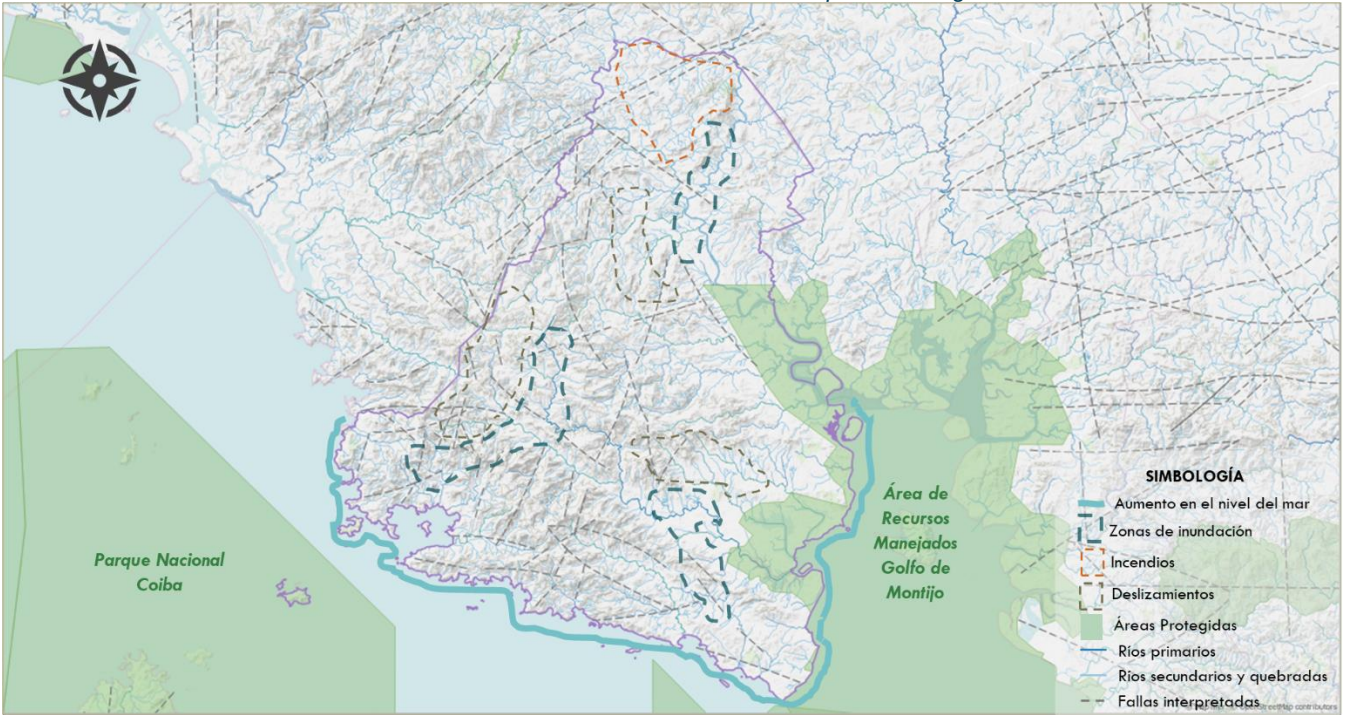
Ilustración 1. Mesa de medio ambiente y cambio climático



Fuente: Capturada por el consorcio, 2022

Así mismo encontramos que las fortalezas identifican la presencia de manglares, ríos caudalosos y APs; proyectos de restauración hidrológica, Sistema de Alerta Temprana y zona de riesgos con monitoreo y, sinergia entre Gobierno, Sociedad Civil, Protección Civil. Se señaló que hay grupos ambientalistas organizados en la comunidad y como parte de las oportunidades mencionaron el desarrollo de Estudios base de biodiversidad marino-costera para monitoreo y conservación, mayor educación y capacitación en área de ambiente y sus normas. También en el distrito de Soná se identifican debilidades relacionadas con la falta personal para supervisión de bosques (Guardaparques) y análisis de resiliencia territorial y estudios de prevención, además de falta de agua potable en áreas rurales, falta de servicios públicos, deficiente manejo de desechos. Entre sus principales amenazas señalan la presencia de riesgos hidrometeorológicos y cambio climático principalmente en ríos hasta Inundaciones (1968,1986)- hubo desplazamiento de personas a nuevas barriadas-, además de contaminación de fuentes hídricas, la tala de bosques, enfermedades por el mal uso de agroquímicos, entre otros.

Ilustración 2. Principales hallazgos del taller 1 en el Distrito de Soná



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022 con la participación de Taller 1 Evento de Lanzamiento de los POTs.

Posteriormente, se convocó a una reunión institucional con la Dirección de Cambio Climático de MiAmbiente con el objetivo de presentar la metodología y alcance de lo que se logrará en temas de Cambio Climático para componente de mitigación y adaptación en cada distrito; se presentan los temas de alcances metodológicos y se plantea que se indiquen tres amenazas naturales para cada uno de los distritos. Se solicita que en cuestión de riesgos sea solo asociados a cambio climático, por lo que es necesario separar terremotos y vulcanismo.

Posteriormente, se hizo una agrupación de distritos con similitudes territoriales y se presentaron los riesgos de cada uno: Boquete-Tierras Altas; Pedasí-Soná; Taboga-Bocas del Toro. En el caso del Distrito de Soná, se identificaron tres amenazas más importantes relacionadas a los efectos hidrometeorológicos del cambio climático, estas son¹³:



1. Aumento del nivel del mar



2. Inundaciones



3. Incendios de masa vegetal

¹³ Se acuerda que se tomará esa referencia el estudio de IHCantabria relacionado con los riesgos de ascenso del nivel del mar aunque sea a escala nacional.

2.2.1. Gestión y seguimiento con actores clave

Posteriormente, a la definición de la amenaza se desarrollaron reuniones sistemáticas para dar a conocer el avance del análisis de riesgos para cada distrito y a su vez obtener retroalimentación por parte de MiAmbiente, en específico el equipo de adaptación de la Dirección de Cambio Climático, así como con actores clave como el SINAPROC para ajustar los modelos obtenidos de los análisis preliminares. El calendario de reuniones se presenta a continuación (tabla siguiente).

Tabla 34. Agenda de reuniones de seguimiento

REUNIÓN	FECHA
REUNIÓN 1. Análisis y selección de las amenazas	26/10/2022
REUNIÓN 2. Resultados preliminares a partir del Análisis territorial y solicitud de información (Segundo Informe)	16/12/2022
REUNIÓN 3. Presentación de Modelos preliminares (MDE 5 m), solicitud de información y retroalimentación de informes	19/01/2023
REUNION 4. Presentación de modelos actualizados con mayor resolución (MDE 1 m) y resultados preliminares de información recibida	27/02/2023
REUNION 5. Presentación y validación del modelo a SINAPROC regional	02/03/2023
REUNION 6. Presentación del Cuarto Informe. Cambio Climático y Gestión de Riesgos de Desastre	24/03/2023
Taller 4 de Propuestas de Zonificación con la participación de actores de MiAmbiente, SINAPROC	30/03/2023

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022

Algunos actores clave presentes en las distintas reuniones de seguimiento son:

Actores clave representos
Dirección de Cambio Climático de MiAmbiente
SINAPROC Región Veraguas
MiAmbiente Región Veraguas
Junta de Planificación

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023

Durante las sesiones de trabajo se presentaban los temas por riesgos asociados con el distrito; algunos resultados de las reuniones técnicas, por ejemplo de inundación son:

- Se caracterizo la amenaza con el modelo hidrológico calculando los caudales en el río San Pablo, Cobre y Tríbique, los más cercanos a Soná.
- Se diseño de tormenta, mayores caudales, entrada de ríos caudales de salida de diferentes ríos para períodos de retorno de 2,10,25,50,100 años con escenarios de CC.
- Los modelos son calibrados y contrastados con información local y aporte del SINAPROC local para indicar el ajuste del modelo, fue confirmado por ellos y evidencia tomada de la plataforma DesInventar para que represente lo más posible a la situación real.
- Hay inundaciones fuertes entre 2-10 años, por lo que el río Tríbique y el río San Pablo se desbordan. En 100 años el agua se adentra más a la ciudad, las profundidad de inundación son mucho mayores y hacen daños con periodos de retorno más altos
- Es importante llevar a cabo la planificación del territorio. Distribuir el tiempo con la avenida de probabilidad y su daño, la porción oriental y suroriental de la ciudad son las más afectadas.
- Se adquirieron imágenes satelitales para aterrizar el modelo con levantamiento topográfico.

- Son modelos interesantes y realistas para que la ciudadanía entienda la propuesta. En general la mayoría de las personas salvo ambientales o CC no lo tienen presente.

En relación con el seguimiento de las amenazas para Soná, MiAmbiente proporcionó el estudio en proceso de elaboración llamado *“Desarrollo de una base de datos de dinámicas marinas en las costas panameñas, para evaluar impactos y vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar”* a escala nacional por parte de IH Cantabria¹⁴, en específico las partes correspondientes son:

- 09/11/2022. Entregable 3.1.b “Revisión y mapeo de las condiciones del clima en la costa, considerando los eventos extremos MET-Oceánicos Históricos” (Tarea 3: desarrollo de datos numéricos de las dinámicas marinas a alta resolución)¹⁵.
- 03/01/2023. Entregable 3.3 “Evolución Temporal de la Línea de costa en Panamá” (Tarea 3: Desarrollo de datos numéricos de las dinámicas marinas a alta resolución).

¹⁴ Se acuerda que se tomará esa referencia el estudio de IHCantabria relacionado con los riesgos de ascenso del nivel del mar aunque sea a escala nacional.

¹⁵ En este documento se presenta a escala nacional: la revisión bibliográfica sobre las condiciones del clima marítimo en Panamá; una recopilación de las bases de datos históricos disponibles relacionadas con las variables de peligrosidad y exposición de las costas; la presentación de los modelos climáticos globales/regionales y escenarios de cambio climático; Estudio histórico de las condiciones extremas de las variables MET-Oceánicas en las costas de Panamá

2.3. Aumento en el nivel del mar

2.3.1. Introducción

Esta sección es producto de los resultados encontrados en el estudio “**Desarrollo de una base de datos de dinámicas marinas en las costas panameñas para evaluar impactos y vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar**”, se presenta información del mismo estudio que pone en contexto los resultados en la región de Veraguas. En agosto de 2021, Naciones Unidas publicó, a través del Centro y Red de Tecnología del Clima (CTCN, por sus siglas en inglés) solicitó esta asistencia técnica, que fue **desarrollada por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria** (IHCantabria, España), **en colaboración con el Ministerio de Ambiente de Panamá**. El objetivo general de este proyecto es fomentar el aumento de la resiliencia presente y futura de las zonas costeras de Panamá frente a eventos extremos y al cambio climático (concretamente, al aumento del nivel medio del mar), mediante la generación de bases de datos de las dinámicas marinas de oleaje y nivel del mar, con cobertura nacional sobre todas las regiones costeras de Panamá.

La inundación costera es el resultado de la interacción de un conjunto de procesos geológicos e hidrodinámicos, con un cierto grado de interrelación entre ellos, a los que hay que agregar la intervención humana. El clima es un factor determinante en estas interrelaciones y, por tanto, obtener proyecciones fiables sobre la inundación futura es una de las bases esenciales para planificar la adaptación de la costa a los efectos derivados del cambio climático, reduciendo sus riesgos y aprovechando sus oportunidades. En este sentido, Panamá se considera un país especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático y, más concretamente, al aumento del nivel medio del mar. Esto se debe, principalmente, a la gran extensión de su costa, a la baja topografía de ésta, al alto grado de asentamientos humanos en la zona costera y al elevado índice de pobreza de esta población. Además, de acuerdo con la herramienta de DesInventar Senai de la UNDRR (United Nations office for Disaster Risk Reduction), las inundaciones se consideran el principal desastre en Panamá. Aunque éstas se deben, en la mayoría de los casos, a los efectos directos e indirectos derivados de las lluvias intensas, los fuertes oleajes y las mareas altas se consideran importantes amenazas.

2.3.2. Metodología

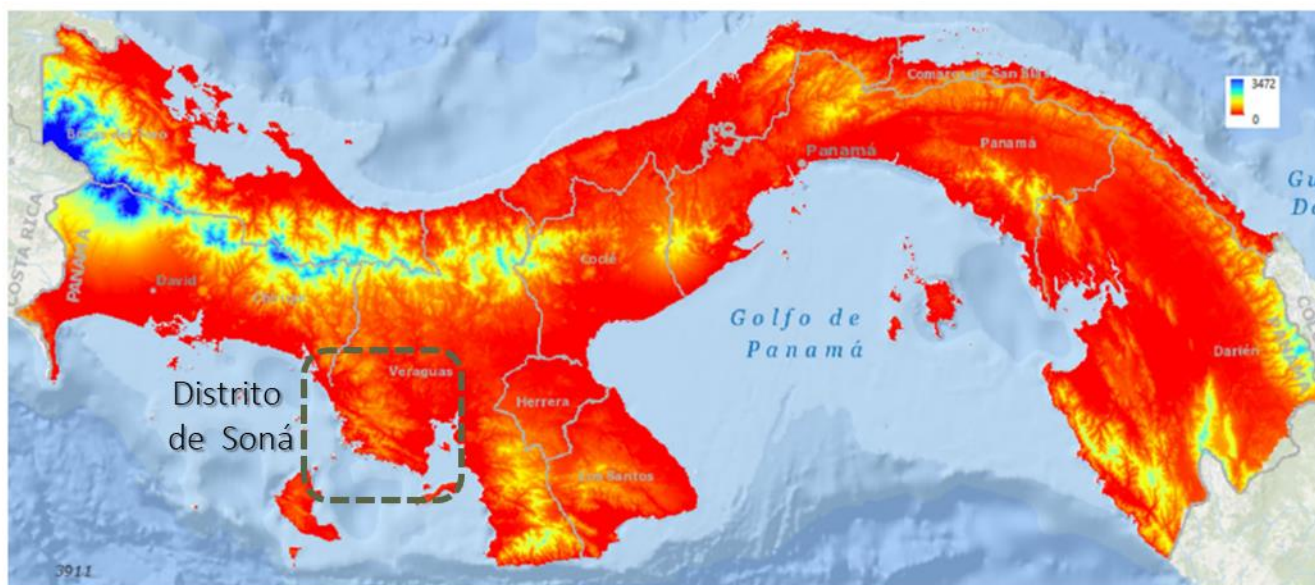
Para el modelado del impacto de inundación costera es necesario, por un lado, definir el conjunto de posibles eventos susceptibles de generar inundación y, por el otro, calcular el alcance de la inundación asociada.

El primero de estos factores constituye la peligrosidad, que se combina con la exposición para poder estimar la extensión de la inundación en tierra y, por consiguiente, el impacto de esta. La peligrosidad se obtiene a partir de los datos de las dinámicas marinas, mediante un índice denominado **nivel de agua total (NAT o TWL, de sus siglas en inglés Total Water Level)**.

La exposición, por su parte, viene definida por el Modelo Digital del Terreno (MDT). Tal y como se explica más adelante, la inundación puede clasificarse como permanente o temporal, debido al aumento en el nivel medio del mar y a condiciones extremas de las dinámicas marinas, respectivamente. De la misma manera, se definen dos tipos de NAT: permanente y asociado a eventos extremos. Además, los niveles de agua total asociados a condiciones extremas de oleaje y nivel del mar se van a analizar para el clima presente y para un horizonte futuro teniendo en cuenta las proyecciones de aumento en el nivel medio del mar. Por tanto, en este estudio se definieron 52 situaciones susceptibles de causar inundación a nivel país.

Los escenarios climáticos y el MDT con una resolución horizontal de 5 m constituyen los datos de entrada del modelo de inundación. Como resultados de este modelo se obtienen los mapas con la extensión de la inundación y la cota de la lámina de agua a nivel nacional para cada uno de los casos analizados (es decir, 52). Además, se extrajo la envolvente de la extensión de la inundación, que delimita la línea de costa asociada a cada situación analizada.

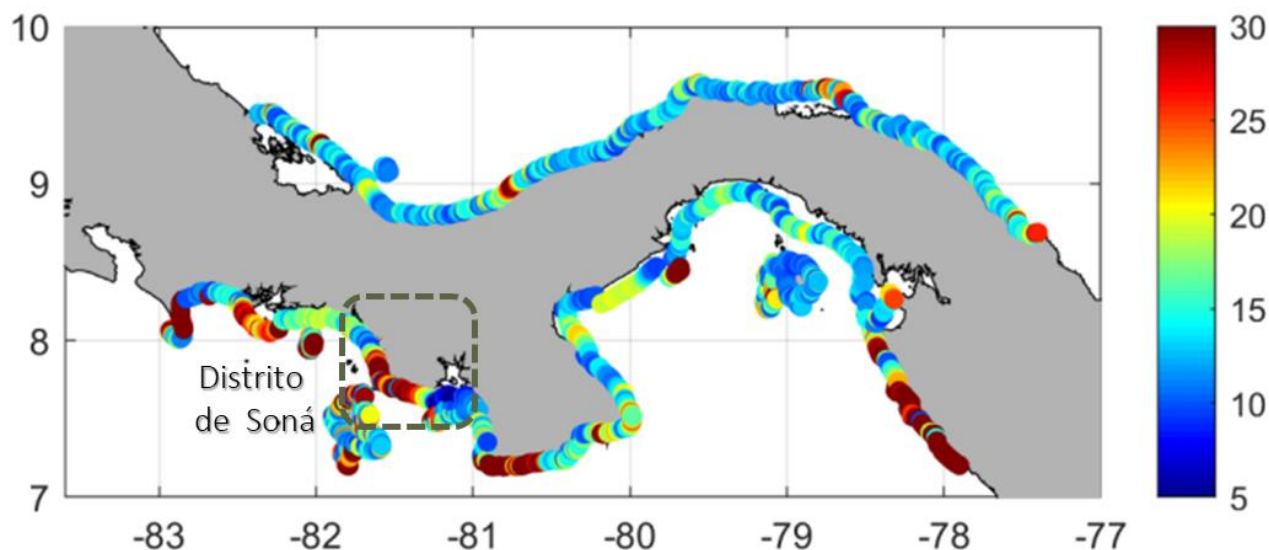
Ilustración 3. Modelo Digital de Terreno (MDT) de Panamá facilitado por el IGNTG, y utilizado para el modelado de la inundación costera.



El análisis del impacto de inundación costera se ha llevado a cabo utilizando como información de partida las condiciones de oleaje y nivel del mar en 1,454 puntos localizados a lo largo del litoral panameño (ilustración siguiente). Estos puntos tienen una resolución espacial aproximada de 2 km y cubren ambas costas, además de las principales islas del país. Tienen una profundidad entre 10-20 m, en su mayoría. Es importante destacar que, en zonas con una plataforma continental con una pendiente muy abrupta o con poca resolución batimétrica, estos puntos presentan profundidades más altas, como es el caso de la región litoral pacífica limítrofe con Colombia o la zona de Limones, en la costa Pacífico occidental.

Se seleccionaron puntos a estas profundidades a fin de caracterizar las condiciones próximas a costa, donde el oleaje ha experimentado los procesos de asomeramiento y refracción sin haber llegado a romper. Estas condiciones del oleaje son un requisito a la hora de calcular la contribución del oleaje al NAT (Stockdon et al., 2006). En estos puntos se han extraído las series temporales de oleaje y nivel del mar generadas. Además, se ha utilizado la información regional de los valores de **incremento del nivel medio del mar (ANMM)** procedente del Sexto Informe del IPCC, el AR6 (Fox-Kemper et al., 2021). La resolución de esta base de datos de ANMM es de 1°x1° (IHCantabria, 2023).

Ilustración 4. Profundidad (en metros) de los puntos costeros a partir de los cuales se ha analizado la evolución de la línea de costa en Panamá.



Fuente: Elaborado (IHCantabria, 2023).

La inundación costera ocurre debido a la interacción de varios factores, tras los cuales el nivel de las aguas vuelve a su situación habitual. Sin embargo, la subida del nivel medio del mar implica la inundación permanente de terrenos. Debido a esta doble dimensión del problema, el impacto de inundación se va a estudiar considerando la inundación permanente, debida al aumento del nivel medio del mar, y la inundación potencial a causa de eventos extremos (Toimil *et al.*, 2017). La inundación costera depende del oleaje, la marea meteorológica (MM) y la marea astronómica (MA). Estas variables se combinan en el índice NAT. El NAT futuro incorpora, además, el ANMM. La contribución del oleaje al NAT puede adoptar la forma de set-up, set-up más swash infragravitatorio o run-up¹⁶.

107

Se calculó el nivel de agua total (NAT) permanente y el asociado a eventos extremos, tanto para el periodo histórico (o clima presente) como para el año horizonte 2050. Para este último caso, se ha considerado el ANMM bajo dos escenarios climáticos, dos niveles de confianza y tres percentiles del ensemble multimodelo. Esto conlleva un total de 52 casos de NAT analizados. De estos, 13 corresponden a NAT permanente (es decir, debido al efecto combinado de las mareas y del aumento en el nivel medio del mar) y 39, a NAT asociado a eventos extremos de las dinámicas marinas de oleaje y nivel del mar.

2.3.3. Análisis de resultados del estudio

Si bien, Panamá no ha sido objeto de incidencia directa de múltiples ciclones tropicales, se considera que es un país especialmente vulnerable a los efectos del CC y el aumento en el nivel del mar, debido a su ubicación latitudinal, la extensión de su costa y la baja topografía de la región. De hecho, de acuerdo con los resultados de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático en Panamá, entre las

¹⁶ máxima cota de agua alcanzada en una playa o estructura por encima del nivel del mar. Este fenómeno se produce después de que la ola rompa sobre la playa, produciéndose el movimiento hacia delante de la masa de agua hasta que la energía de la ola que no ha sido disipada en el proceso de rotura se invierte en subir por el talud. El run-up, a su vez, está compuesto por la suma del set-up, el swash infragravitatorio y el swash de onda corta.

zonas de mayor vulnerabilidad frente al aumento del nivel del mar y riesgo por inundaciones se encuentran las costas y zonas de manglares de la provincia de Veraguas, donde se ubica Soná (IH Cantabria, s.f).

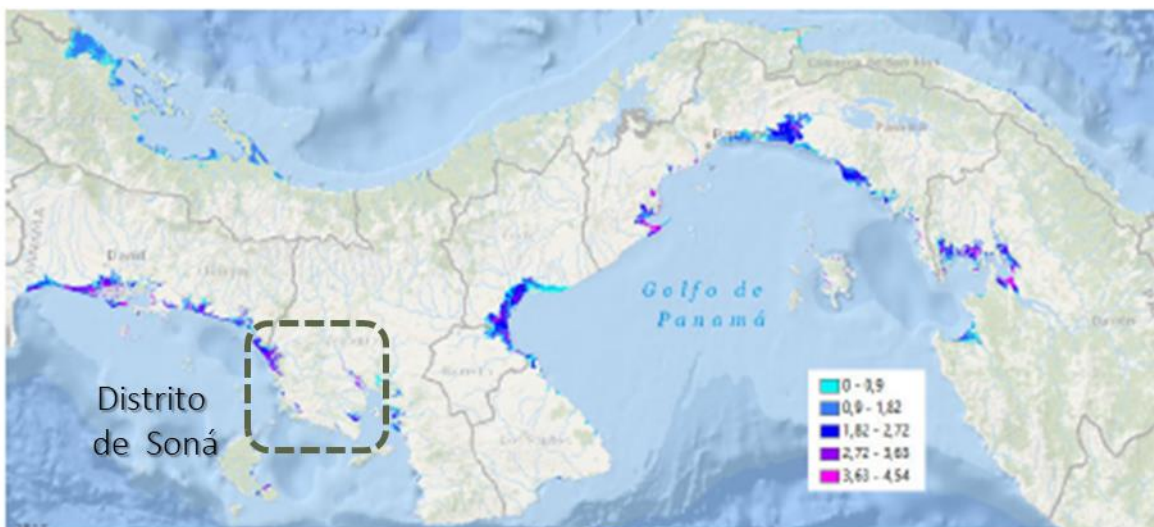
En particular en la región de Soná, a partir de un análisis basado en los datos de circulación marina superficial de los últimos dos años (2020-2022), se observa una tendencia general en la que las corrientes tienen una dirección predominante hacia el sureste durante los primeros meses del año, desplazándose de forma paralela a la línea de costa desde el corregimiento de Bahía Honda hasta Hicaco con una velocidad que varía entre 0.2 y 0.5 m/s. A partir de mayo hasta julio es notorio un cambio de sentido en la dirección de las corrientes que se desplazan temporalmente hacia el oeste se observa un cambio en la dirección hacia el oeste manteniendo una dirección menor a 0.5 m/s. A partir de septiembre en general se retoma la circulación con un desplazamiento de las masas de agua hacia el este. Cabe destacar que las velocidades más altas de las corrientes se concentran en el extremo suroeste del distrito en la zona costera del corregimiento Bahía Honda (Copernicus, 2022).

En la zona del Golfo de Panamá donde incide Soná, los mayores ámbitos de marea se presentan en regiones costeras semiabiertas o semicerradas. La mayor amplitud promedio de marea es de 3.84 m, con un valor máximo de marea de sicigia¹⁷ alcanza casi los 5 m (4.99 m).

Particularmente, en la estación de Bahía Honda, al extremo suroeste del distrito se tienen registrados los siguientes datos: el rango promedio de mareas es de 2.53 m, las mareas de sicigia alcanzan 3.29 m mientras que las pleamares se limitan a 2.87 m y las bajamares a 34.5 cm sobre el nivel hidrográfico de referencia promedio (Lizano, 2006). Actualmente, la estación de Bahía Honda cuenta con predicciones y tablas de mareas para la costa del distrito de Soná; el registro mensual más reciente. Los modelos de inundación en la región del Pacífico han determinado el alcance de la altura de la lámina del agua (calado) bajo diferentes escenarios, confirmando valores elevados de inundación dentro de la zona costera limítrofe de la provincia, cercana a la porción oeste del distrito de Soná (IH Cantabria, s.f) (ilustración siguiente).

¹⁷ Cuando la posición de los tres astros, sol, luna, tierra se encuentran sobre una misma línea se suman las fuerzas de atracción de la luna y el sol, por lo que se producen las pleamares de mayor valor y en consecuencia las bajamares son más bajas que las promedio.

Ilustración 5. Extensión de la inundación en horizonte 2050.



Fuente: (IH Cantabria, s.f).

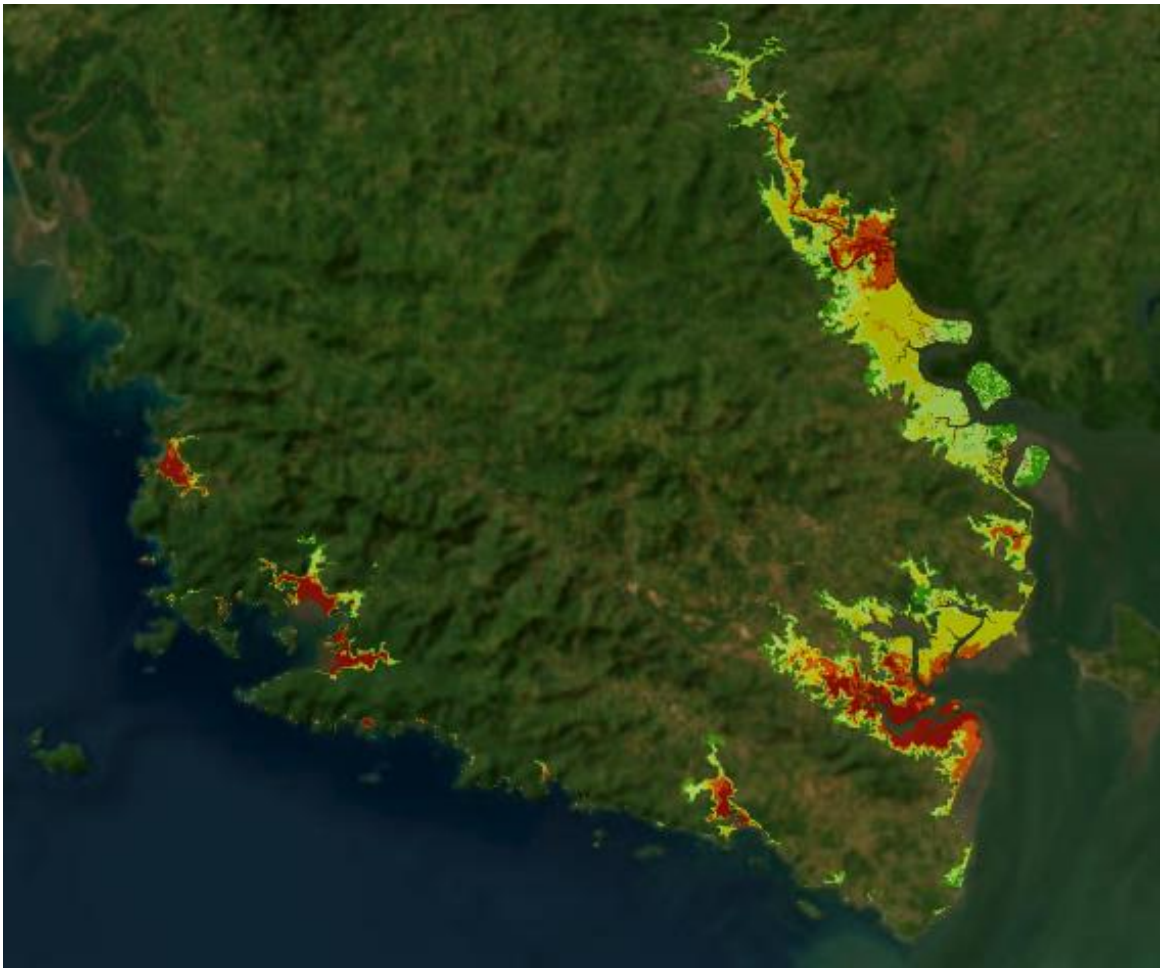
La principal causa del oleaje en la zona del Pacífico este tropical se atribuye a tormentas extra-tropicales que ocurren entre los 30 y 60° de latitud, especialmente durante los meses de invierno. La mayor parte de la energía del oleaje en esta región procede de mar de fondo, es decir, oleajes bien desarrollados generados en regiones muy remotas a Panamá tanto del Océano Pacífico Sur como del Océano Sur (Perez et al., 2014; Semedo et al., 2011; en: (IH Cantabria, s.f)). Parte de este mar de fondo procedente del Pacífico Sur puede aumentar su energía al interaccionar con las condiciones locales y los vientos alisios al oeste de Sudamérica. Sin embargo, estas alturas de ola disminuyen a medida que se acercan a las costas de Centroamérica (Lobeto et al., 2022). Por otro lado, se distingue un mar de viento estacional generado por la corriente “Panamá Jet” que atraviesa el istmo de norte a sur.

109

En general, la energía del oleaje es menor en verano que en invierno (Fiedler and Lavin, 2016). Por último, los ciclones tropicales tanto del Pacífico Norte como del Caribe generan oleajes más energéticos en la región este del Pacífico Tropical (Amador et al., 2006). **De acuerdo con ARAP (2010), la altura de ola en el Pacífico oscila entre los 0 - 2.5 m, aunque se han reportado olas de hasta 7 m en zonas muy concretas, como la playa Santa Catalina (en Veraguas) (IH Cantabria, s.f)**

A continuación, se presentan las zonas susceptibles al aumento del nivel del mar, con base en las cotas iguales o menores a 10 metros SNMM y la morfología litoral, se clasifican las cotas más próximas al litoral obteniendo lo siguiente: rojo (0-2 msnm), naranja (2-4 msnm) amarillo (4-6 msnm), verde (6-10 msnm) (ilustración siguiente).

Ilustración 6. Aproximación de las zonas susceptibles al aumento del nivel del mar en Soná



Nota: se solicitará información más precisa a IH Cantabria para determinar las zonas susceptibles por el aumento del nivel del mar en el distrito. Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

De forma general, la información pública respecto a este tema es escasa y sólo se identifican notas periodísticas que documentan fenómenos de inundación por crecida de ríos y quebradas, de ahí la importancia de realizar investigaciones y análisis complementarios con el fin de determinar los riesgos socioambientales que representa la incidencia de estos eventos en el distrito (tabla siguiente).

Tabla 35 Hallazgos de eventos registrados en fuentes secundarios para la provincia de Veraguas

Año	Evento	Descripción	Fuente
2022	Inundación en barriada Omar Torrijos tras crecida de quebrada	07 de agosto de 2022 - Al menos siete residencias de la barriada Omar Torrijos en el distrito de Soná, provincia de Veraguas, resultaron afectadas por las inundaciones generadas el sábado tras la crecida de una quebrada. Miembros del Cuerpo de Bomberos de Soná y del Sistema Nacional de Protección Civil (Sinaproc) atendieron la emergencia y ayudaron a las familias a desalojar las viviendas por seguridad. Las casas están ubicadas en zonas de riesgo y hace unos años se dieron las alertas y aún no han sido reubicadas.	https://www.tvn-2.com/nacionales/provincias/siet-e-viviendas-afectadas-inundacion-sona_1_1997700.html

Año	Evento	Descripción	Fuente
2020	Desborde del río Tríbique y San Pablo	02 de noviembre de 2020 – se han reportado inundaciones en varios sectores de Soná en la provincia de Veraguas, tras el desbordamiento del río Tríbique en el río San Pablo, en la feria de Soná.	https://www.critica.com.pa/nacional/desbordamientos-de-rios-e-inundaciones-en-sona-591480
2020	Desborde de ríos Tríbique, Tobálico, San Pablo, Cobre		https://www.facebook.com/1667795790160102/posts/inundaciones-en-mi-son%C3%A1-luego-de-varios-d%C3%ADas-de-intensas-lluvias-inundacionesens/2792230741049929/?locale=es_LA
2017	Inundaciones por desborde del río san pedro, comunidades el lago, barrio chino, bella vista, Omar Torrijos	31 de julio de 2017 - Las fuertes lluvias registradas el domingo ocasionaron el desborde del Río San Pedro, en la provincia de Veraguas, causando afectaciones en múltiples residencias de esta región. Aproximadamente 53 familias de las comunidades de El Lago, Barrio Chino, Bella Vista, Omar Torrijos y Don Bosco, fueron algunas de los que se vieron afectadas. Ante esta situación, personal del Sistema Nacional de Protección Civil (Sinaproc) se encuentra coordinando asistencia humanitaria a las familias, además se mantienen monitoreando las áreas vulnerables. Cabe señalar que el sistema de mal tiempo registrado el domingo causó además, afectaciones por inundaciones en más de 180 casas en la región de Panamá Oeste, así como la crecida del río Tonosí en la provincia de Los Santos.	https://infoinundaciones.com/noticias/cerca-de-53-familias-afectadas-por-inundaciones-en-sona/
2010	Inundaciones en barriadas de Soná	18 de noviembre de 2010 - Unas 27 familias afectadas fue el saldo de las inundaciones en cuatro barriadas del distrito de Soná, en Veraguas, que tuvieron que salir de sus casas la madrugada de ayer miércoles. Los bomberos del distrito de Soná estuvieron colaborando con la población para evitar daños. Las barriadas que siempre se afectan son El Lago, 8 de noviembre, La Feria y Omar Torrijos, donde habitan familias que no disponen de los recursos económicos para comprar tierras y construir una vivienda lejos del peligro.	https://www.laestrella.com.pa/nacional/101118/27-sona-afectan-familias-inundaciones

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023 con información de diversas fuentes.

2.3.4. Recomendaciones

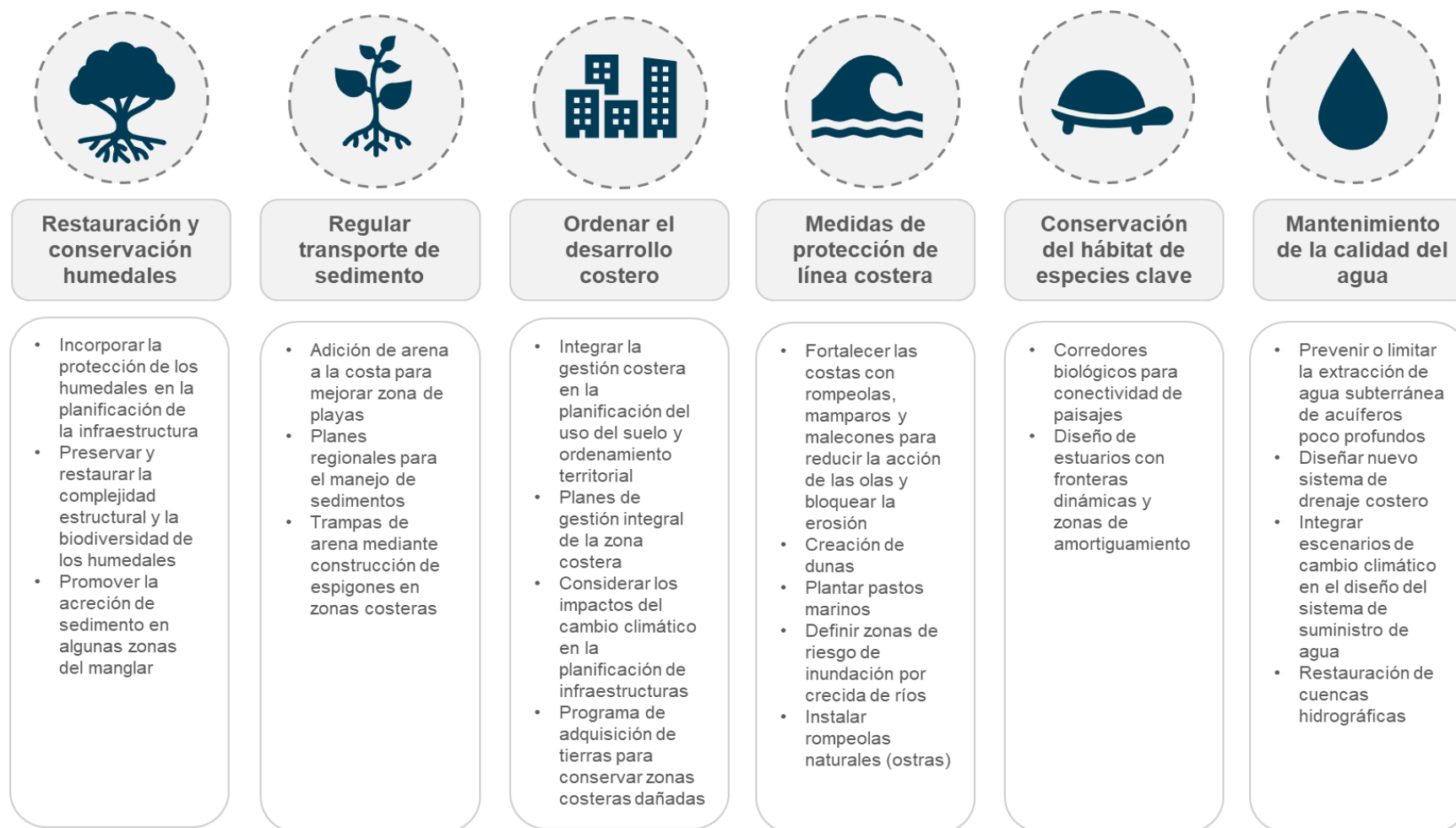
Las inundaciones y el aumento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático se encuentran entre las principales amenazas a las que se enfrentan las comunidades costeras del país. Diversos modelos de predicción climática han revelado estimaciones sobre el aumento del nivel del mar y sus impactos en las poblaciones y el medio ambiente, sugiriendo efectos tales como desaparición de islas, pérdida de tierras productivas por desbordamiento de ríos, desplazamiento de personas, deslaves e incremento de eventos meteorológicos extremos como tormentas y huracanes (UNEP, 2019).

El objetivo de mitigación más importante para el aumento del nivel del mar es reducir o posiblemente revertir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, dado que se prevé que el nivel del mar seguirá subiendo durante varios años en el futuro incluso si se reducen las emisiones en la

actualidad, las principales estrategias para enfrentar la crisis climática en las zonas costeras involucran el desarrollo y la implementación de medidas de adaptación con el fin de reducir los impactos adversos (ilustración siguiente) (Hunt y Byers, 2019).

Las opciones anteriores de adaptación al cambio climático pueden variar según el momento de la respuesta de gestión y el tipo de acción que se ejecute (ej. física, tecnológica o institucional). Dependiendo del tipo de opción, también pueden participar diferentes partes interesadas o pueden estar todos involucrados en diferentes aspectos de cualquier estrategia de adaptación determinada. Los actores clave podrían incluir gobiernos locales (juntas municipales, comisiones de planificación y zonificación), gobiernos estatales (dependencias o ministerios de gestión ambiental, territorial y costera) y el gobierno federal así como empresas (ej. ingenieros, desarrolladores, operaciones de pesca comercial), organizaciones no gubernamentales, instituciones de investigación y comunidades locales (EPA, 2009).

Ilustración 7. Síntesis de medidas de adaptación al cambio climático en zonas costeras



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023 con datos de (EPA, 2009) (Sánchez y Reyes, 2015).

2.4.2. Cambio Climático e Hidrología

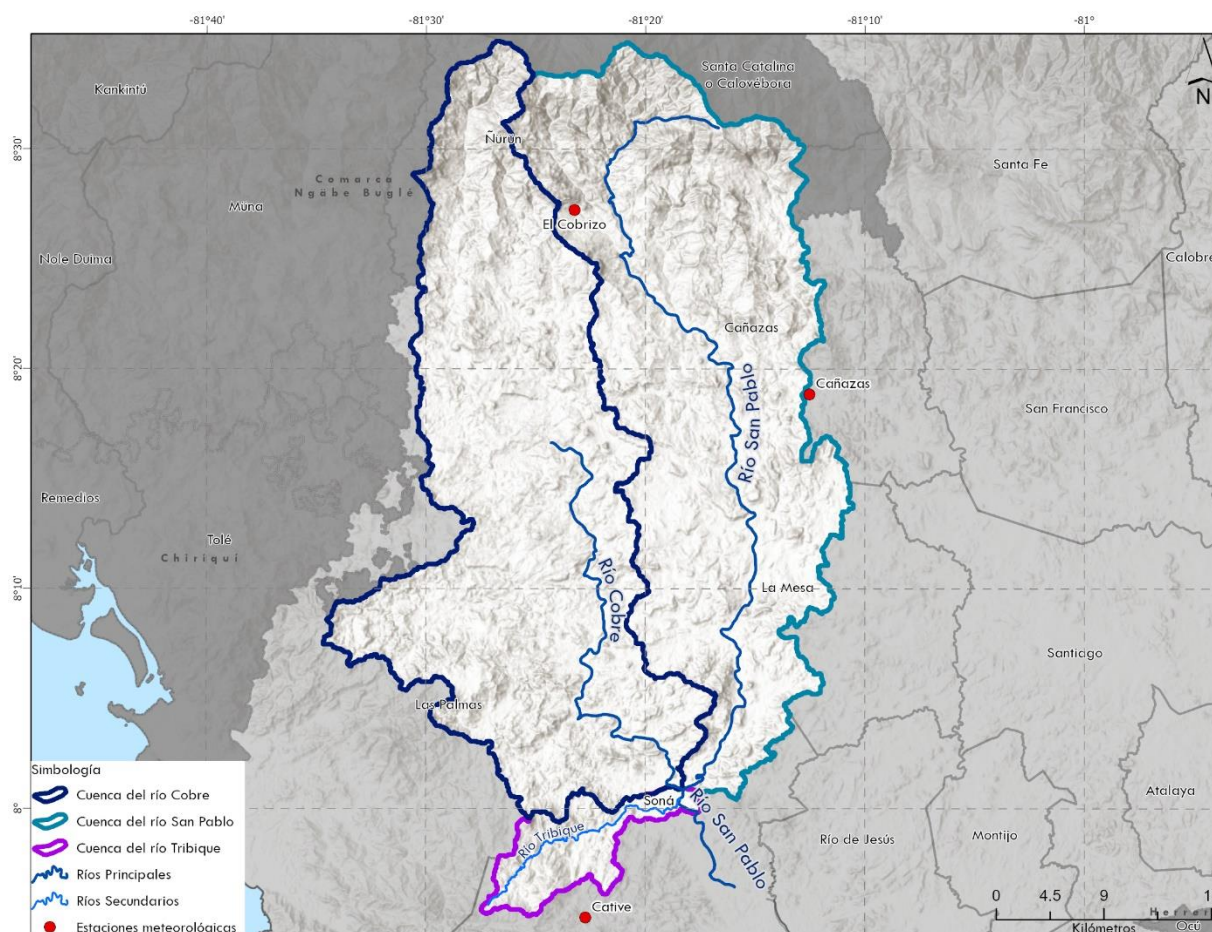
Pluviometría

Para el estudio de pluviometría, se hace necesario conocer las características hidrológicas de la zona de estudio. Para ello, se toman los datos de registro de lluvias, las cuales se utilizarán posteriormente para realizar una modelización de sus efectos en las cuencas determinadas.

Un gran número de estaciones pluviométricas, pese a encontrarse en una zona cercana al área de estudio, no tienen la solvencia suficiente para poder realizar los análisis pertinentes, puesto que sus datos no cuentan con más de 10 años continuados, algo que está por debajo de las necesidades de series entre 20-30 años y, por lo tanto, incumplen la mínima extensión del registro recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), para obtener estadísticas confiables.

Resaltan algunas de las estaciones pluviométricas de la empresa/sociedad anónima ETESA (encargada de la generación y distribución de la energía eléctrica) que han logrado mantenerse en constante funcionamiento y registro de datos climáticos continuos con series superiores a 30 años; ubicándose 3 de ellas en la zona de influencia de las cuencas de estudio, por lo cual serán utilizada para el análisis hidrológico.

Mapa 2. Localización de las estaciones pluviométricas con series de datos superiores a 30 años continuos. Distrito Soná



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022 con información de ETESA.

Tabla 36. Datos generales de las estaciones pluviométricas a analizar en Distrito Soná

NOMBRE DE ESTACIÓN	ID	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN	SERIE DE DATOS
Cativé	118-009	7.528335	-80.023414	160 msnm	1981 - 2022
Cañazas	118-002	8,316667	-81,216667	200 msnm	1981 - 2022
El Cobrizo	118-001	8,4538384	-81,38733	400 msnm	1981 - 2022

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022 con información de ETESA.

El Periodo de Retorno de cualquier evento extremo (lluvias máximas, temperaturas extremas, huracanes, entre otros), se define como el lapso o número de años que, en promedio, se cree que será igualado o excedido, es decir, es la frecuencia con la que se presenta un evento (Mélice & Reason, 2007). El grado de magnitud de un fenómeno extremo está relacionado de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia, las precipitaciones muy intensas ocurren con una frecuencia menor que las moderadas o débiles. Las zonas urbanas tienen un alto grado de riesgo debido a las inundaciones ocasionadas por el fenómeno meteorológico de lluvias torrenciales o máximas en 24 horas. Para contribuir a minimizar los impactos negativos que estos fenómenos producen, se determinaron los periodos de retorno de lluvias máximas diarias a 2.33, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

A continuación, se muestra la tabla que relaciona los distintos periodos de retorno con la probabilidad de que suceda el suceso estudiado en un año determinado.

Tabla 37. Probabilidad de ocurrencia del suceso en un año determinado

Período de Retorno (TR)	2.33	10	25	50	100	500
Probabilidad de Ocurrencia (%)	0.429	0.1	0.25	0.2	0.01	0.002
Frecuencia	Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja	Muy Baja

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

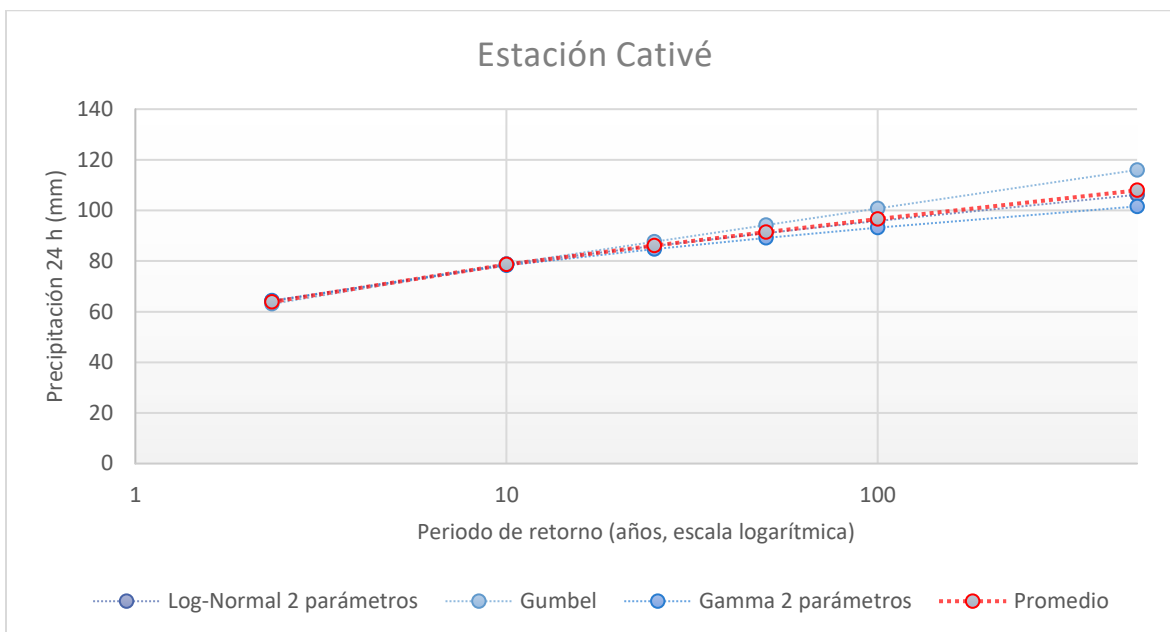
Ya definidos los TR, se utilizan los datos de las estaciones y se procede a realizar un ajuste estadístico mediante distintas distribuciones para hallar la pluviosidad diaria acumulada máxima correspondiente a dichos periodos de retorno.

Tabla 38. Precipitación (mm/día) por estación y período de retorno

Período de Retorno	Estación Pluviométrica		
	Cativé	Cañazas	El Cobrizo
2.33	63.83	106.03	123.53
10	78.60	134.87	155.65
25	86.14	150.58	172.83
50	91.46	162.07	185.27
100	96.58	173.40	197.45
500	107.92	199.48	225.14

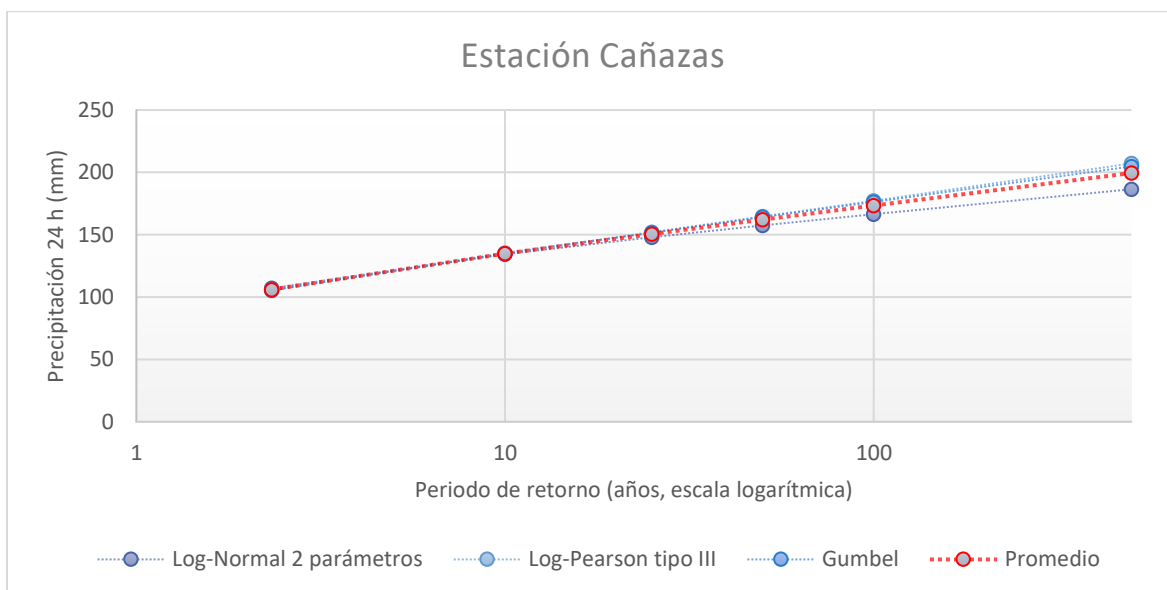
Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Ilustración 8 Precipitación (mm/día) por período de retorno en la estación de Cativé



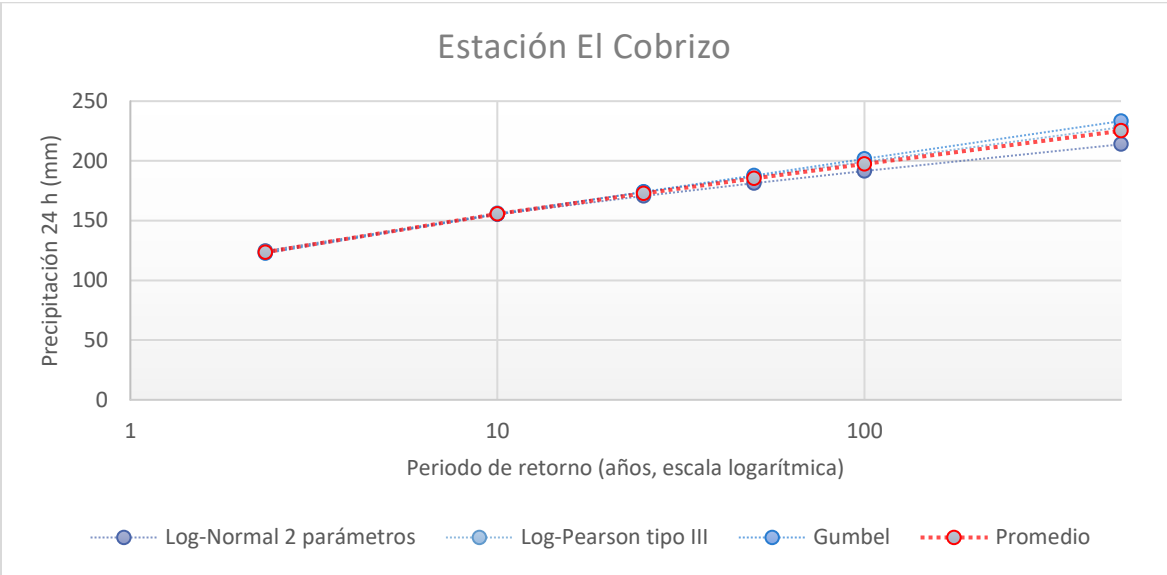
Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Ilustración 9 Precipitación (mm/día) por período de retorno en la estación de Cañazas



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Ilustración 10 Precipitación (mm/día) por período de retorno en la estación de El Cobrizo



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Proyecciones de Cambio Climático

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se creó en 1988 con la finalidad de proporcionar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

118

En el Quinto Informe IPCC se definen 4 escenarios de emisión, las denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Estas se caracterizan por su Forzamiento Radiactivo (FR) total para el año 2100 que oscila entre 2,6 y 8,5W/m².

Las cuatro trayectorias RCP comprenden un escenario en el que los esfuerzos en mitigación conducen a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP2.6), 2 escenarios de estabilización (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP8.5).

El Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) posee un portal de información climática (Centro Clima www.centroclima.org) donde se unifican datos climáticos de Centroamérica y para contar con insumos que permitan una mejor adaptación a la variabilidad del clima y el mejoramiento de la productividad, la competitividad y la calidad de vida.

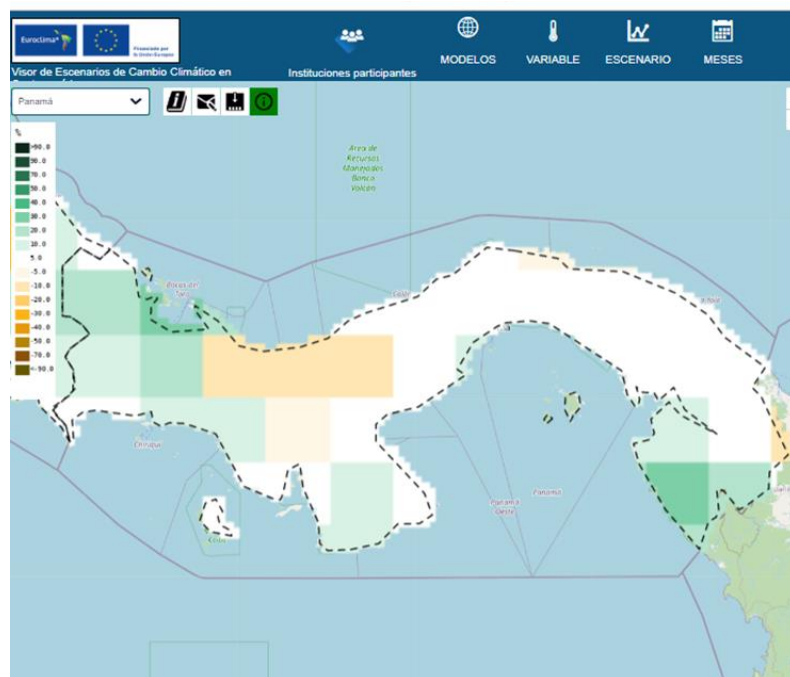
Centro Clima cuenta con financiamiento de USAID, así como del Programa EUROCLIMA+ el cual es un programa de la Unión Europea para promover el desarrollo ambientalmente sostenible y resiliente al clima en 18 países de América Latina.

El Programa funciona mediante el trabajo sinérgico de siete agencias internacionales: Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), Agencia Francesa de Desarrollo (AFD), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Expertise France (EF), Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas (FIIAPP), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y ONU Medio Ambiente; que apoyan al CRRH en el funcionamiento del portal Centro Clima.

Centro Clima tiene, entre sus datos climáticos, los escenarios RCP para toda la franja centroamericana y . Para este análisis serán utilizadas las proyecciones climáticas ahí desarrolladas, aplicando el porcentaje de variación (según RCP) a los valores de precipitación máxima obtenidos tras el ajuste estadístico de cada estación pluviométrica.

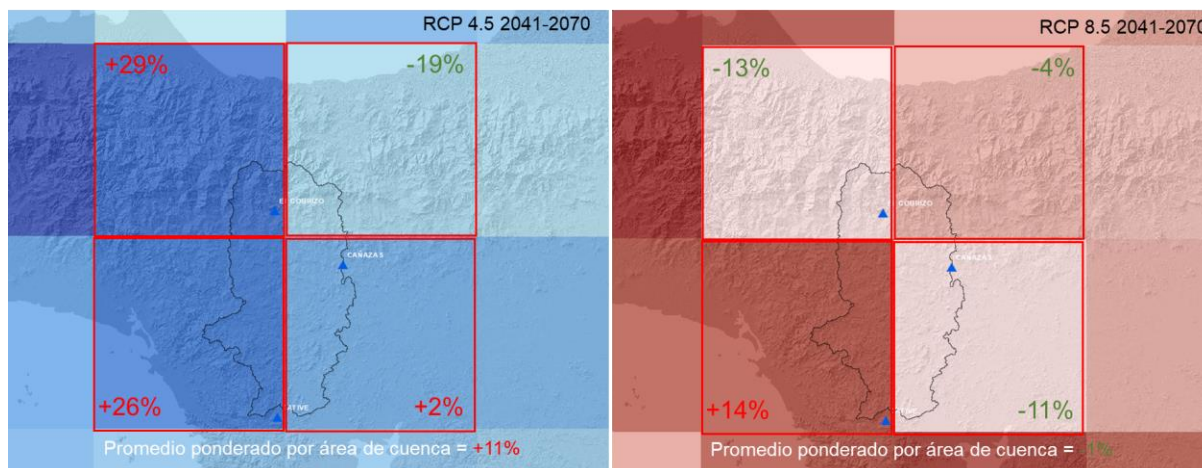
El consorcio ejecutor del presente informe cuenta con el conocimiento del desarrollo de escenarios de cambio climático por el propio MiAmbiente para Panamá. No obstante, se ha optado por emplear los datos de Centro Clima, ya que son los únicos consultados que cuentan con la información necesaria para desarrollar los modelos hidrológicos, principalmente proyecciones de las estimaciones de precipitación acumulada en 24h.

Ilustración 11. Portal Centro Clima



Fuente: www.centroclima.org.

Ilustración 12 Incremento porcentual de precipitación máxima diaria para los escenarios RCP 4.5 2041-2070 (izquierda) y RCP 8.5 2041-2070 para las cuencas de los Ríos Cobre, San Pablo y Tríbique



Fuente: Elaborado por el consorcio a partir de los datos de centroclima.org, 2022.

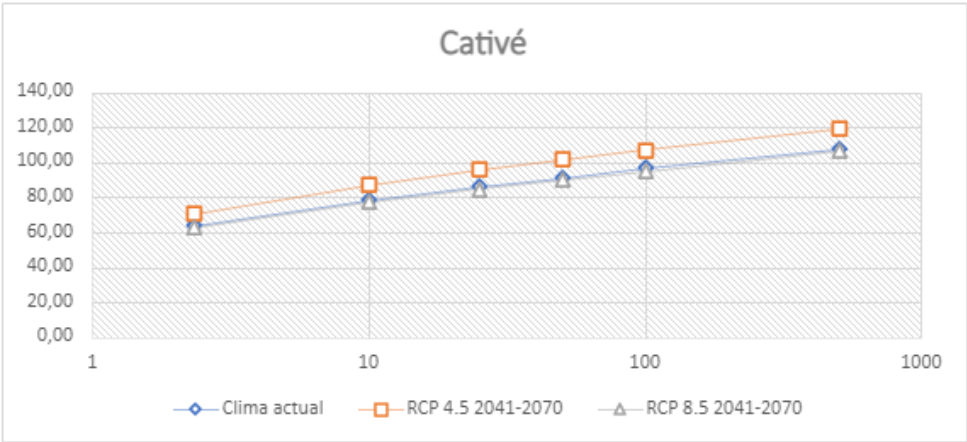
En este caso se observa que las cuencas de estudio y las estaciones pluviométricas se encuentra dentro de cuatro sectores de variación climática, obteniéndose una variación ponderada de +11% para el escenario RCP 4.5 y otra de -1% para el escenario RCP 8.5, si se aplican dichas variaciones a las precipitaciones diarias máximas actuales, se obtienen las siguientes proyecciones de precipitación:

Tabla 39. Precipitación (mm/día) con clima actual y en los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 para 2041-2070 para la estación Cativé.

	2,33	10	25	50	100	500
Clima actual	63,83	78,60	86,14	91,46	96,58	107,92
RCP 4.5 2041-2070	72,77	89,60	98,20	104,27	110,11	123,03
RCP 8.5 2041-2070	65,11	80,17	87,86	93,29	98,52	110,08

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Ilustración 13 Ordenadas: precipitación máxima diaria (mm) Abscisas: periodo de retorno (años) actual y proyectado para la estación Cativé



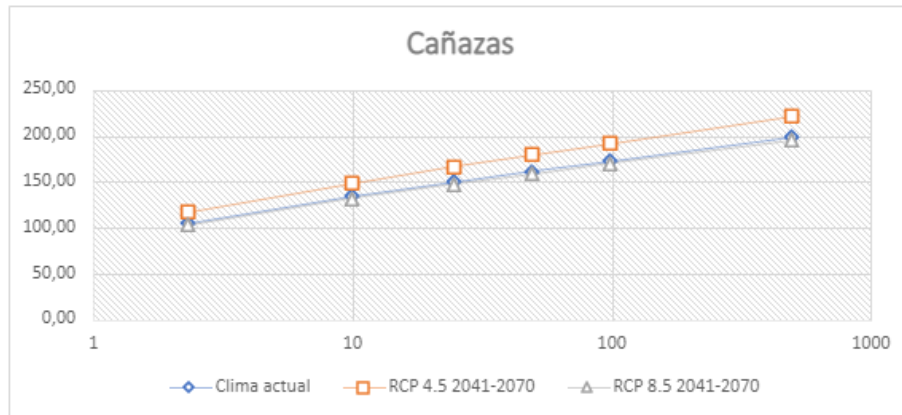
Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Tabla 40. Precipitación (mm/día) con clima actual y en los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 para 2041-2070 para la estación Cañazas.

	2,33	10	25	50	100	500
Clima actual	106,03	134,87	150,58	162,07	173,40	199,48
RCP 4.5 2041-2070	117,69	149,71	167,14	179,89	192,47	221,42
RCP 8.5 2041-2070	104,44	132,85	148,32	159,64	170,80	196,48

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Ilustración 14 Ordenadas: precipitación máxima diaria (mm) Abscisas: periodo de retorno (años) actual y proyectado para la estación Cañazas



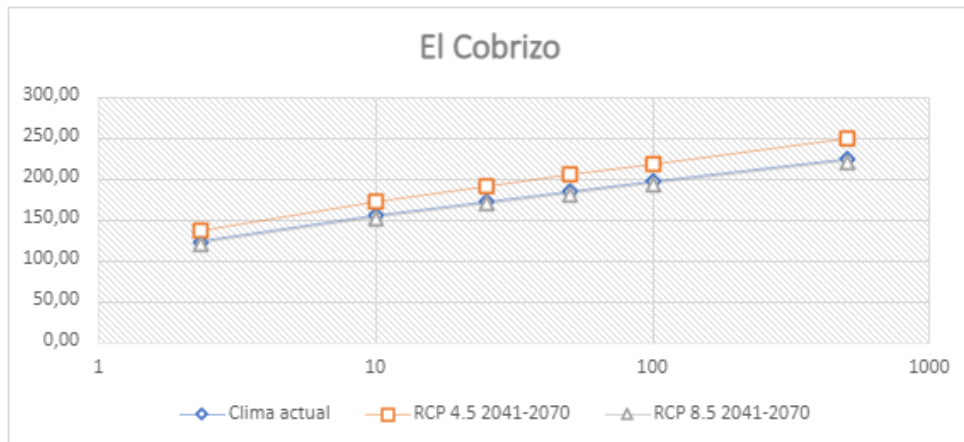
Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Tabla 41. Precipitación (mm/día) con clima actual y en los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 para 2041-2070 para la estación El Cobrizo

	2,33	10	25	50	100	500
Clima actual	123,53	155,65	172,83	185,27	197,45	225,14
RCP 4.5 2041-2070	137,12	172,77	191,84	205,65	219,17	249,90
RCP 8.5 2041-2070	121,68	153,32	170,24	182,49	194,49	221,76

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Ilustración 15 Ordenadas: precipitación máxima diaria (mm) Abscisas: periodo de retorno (años) actual y proyectado para la estación El Cobrizo



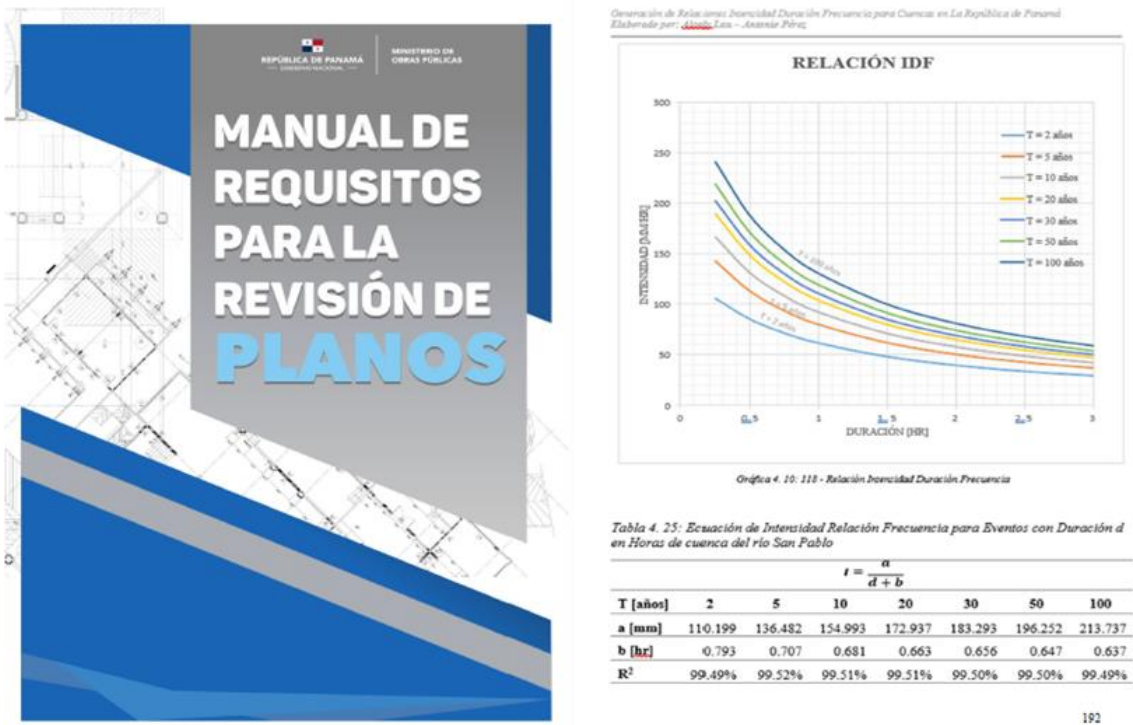
Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Distribución temporal de la lluvia

Para una distribución adecuada de la lluvia es necesaria la relación intensidad-duración del aguacero. No todas las estaciones recogen la distribución temporal del aguacero, ya que tienen un único dato de precipitación acumulada diaria, con lo que en esas estaciones se puede obtener el dato de lluvia máxima en 1 día para un período de retorno o frecuencia dado, pero, a priori, no se puede conocer la relación volumétrica entre un aguacero de 1 día y otro de menor duración.

El “Manual de Requisitos para la Revisión de Planos” del Ministerio de Obras Públicas de la República de Panamá, publicado en Gaceta Oficial N° 29308-B del 15 de Junio de 2021 posee Curvas IDF (intensidad/duración/frecuencia) para las cuencas de mayor relevancia en el territorio panameño, incluida la Cuenca San Pablo que contiene a toda la zona de estudio de este análisis; sin embargo, se percibe que las curvas IDF ahí expuestas se grafican para eventos no mayores de 3 horas, por lo cual se ha procedido a adoptar dichas curvas como representativas para eventos de esa duración e inferiores, y se ha complementado con curvas IDF de Florianópolis (Brasil) porque desde el punto de vista climatológico posee un comportamiento similar en dichas duraciones y además contiene la prolongación de sus valores para eventos de mayor duración.

Ilustración 16 Manual de Requisitos para la Revisión de Planos (MOP) y Curva IDF para Cuenca del Río San Pablo



Fuente: Gaceta Oficial de la República de Panamá N° 29308-B del 15 de junio de 2021.

Método de abstracciones

Esta metodología pretende obtener la lluvia eficaz o neta, es decir, la parte de la precipitación total del aguacero que realmente contribuye a la generación de caudales mediante escorrentías, contemplándose los siguientes fenómenos:

Intercepción, que es la parte de la precipitación que es “atrapada” por la vegetación antes de que alcance el suelo, quedando retenida y volviendo posteriormente a la atmósfera como evaporación.

Retención, que es la parte de la precipitación que se deposita en pequeñas depresiones del terreno en forma de charcos, que no contribuyen a la escorrentía superficial hasta que no se llenan por completo y rebosan.

Infiltración, por la cual parte de la lluvia pasa a las capas de suelo superficiales en las que queda almacenada hasta que se supera la capacidad de retención de agua de las partículas, momento en que se produce un drenaje vertical hacia los acuíferos profundos, y horizontal, que devuelve el agua a los

cauces a través del terreno, constituyendo el “interflujo”, que tiene un considerable retraso sobre los caudales principales.

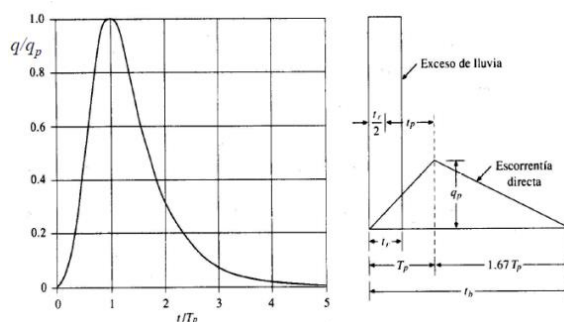
Esto quiere decir que el aporte de las aguas subterráneas generadas por un episodio de lluvia que provoca una inundación no va a tener influencia en los caudales punta que se generan, puesto que el proceso hasta que esa agua es devuelta a la red de drenaje es mucho más lento.

Los fenómenos de intercepción y retención tienen una incidencia fundamental al comienzo de la tormenta, constituyendo la denominada “abstracción o pérdida inicial”, mientras que el de la infiltración tiene una importancia decreciente con el tiempo, pero influye durante todo el desarrollo temporal de la lluvia.

Hidrograma unitario SCS (Soil Conservation Service), transformación lluvia-escorrentía

El diagrama adimensional del SCS, es un hidrograma unitario sintético en el cual se expresan los caudales en función del caudal pico, q_p y los tiempos en función del tiempo al pico, T_p .

Ilustración 17 Hidrograma unitario del SCS.



Fuente: Hidrología Aplicada. Ven T. Chow.

De lo que se pudo deducir mediante fórmulas empíricas que:

$$T_p = \frac{t_r}{2} - t_p \quad \text{y} \quad t_p = 0.6T_c$$

Donde (t_r) es la duración de la lluvia efectiva y (T_c) es el tiempo de concentración de la cuenca.

El tiempo de concentración (T_c), que se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida o de desagüe de la cuenca, se ha calculado teniendo en cuenta diferentes metodologías y adoptando como resultado la media ponderada de los resultados calculados. Para calcular la abstracción de la lluvia existen diferentes métodos; uno de los más utilizados es el método del número de curva (CN) del Soil Conservation Service (SCS). En este método se establece que, para un evento de precipitación, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa (P_e) es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación (P); de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca (F_a) es menor o igual a alguna retención potencial máxima (S). Existe una cierta cantidad de precipitación (I_a -abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P - I_a$.

La hipótesis del método del número de curva consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir (Chow et al, 1994):

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Número de Curva, CN:

El SCS elaboró curvas con la relación entre escorrentía directa P_e y precipitación P . Para superficies impermeables, el número de curva (CN), es igual a 100. Para otras superficies, CN es menor que 100 (Chow et al, 1994).

Se han elaborado tablas para obtener el CN según los siguientes aspectos:

- A) Condiciones de humedad antecedente, con base en la lluvia anterior de 5 a 30 días.
- Condición AMC(I): Suelo seco. No aplicable a crecida de proyecto. Caudales bajos.
 - Condición AMC(II): Suelo medio. Asociado a crecidas anuales o promedios.
 - Condición AMC(III): Suelo húmedo. Crecidas máximas. Caudales altos.
- B) Tipo de terreno: se refiere al uso del suelo, la cubierta vegetal y las prácticas de cultivo.
- Poca densidad de vegetación: Condición que conduce a mayores valores de CN y mayores valores de escorrentía.
 - Alta densidad de vegetación: Condición que conduce a menores valores de CN y menores valores de escorrentía.
- C) Condiciones hidrológicas de los suelos.

Ven Te Chow (1994) propone una clasificación en función de uso de la tierra y de la clasificación del suelo frente al drenaje. Cómo se comentaba al principio del apartado, el CN refleja el grado de impermeabilización del suelo, donde 100 es completamente impermeable (como los cuerpos de agua), siendo más bajo este valor cuanto mayor es la capacidad del terreno para infiltrar, retener o evapotranspirar el agua de lluvia.

Tabla 42. Número de curva para condición antecedente de humedad II según el uso del suelo y su grupo hidrológico.

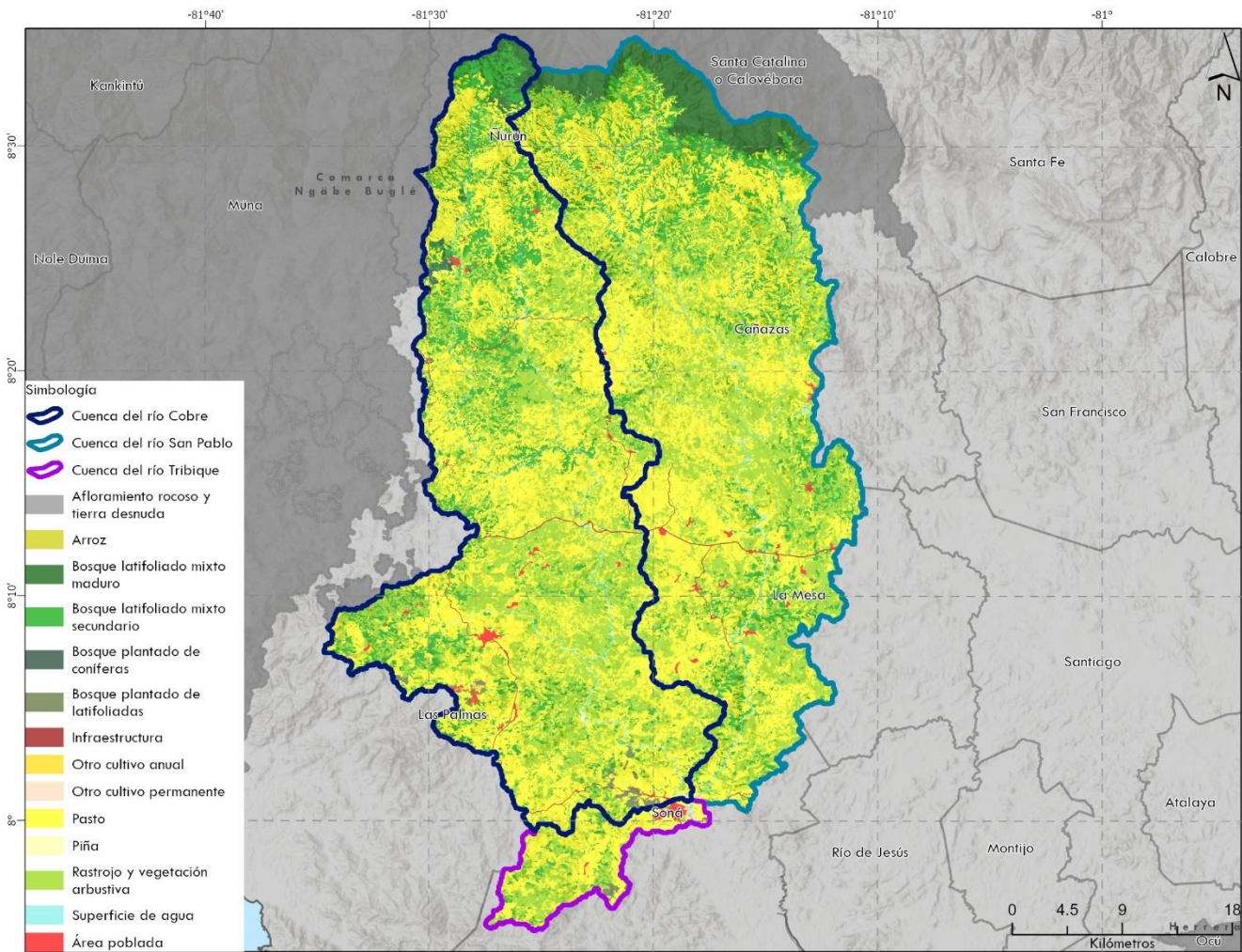
Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
<i>Tierra cultivada</i>				
Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
<i>Pastizales</i>				
Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
<i>Bosques</i>				
Cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
Cubierta buena	25	55	70	77
<i>Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios</i>				
Condiciones óptimas: 75% de pasto o más				
Condiciones aceptables: 50-75% de pasto	39	61	74	80
	49	69	79	84
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
<i>Residencial</i>					
<i>Tamaño</i>	<i>% impermeable</i>				
1/8 acre	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos		98	98	98	98
Áreas comerciales (85% impermeables)		89	92	94	95
<i>Calles y carreteras:</i>					
Pavimentos con cuneta y alcantarillado		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Fuente: Hidrología Aplicada; Ven Te Chow.

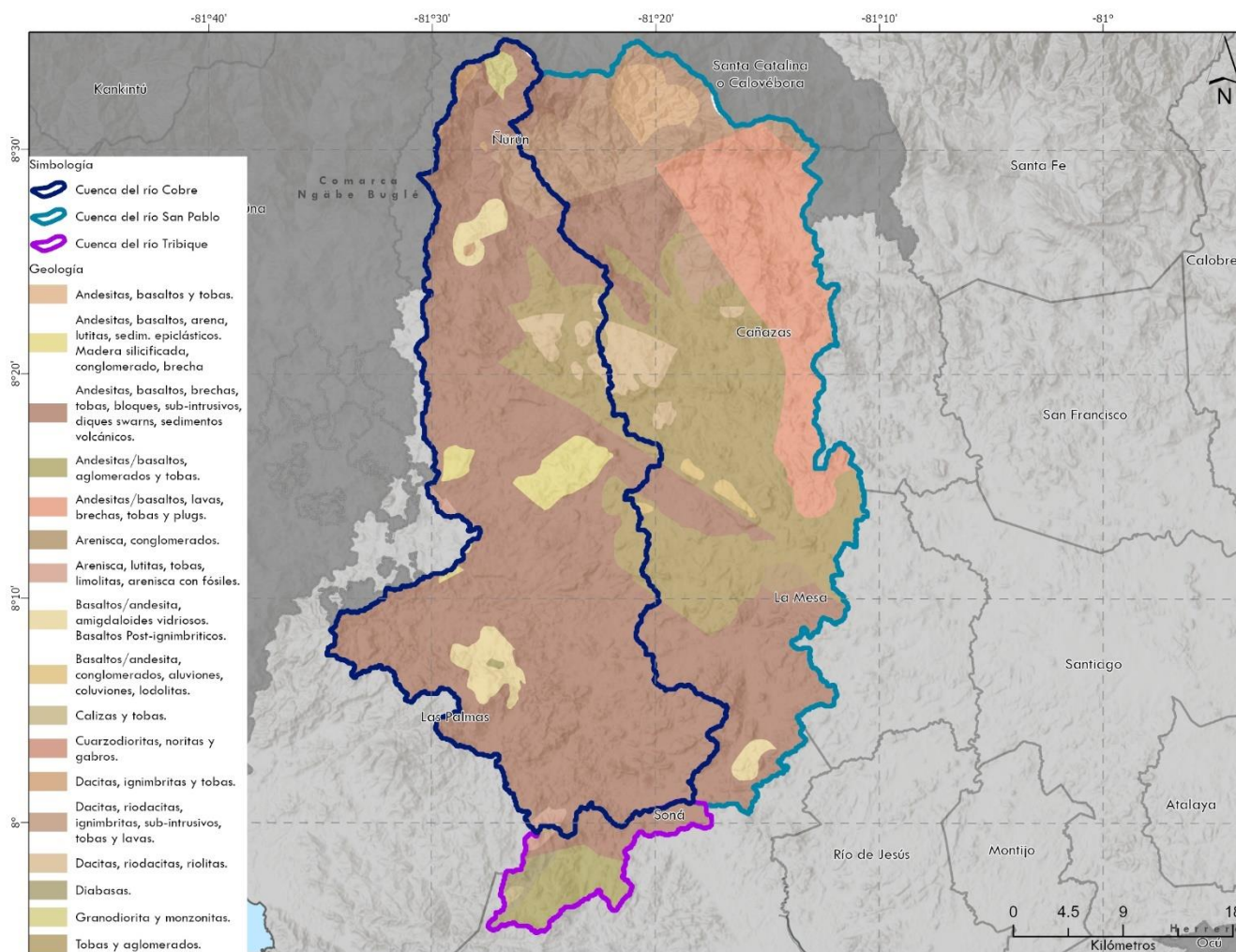
En las siguientes ilustraciones, se muestra los usos del suelo, la clasificación geológica, la clasificación frente al drenaje del Soil Conservation Service obtenida a partir de la geología mostrada y, finalmente, los números de curva de las cuencas de los ríos Cobre, San Pablo y Tríbique.

Mapa 3. Usos de suelo en las cuencas de los ríos Cobre (izquierda), San Pablo (derecha) y Tríbique (abajo).



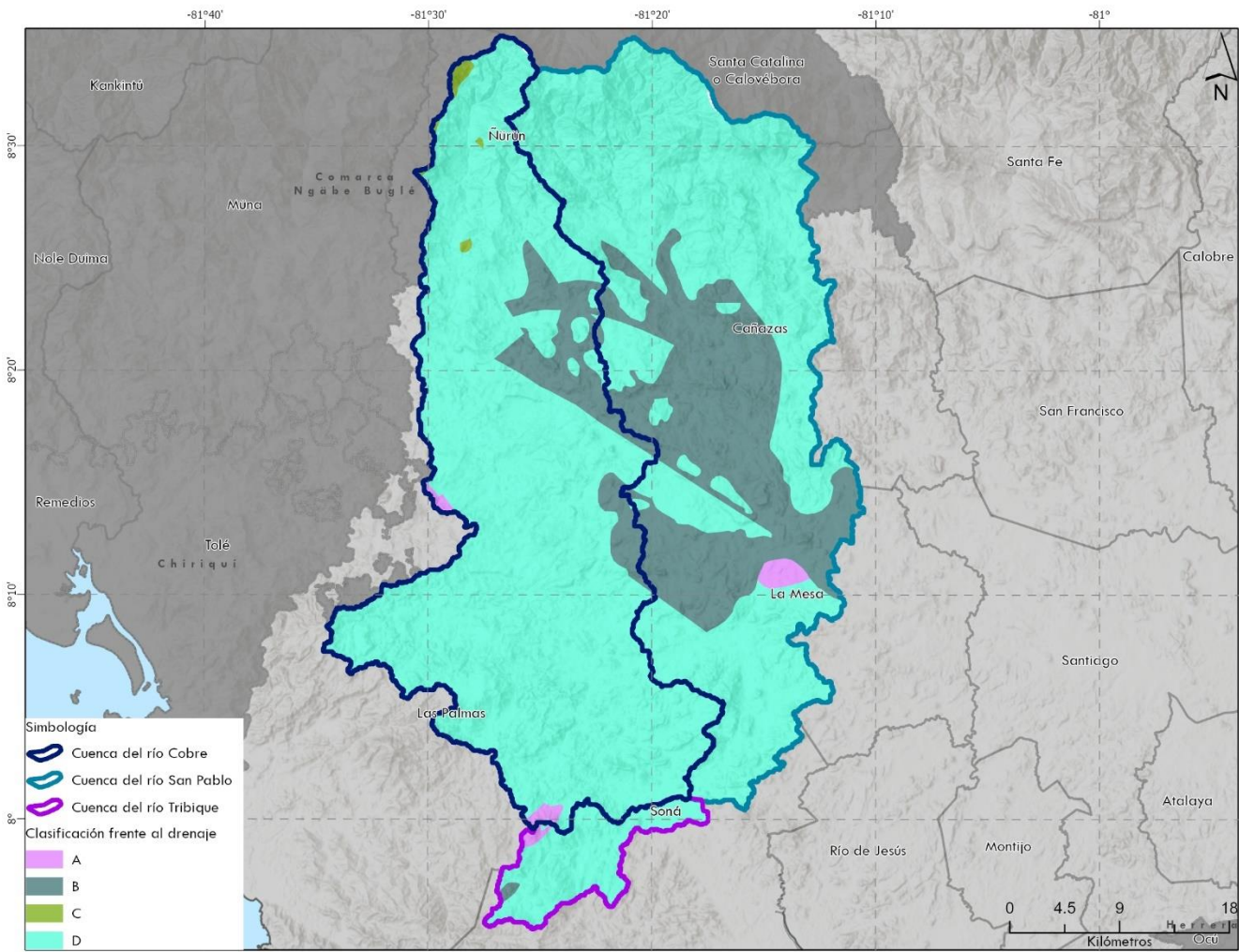
Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Mapa 4. Geología en las cuencas de los ríos Cobre, San Pablo y Tribique.



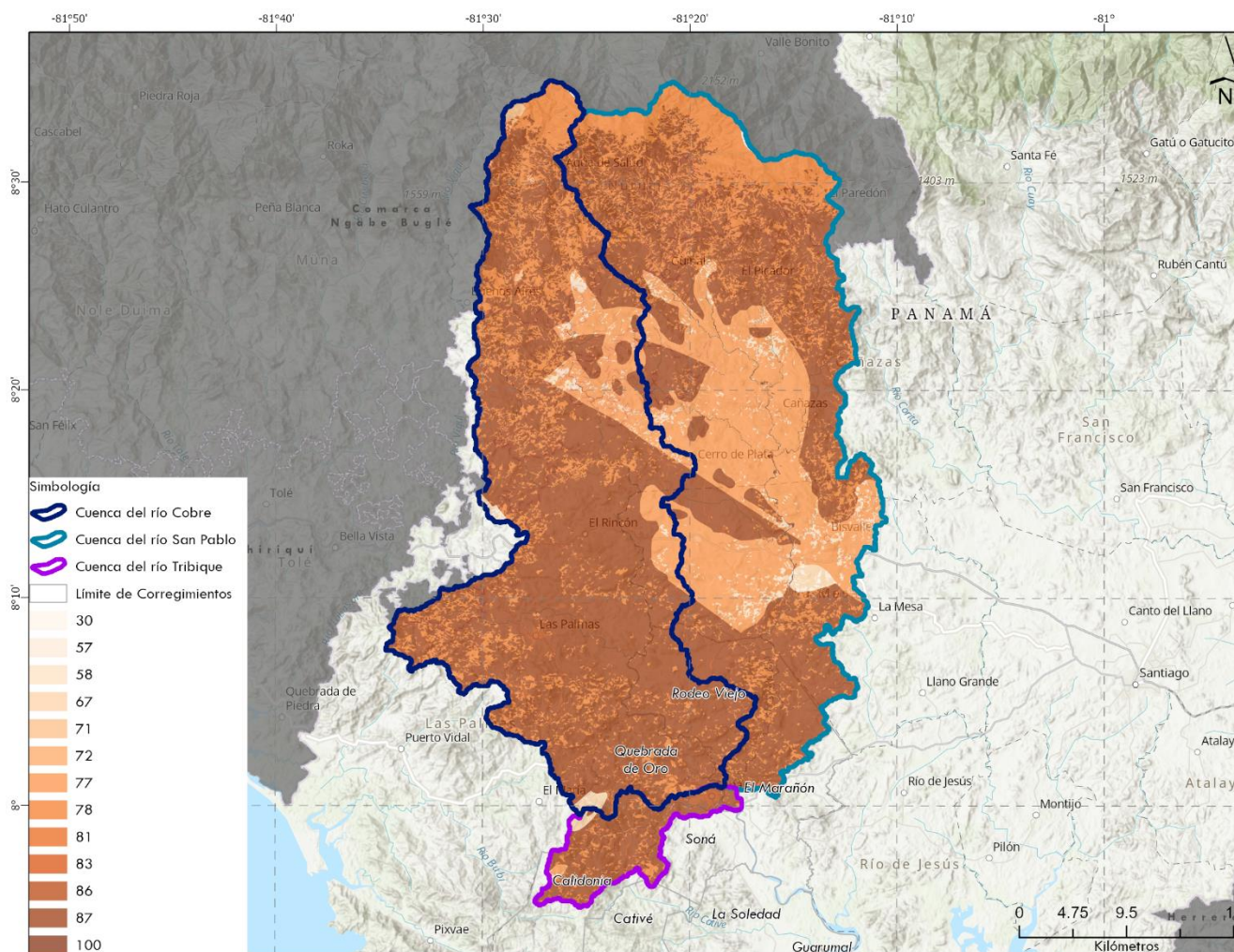
Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Mapa 5. Clasificación frente al drenaje en las cuencas de los ríos Cobre, San Pablo y Tribique.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Mapa 6. Número de Curva en las cuencas de los ríos Cobre (izquierda), San Pablo (derecha) y Tríbique (abajo).



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Para calcular el número de curva para una condición antecedente de humedad diferente a la II, se utilizan las siguientes expresiones (Chow, 1994):

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Retención potencial máxima (S)

Es la máxima precipitación absorbida por la cuenca.

S se relaciona con el número de curva CN de escorrentía mediante la siguiente fórmula:

$$CN = \frac{1000}{(10 + S)}$$

Para áreas impermeables, $S = 0$ y $CN = 100$. Para área sin escurrimiento, $S = \infty$ y $CN = 0$.

Como ya se ha mencionado, los usos del suelo definen el número de curva, por tanto, uno de los principales factores que influye en la cantidad de lluvia que no se convierte en escorrentía es la cobertura vegetal del suelo, cuanto más densa es esta menor es la escorrentía.

Con esto, en función de la clasificación del suelo frente al drenaje y los usos de la tierra se obtiene el Número de Curva para toda la zona de estudio para un antecedente de humedad II.

Pérdidas por intercepción (I_a)

Es el almacenamiento en superficie e infiltración antes de presentarse la escorrentía. Para elevada precipitación, ésta se hace igual a la escorrentía. Por experiencia, se tiene que las pérdidas por infiltración " I_a " son el 20% de la retención potencial máxima S , así (Ven Te Chow, 1994):

$$I_a = 0.2S$$

- Relación entre el coeficiente de escorrentía y el número de curva

Por definición, el coeficiente de escorrentía medio final de un aguacero vale

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

La escorrentía superficial (E_s) que genera cualquier aguacero (P) se puede cuantificar mediante el método del Número de Curva. Admitiendo la relación habitual $I_a = P_0 = 0.2 \cdot S$ se tiene que:

130

$$E_s = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4 \cdot P_0} \quad \text{si} \quad P > P_0$$

Sustituyendo en el cociente de C se tiene

$$C = \frac{E_s}{P} = \frac{\left(\frac{P}{P_0} - 1\right)^2 \cdot P_0^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot P_0}$$

Y a su vez, el umbral de escorrentía P_0 es función del número de curva:

$$P_0 = 0.2 \cdot \frac{25400 - 254 \cdot N}{N} = \frac{5080 - 50.8 \cdot N}{N}$$

Se observa cómo el coeficiente de escorrentía depende de la precipitación analizada y del Número de Curva.

Modelo HMS, propagación de hidrogramas

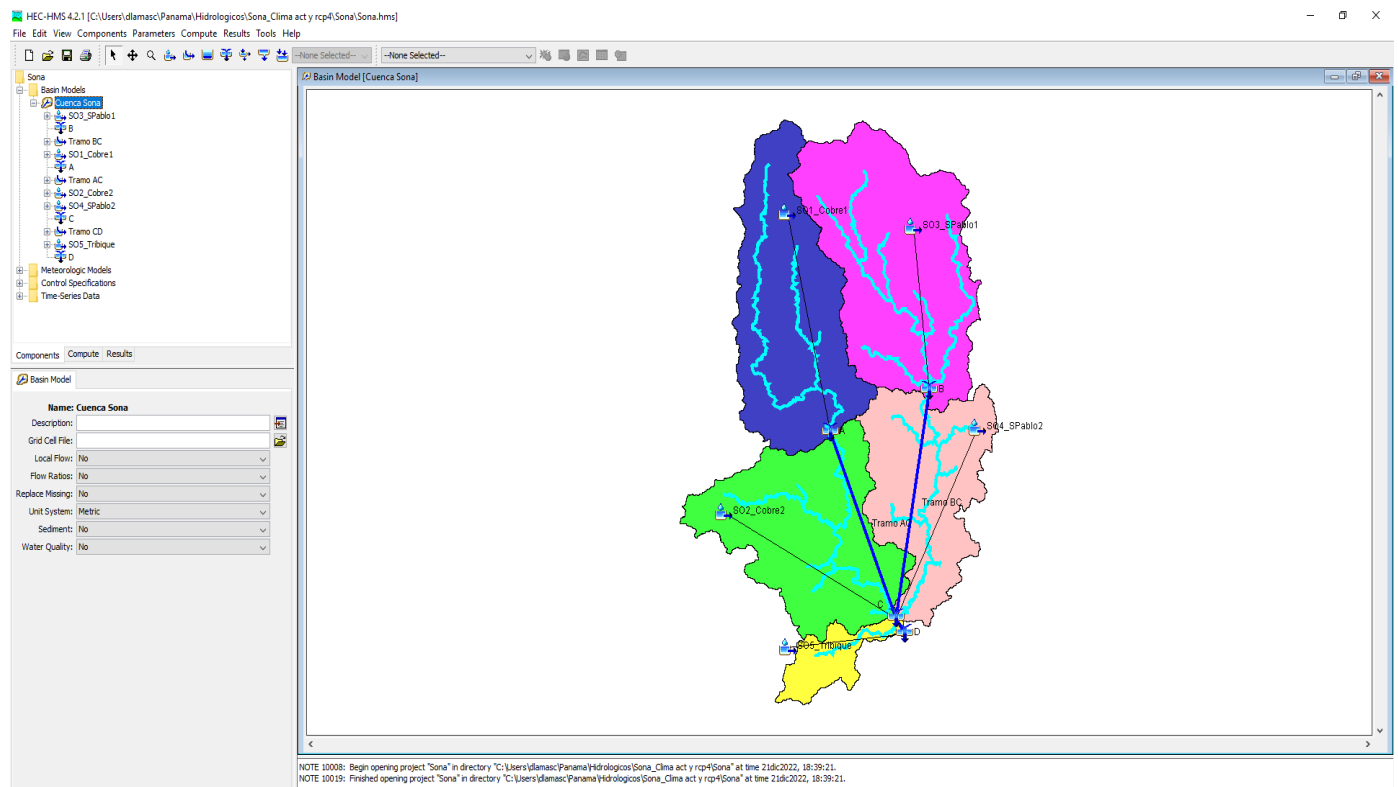
El software HMS, (Flood Hydrograph Package) desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers, es una herramienta de ayuda al cálculo donde se obtienen hidrogramas de salida en los puntos de estudio o de unión determinados sobre el cauce, mediante la aplicación del modelo matemático de transformación lluvia-escorrentía-propagación.

El modelo está diseñado en general para simular la respuesta de una cuenca compleja a la precipitación, representándola como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos; un componente puede ser una subcuenca, un tramo de río, un embalse, etc.; el resultado del proceso de simulación es el cálculo del hidrograma de avenida en los puntos deseados.

Para modelizar el río Cobre se han planteado un total de 2 subcuencas y 2 puntos de control o estudio, donde podemos conocer los resultados del hidrograma de salida. De igual modo, para modelizar el río Cobre se han planteado un total de 2 subcuencas y 2 puntos de control o estudio. Finalmente, en la modelización del río Tríbique se ha tenido en cuenta una única subcuenca, con un punto de control asociado a la salida.

Estas 5 subcuencas se relacionan entre sí a través de tramos, entre las cuales se han establecido 3 tramos diferentes. Un tramo AC que modeliza el río Cobre, conectando la parte alta de su cuenca con la salida, confluyendo con el río San Pablo (C); un tramo BC para modelizar de igual modo el río San Pablo, y un tramo CD para conectar la suma de ambas salidas (Cobre y San Pablo) con el punto de control final (D), que incluye la subcuenca y aportación del río Tríbique.

Ilustración 18. Modelo hidrológico HEC-HMS de las cuencas del Río Cobre, San Pablo y Tríbique



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

El objetivo mediante diferentes hidrogramas de entrada para cada subcuenca es conocer el caudal punta en hidrograma de salida para los períodos de retorno y puntos de control o estudio.

La transformación del exceso de precipitación en escorrentía, y por lo tanto caudales a la salida de la cuenca, se realizará mediante el método del hidrograma unitario del SCS, considerando el transporte del hidrograma mediante el método de Muskingum.

El hidrograma unitario es característico de la cada subcuenca considerada y no depende de la tormenta, pudiendo ser linealmente superpuestas las escurrimientos debidas a diferentes períodos de precipitación.

El método del hidrograma unitario del SCS requiere para el cálculo:

- El tiempo de retardo de la subcuenca (T_{lag}).

$$T_{lag} = 0.6 * 0.0136 * L^{0.8} * \frac{\left(\frac{1000}{CN-9}\right)^{0.7}}{S^{0.5}}$$

- El Número de Curva (CN).
- Las características físicas de la subcuenca: longitud de cauce (L), área (A), pendiente (S).

Para el transporte del hidrograma mediante el método de Muskingum se calcularán los parámetros correspondientes al mismo (K, X), siendo (K) el tiempo de viaje de la onda en hrs y (X) el coeficiente de ponderación que depende de los flujos de entrada y salida.

El coeficiente de ponderación suele tomar valores entre 0.1 y 0.3; en este caso se establece 0.2 de acuerdo con lo propuesta para cauces naturales en “Applied Hydrology” de Ven Te Chow.

El tiempo de viaje depende de la longitud del tramo y la velocidad de la onda.

$$K = \frac{L}{V_w}$$

V_w = velocidad de la onda (m/s).

L = longitud del cauce principal (m).

La velocidad de la onda ha sido estimada a partir del producto de la velocidad media del cauce por el ratio V_w/V , el cual es función de la forma del canal, que para el caso de cauces naturales toma un valor de 1.5 de acuerdo con la publicación “Flood-Runoff Analysis” del U.S. Army Corps of Engineers.

La velocidad media en el tramo en cuestión se estimará mediante la fórmula empírica propuesta por el Michigan Department of Natural Resources - Land and Water Management Division.

$$V = k * S^{0.5}$$

Siendo:

V = velocidad media (fps).

S = la pendiente del tramo (%).

k = coeficiente basado en el tipo de cauce, 2.1 para este caso.

Los parámetros hidrológicos para el cálculo de abstracciones, así obtenidos para las cuencas de los ríos Cobre y San Pablo se muestra a continuación.

Tabla 43. Parámetros para el cálculo de abstracciones de los ríos Cobre, San Pablo y Tribique.

PARÁMETROS PARA ABSTRACCIONES						
Identificación	Total Km ²	CN medio*	Retenc.Máx S (mm)	Pérdida Inic. la (mm)	Retardo t-lag (hrs)	Retardo t-lag (min)
Cobre 01	492	83,000	52,02	10,40	6,332	379,949
Cobre 02	471	86,000	41,35	8,27	8,273	496,376
San Pablo 01	601	82,000	55,76	11,15	4,658	279,460
San Pablo 02	363	82,000	55,76	11,15	8,104	486,233
Tribique	84	86,000	41,35	8,27	0,573	34,360

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

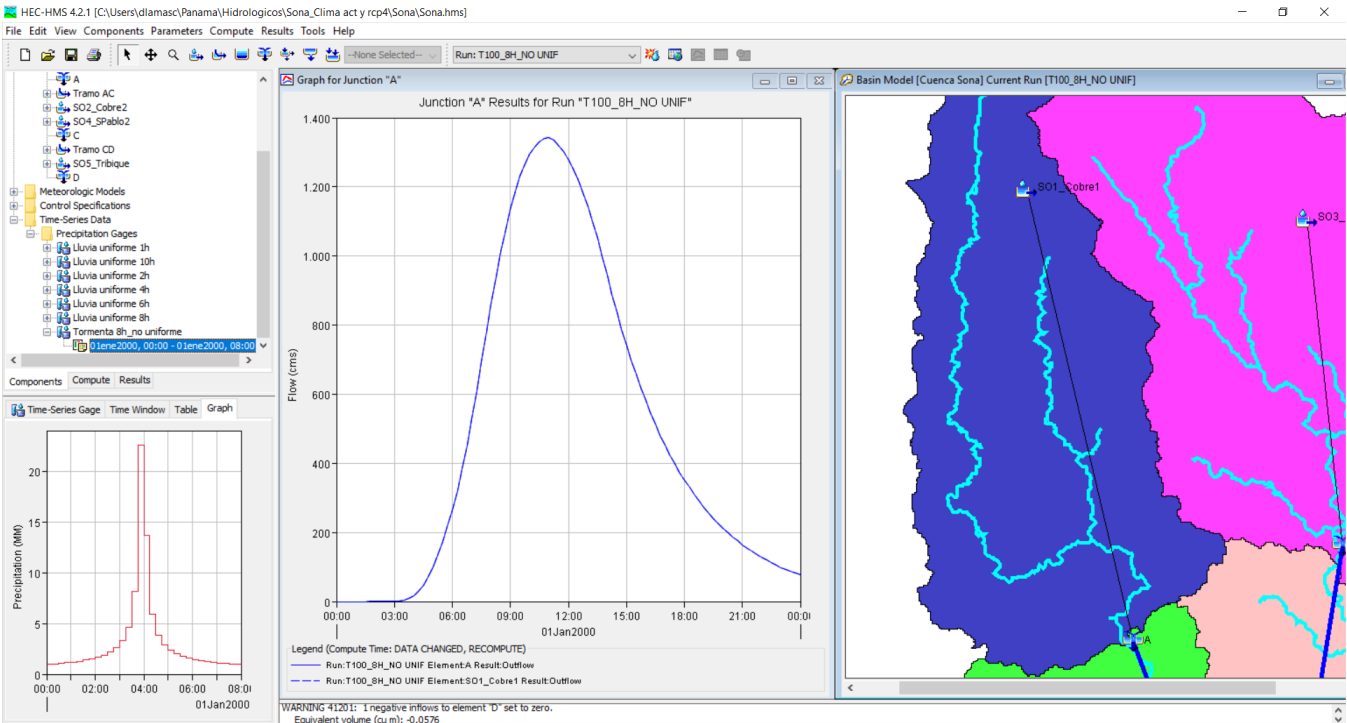
Tabla 44. Parámetros hidrológicos para la propagación del hidrograma en cada tramo de estudio.

PROPAGACIÓN DE CAUDALES									
Conexiones (C)	Cota máx. (m)	Cota mín. (m)	Pendiente (S) (%)	Pendiente (S) (m/m)	Pendiente (S) (m/km)	Longitud (L) (km)	CN medio	K (hs)	X
Tramo AC	93	11	0,19	0,002	1,902	43,115	86,00	2,482	0,20
Tramo BC	90	11	0,19	0,002	1,893	41,723	82,00	2,431	0,20
Tramo CD	11,00	5,00	0,12	0,001	1,200	5,00	86,00	0,699	1,20

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

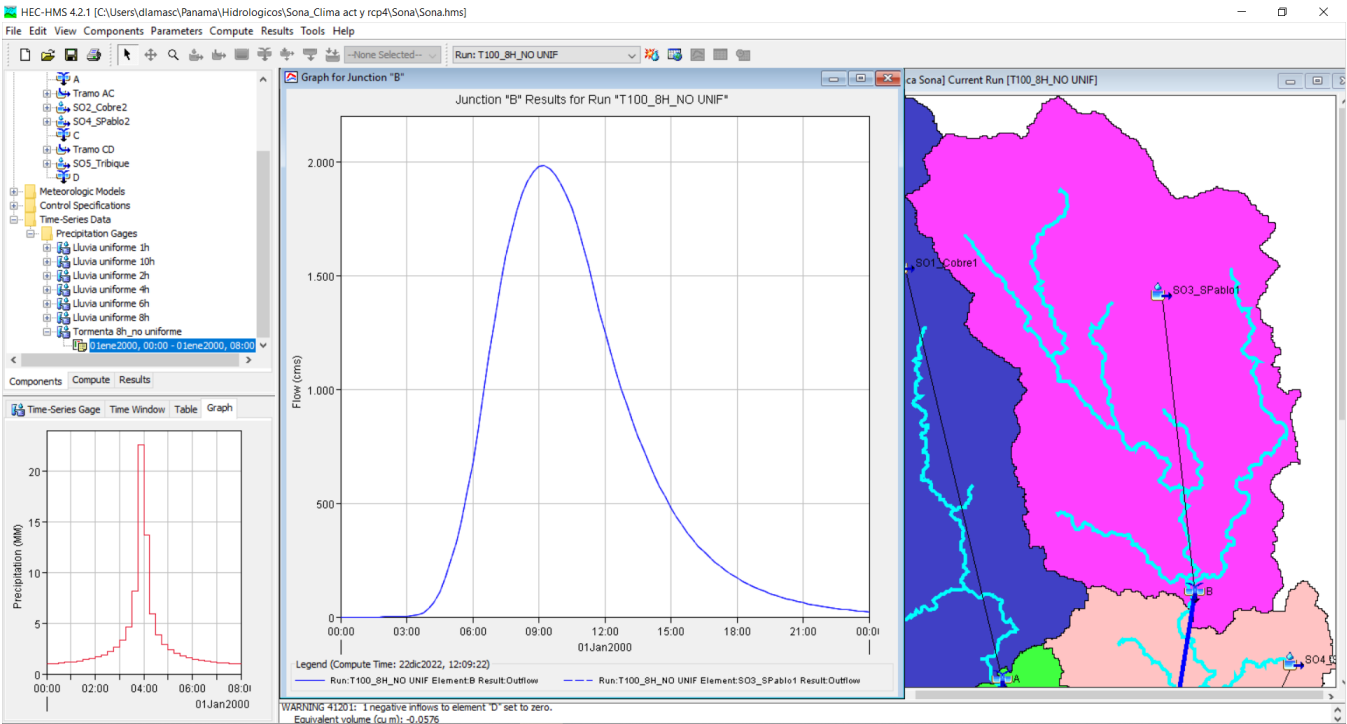
La salida del programa otorga datos y gráficas descriptivas para cada cuenca, A título ilustrativo en la siguiente ilustración se muestran los hidrogramas de salida de caudal de los ríos Cobre, San Pablo y Tribique en sus respectivos puntos de control “Salida” para el periodo de retorno de 100 años.

Ilustración 19. Hidrograma en el punto de salida de la cuenca alta del río Cobre (A), para el modelo de TR 100 años.



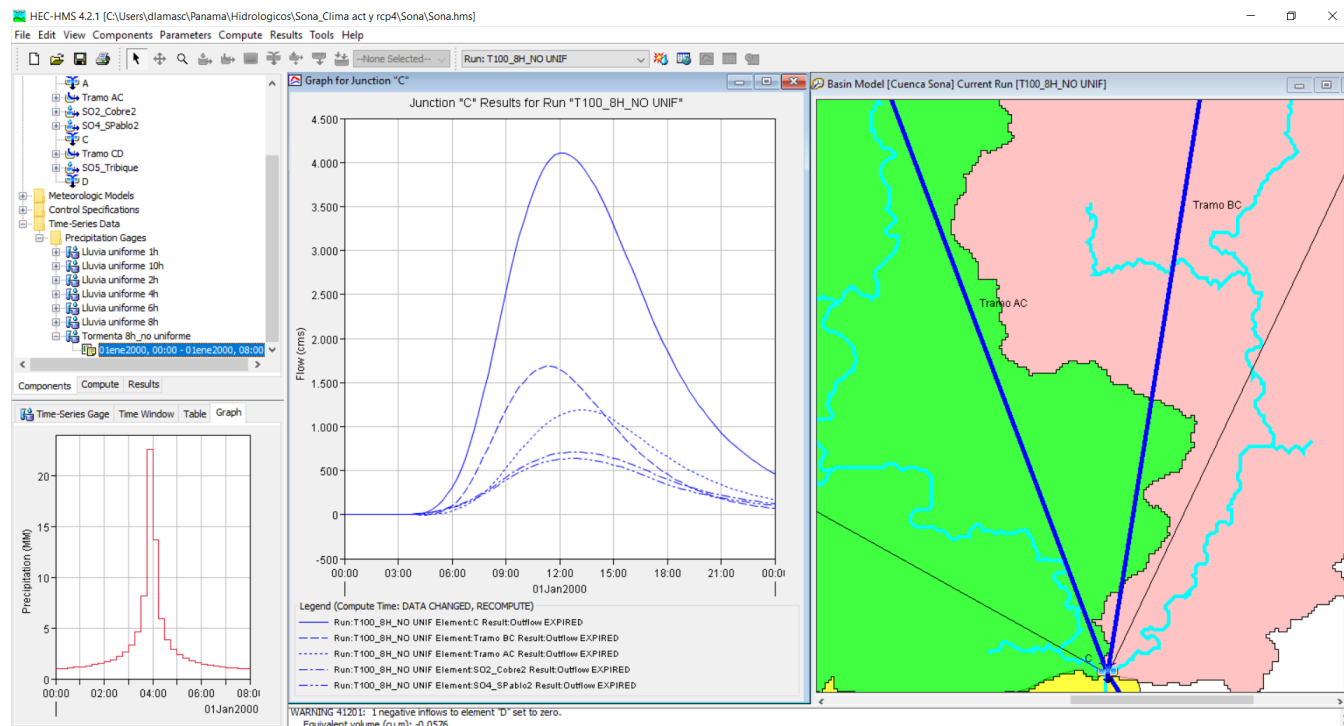
Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Ilustración 20. Hidrograma en el punto de salida de la cuenca alta del río San Pablo (B), para el modelo de TR 100 años.



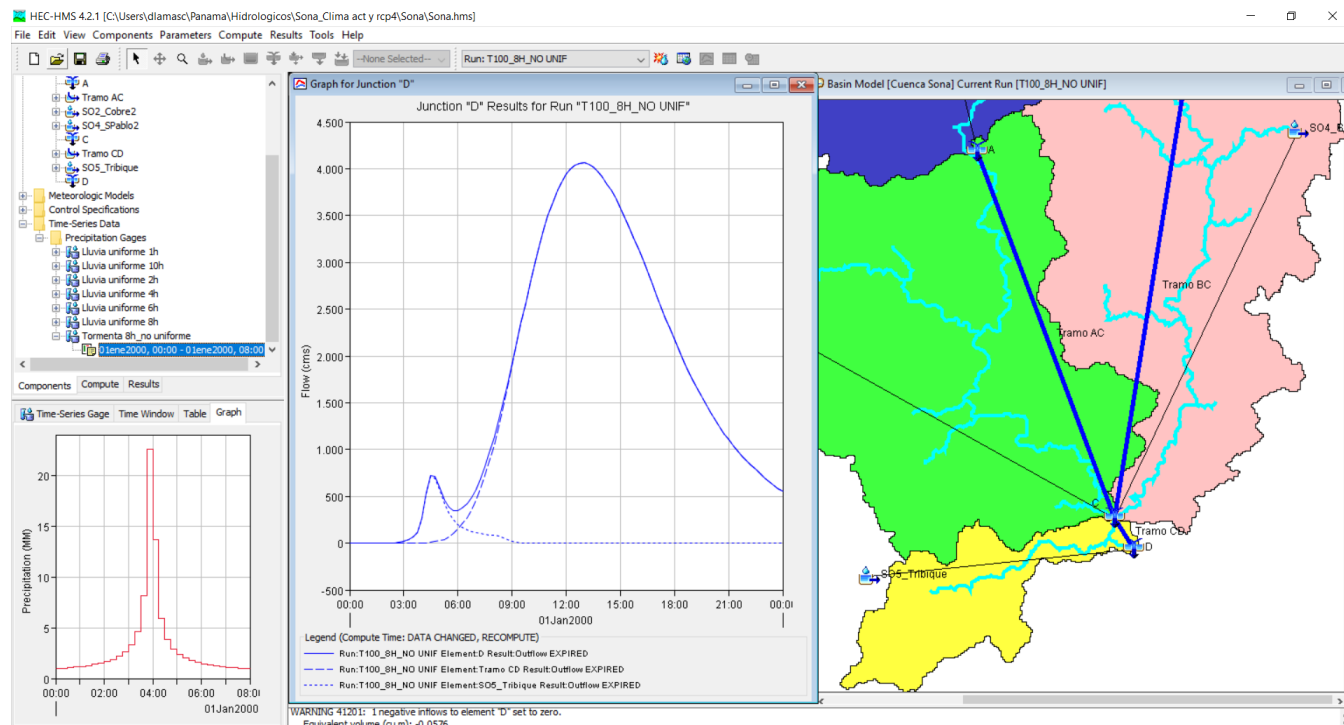
Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Ilustración 21. Hidrograma de salida en el punto de encuentro de los ríos Cobre y San Pablo (C), para el modelo de TR 100 años.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Ilustración 22 Hidrograma de salida en el punto final de la cuenca (D), para el modelo de TR 100 años.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Modelos Hidrológicos

Se muestran a continuación los principales resultados obtenidos para los modelos de las cuencas de los ríos Cobre, San Pablo y Tribique para los periodos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años.

Tabla 45. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 2 años. Clima Actual

Elemento	Área de drenaje (km²)	Caudal punta (m³/s)	Tiempo al pico	Volumen (mm)
SO3_SPablo1	601	1323,8	09:15	56,05
B	601	1323,8	09:15	56,05
Tramo BC	601	1126,0	11:30	55,45
SO1_Cobre1	492	905,3	11:00	58,89
A	492	905,3	11:00	58,89
Tramo AC	492	802,7	13:15	57,03
SO2_Cobre2	471	536,4	13:00	43,71
SO4_SPablo2	363	434,8	12:45	45,37
C	1927	2816,3	12:15	51,09
Tramo CD	1927	2786,6	13:00	50,60
SO5_Tribique	84	548,9	04:30	44,13
D	2011	2786,6	13:00	50,32

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Tabla 46. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 10 años. Clima Actual

Elemento	Área de drenaje (km²)	Caudal punta (m³/s)	Tiempo al pico	Volumen (mm)
SO3_SPablo1	601	1584,3	12:00	87,12
B	601	1584,3	12:00	87,12
Tramo BC	601	1442,6	14:00	85,24
SO1_Cobre1	492	1175,8	13:15	89,57
A	492	1175,8	13:15	89,57
Tramo AC	492	1079,1	15:30	84,94
SO2_Cobre2	471	663,8	15:00	57,74
SO4_SPablo2	363	600,2	15:00	66,92
C	1927	3736,4	14:30	74,99
Tramo CD	1927	3705,4	15:15	73,81
SO5_Tribique	84	195,7	10:00	58,79
D	2011	3705,4	15:15	73,18

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Tabla 47. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 50 años. Clima Actual

Elemento	Área de drenaje (km ²)	Caudal punta (m ³ /s)	Tiempo al pico	Volumen (mm)
SO3_SPablo1	601	1871,2	09:15	79,22
B	601	1871,2	09:15	79,22
Tramo BC	601	1589,8	11:30	78,38
SO1_Cobre1	492	1269,1	11:00	82,64
A	492	1269,1	11:00	82,64
Tramo AC	492	1125,7	13:15	80,08
SO2_Cobre2	471	684,1	13:00	55,81
SO4_SPablo2	363	605,0	12:45	63,20
C	1927	3888,2	12:15	70,44
Tramo CD	1927	3846,5	13:00	69,78
SO5_Tribique	84	687,5	04:30	54,90
D	2011	3846,5	13:00	69,16

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Tabla 48. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 100 años. Clima Actual

Elemento	Área de drenaje (km ²)	Caudal punta (m ³ /s)	Tiempo al pico	Volumen (mm)
SO3_SPablo1	601	1982,7	09:15	83,95
B	601	1982,7	09:15	83,95
Tramo BC	601	1684,2	11:30	83,06
SO1_Cobre1	492	1342,4	11:00	87,44
A	492	1342,4	11:00	87,44
Tramo AC	492	1190,9	13:15	84,74
SO2_Cobre2	471	712,6	13:00	58,16
SO4_SPablo2	363	640,0	12:45	66,87
C	1927	4104,7	12:15	74,36
Tramo CD	1927	4060,6	13:00	73,66
SO5_Tribique	84	713,5	04:30	56,93
D	2011	4060,6	13:00	72,96

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Para los efectos del Cambio Climático, como se mostró con anterioridad, se tiene una variación de +11% para el escenario RCP 4.5 y otra de -1% para el escenario RCP 8.5; lo cual demuestra que el escenario conservador (RCP 4.5) es el que presenta valores más pesimistas en relación con la variación de las lluvias, con un incremento muy superior al escenario de mayores emisiones (RCP 8.5) el cual indica una reducción en las intensidades de las lluvias. En función de esto se decide modelar únicamente el escenario pesimista para obtener la representación más crítica posible que ayude a proteger el crecimiento urbano y brindar una mayor seguridad en la categorización territorial.

Los resultados obtenidos de los modelos hidrológicos para el escenario RCP 4.5 son los siguientes:

Tabla 49. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 2 años. RCP 4.5

Elemento	Área de drenaje (km²)	Caudal punta (m³/s)	Tiempo al pico	Volumen (mm)
SO3_SPablo1	601	1439,7	09:15	60,95
B	601	1439,7	09:15	60,95
Tramo BC	601	1224,2	11:30	60,30
SO1_Cobre1	492	983,7	11:00	64,00
A	492	983,7	11:00	64,00
Tramo AC	492	872,3	13:15	61,99
SO2_Cobre2	471	571,4	13:00	46,57
SO4_SPablo2	363	470,4	12:45	49,10
C	1927	3047,7	12:15	55,27
Tramo CD	1927	3015,5	13:00	54,74
SO5_Tribique	84	583,8	04:30	46,83
D	2011	3015,5	13:00	54,41

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Tabla 50. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 10 años. RCP 4.5

Elemento	Área de drenaje (km²)	Caudal punta (m³/s)	Tiempo al pico	Volumen (mm)
SO3_SPablo1	601	1754,9	09:15	74,29
B	601	1754,9	09:15	74,29
Tramo BC	601	1491,3	11:30	73,50
SO1_Cobre1	492	1193,7	11:00	77,72
A	492	1193,7	11:00	77,72
Tramo AC	492	1058,8	13:15	75,30
SO2_Cobre2	471	658,1	13:00	53,68
SO4_SPablo2	363	568,2	12:45	59,34
C	1927	3666,8	12:15	66,45
Tramo CD	1927	3627,7	13:00	65,82
SO5_Tribique	84	666,2	04:30	53,24
D	2011	3627,7	13:00	65,30

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Tabla 51. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 50 años. RCP 4.5

Elemento	Área de drenaje (km²)	Caudal punta (m³/s)	Tiempo al pico	Volumen (mm)
SO3_SPablo1	601	2053,8	09:15	86,97
B	601	2053,8	09:15	86,97
Tramo BC	601	1744,6	11:30	86,06

Elemento	Área de drenaje (km ²)	Caudal punta (m ³ /s)	Tiempo al pico	Volumen (mm)
SO1_Cobre1	492	1391,3	11:00	90,64
A	492	1391,3	11:00	90,64
Tramo AC	492	1234,4	13:15	87,85
SO2_Cobre2	471	736,6	13:00	60,13
SO4_SPablo2	363	661,6	12:45	69,14
C	1927	4249,9	12:15	76,99
Tramo CD	1927	4204,1	13:00	76,27
SO5_Tribique	84	738,7	04:30	58,90
D	2011	4204,1	13:00	75,54

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Tabla 52. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 100 años. RCP 4.5

Elemento	Área de drenaje (km ²)	Caudal punta (m ³ /s)	Tiempo al pico	Volumen (mm)
SO3_SPablo1	601	2178,6	09:15	92,27
B	601	2178,6	09:15	92,27
Tramo BC	601	1850,8	11:15	91,30
SO1_Cobre1	492	1473,4	11:00	96,02
A	492	1473,4	11:00	96,02
Tramo AC	492	1307,3	13:15	93,07
SO2_Cobre2	471	768,6	13:00	62,75
SO4_SPablo2	363	700,9	12:45	73,25
C	1927	4492,3	12:15	81,38
Tramo CD	1927	4443,8	13:00	80,62
SO5_Tribique	84	767,7	04:30	61,17
D	2011	4443,8	13:00	79,81

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Modelos Hidráulicos

Para la simulación del flujo en lámina libre se ha usado el modelo de cálculo IBER desarrollado por la Universidad Politécnica de Catalunya y la Universidad de La Coruña en el marco de un Convenio entre el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y la Dirección General del Agua del Gobierno de España.

El modelo trabaja sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, que constituye la base de IBER, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de St. Venant 2D). Dichas ecuaciones asumen una distribución de presión hidrostática y una distribución relativamente uniforme de la velocidad en profundidad. La hipótesis de presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo en ríos, así como la hipótesis de distribución uniforme de velocidad.

En el módulo hidrodinámico se resuelven las ecuaciones de conservación de la masa y de momento en las dos direcciones horizontales:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = M_s$$

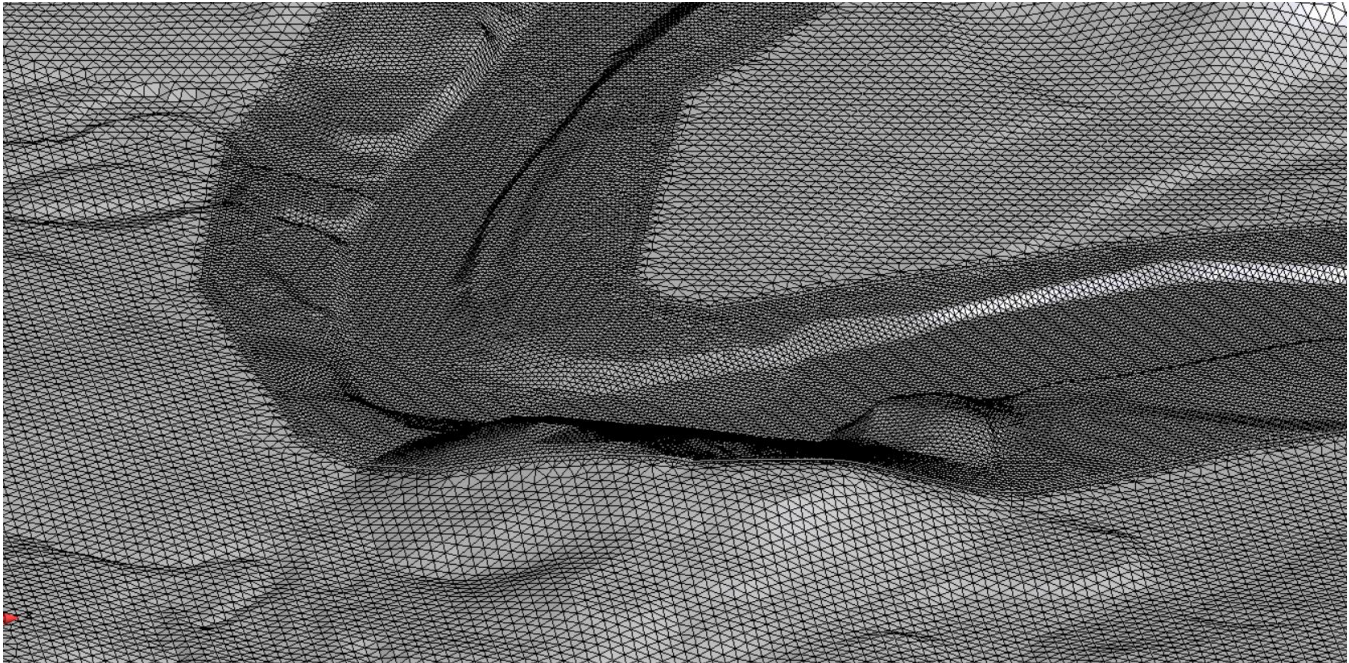
$$\frac{\partial h U_x}{\partial t} + \frac{\partial h U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{g}{\rho} \frac{h^2}{2} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \Omega \sin \lambda U_y + \frac{\partial h \tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x$$

$$\frac{\partial h U_y}{\partial t} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial h U_y^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{g}{\rho} \frac{h^2}{2} \frac{\partial p}{\partial y} - 2 \Omega \sin \lambda U_x + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y$$

En donde h es el calado, U_x, U_y son las velocidades horizontales promediadas en profundidad, g es la aceleración de la gravedad, Z_s es la elevación de la lámina libre, τ_s es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento, τ_b es la fricción debido al rozamiento del fondo, ρ es la densidad del agua, Ω es la velocidad angular de rotación de la tierra, λ es la latitud del punto considerado, τ_{xx}, τ_{xy}, τ_{yy} son las tensiones tangenciales efectivas horizontales, y M_s, M_x, M_y son respectivamente los términos fuente/sumidero de masa y de momento, mediante los cuales se realiza la modelización de precipitación, infiltración y sumideros.

Se ha empleado un MDT de alta precisión obtenido para la zona de estudio con el fin de realizar los modelos hidráulicos que permitan tener una idea de las posibles inundaciones en las cercanías de los Río Cobre, San Pablo y Tríbique a su paso por la ciudad de Soná y sus posibles zonas de expansión.

Ilustración 23. Detalle de Malla de cálculo no estructurada desarrollada para el modelo hidráulico de la zona de estudio en Soná.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022.

Cabe resaltar que las entradas de los modelos hidráulicos se corresponden con los caudales obtenidos mediante el diseño de tormentas del modelo hidrológico empleado. Por lo tanto, se está llevando a cabo una modelización hidráulica en régimen natural de los ríos San Pablo, Cobre y Tríbique. No obstante, el río San Pablo presenta una central hidroeléctrica a unos 70 km aguas arriba de su paso por la ciudad de Soná. La Central Hidroeléctrica de Las Cruces, con 56m de altura, afectará al régimen natural de caudales del río San Pablo, laminando las avenidas en menor o mayor medida.

141

Este embalse recoge las aguas del río San Pablo en su tramo alto, en una cuenca aproximada de 350 km², frente a la totalidad de la cuenca, de un área de unos 2,000 km² (<18% del total). Este tramo superior del río, que vierte aguas al embalse, ha sido tenido en cuenta en la modelización, con todo el aporte de agua que conlleva. Es decir, sí se ha considerado la cuenca asociada a la presa de la central hidroeléctrica, pero en régimen natural, manteniendo una perspectiva conservadora y no considerando la posible laminación de la presa, ya que no se conoce el nivel de llenado de ésta en el momento del evento analizado. Esto supone una simplificación del lado de la seguridad, ya que la mayor avenida en régimen natural empleada en la modelización será mayor que el aporte que realice el embalse. Tampoco se trata de un sobredimensionamiento excesivo del caudal de avenida, ya que la cuenca asociada es menor al 18% del total y no es una presa cuyo propósito sea laminar avenidas sino la explotación hidroeléctrica, por lo que su capacidad de laminación de avenidas es más limitada.

Calibración

Hay que reseñar que estos modelos son representaciones de la realidad, diseñados a partir de información geográfica y herramientas de cálculo que nos permiten aproximarnos a la situación real de una cuenca hidrográfica para estimar distintos eventos de inundación. No obstante, estos modelos han de ser calibrados mediante el estudio de datos históricos e incluyendo la opinión de expertos locales. En este sentido, la modelización presentada ha sido compartida con personal experto del SINAPROC local,

cuya aportación ha sido esencial para poder aterrizar la modelización y contrastarla con datos históricos reales.

El proceso de calibración consiste en todas aquellas modificaciones de las distintas informaciones de entrada del modelo que nos permiten ajustar más los resultados a la realidad, tanto en frecuencia del evento como en profundidad de inundación. Los ajustes llevados a cabo en el proceso de calibración conllevan, por una parte, cambios en los modelos de elevaciones, ya que la capa de altitudes de partida puede contener ciertos errores o incoherencias que acaban generando inundaciones donde no debería haberlas, o viceversa. De igual modo, también se han retocado los caudales de entrada, teniendo en cuenta los eventos históricos analizados, ya que los primeros modelos se ejecutan con una tormenta ideal que frecuentemente tiende a sobredimensionar los eventos con respecto a la realidad.

Gracias a las sesiones de seguimiento de los POTs con los miembros del SINAPROC, se han registrado diversas experiencias en ciudad de Soná que han permitido ajustar los modelos. De igual modo, se han analizado los datos históricos de inundaciones registrados en la plataforma DESINVENTAR.

Ilustración 24. Consulta de eventos registrados en la Plataforma DESINVENTAR.

**UNDRR**

DesInventar Sendai

SENDAI FRAMEWORK

FOR DISASTER RISK REDUCTION

HOME

ANALYSIS

ADMINISTRATION

DOWNLOAD

ABOUT

GE

Profile

Query

View data

View map

Charts

Statistics

Reports

Thematic

Crosstab

Region **Panama** - [pan]

Data: Query Results

☒ Standard ☐ Extension

Serial	Event	PROVINCIA	DISTRITO	CORREGIMIENTO	Date	Location
1580	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2000/09/20	
1578	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2000/09/21	
1577	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2000/09/24	San Isidro
1485	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2000/06/21	Calle El MIDA
1402	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	BAHÍA HONDA	1999/11/07	Salmonete Río Seco
1350	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	1999/10/03	Calle El Mida
1297	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ		1999/06/19	
1284	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	1998/11/18	Barriada El MIDA San Isidro El Coquito
1241	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	1998/11/03	El Lago Omar Torrijos Don Bosco
1209	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	BAHÍA HONDA	1998/10/21	Salmonete
2014-00414	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	RÍO GRANDE	2014/12/14	SECTOR DE MADRE VIEJA.
2013-00050	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2013/09/17	BARRIADA EL LAGO
2012-00129	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2012/10/24	SONA CABECERA
P1825	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ		1994/11/07	Río Tribilin
2011-00094	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ		2011/09/27	BDA EL LAGO, DON BOSCO, BDA OMAR TORRIJOS.
2010-00097	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ		2010/11/18	BDA EL LAGO, BARRIO CHINO, EL PUERTO, OMAR TORRIJOS HERRERA
2010-00092	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ		2010/11/06	SANTA FE Y MARIATO
1988-1101	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	1988/11/02	LAS COMUNIDADES DEL LAGO, TRIBIQUE, BUENA VISTA, OMAR TORRIJOS.
2009-11-01	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2009/11/03	BARRIADAS EL LAGO, EL MIDA, BARRIO CHINO, LA FERIA.
2008-00026	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2008/05/28	rio san pedro
1996-07-01	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	1996/07/02	RIOS SAN PABLO DE SONA, MARIATO, SUAY, PONUGA, TEBARRIO Y NEGRO.
3582	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ		LA SOLEDAD 2008/05/30	Soledad Coibita y Cative
3409	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2007/10/16	Barriada Don Bosco.
3408	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2007/10/16	Calle El MIDA
3407	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2007/10/16	Barriada Omar Torrijos.
3406	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2007/10/16	Barriada el Lago.
3337	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2007/09/19	Calle El MIDA.
3336	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2007/09/19	Barriada Omar Torrijos.
3335	FLOOD	VERAGUAS	SONÁ	SONÁ (CABECERA)	2007/09/19	Barriada El Lago.

Fuente: <https://www.desinventar.net/>

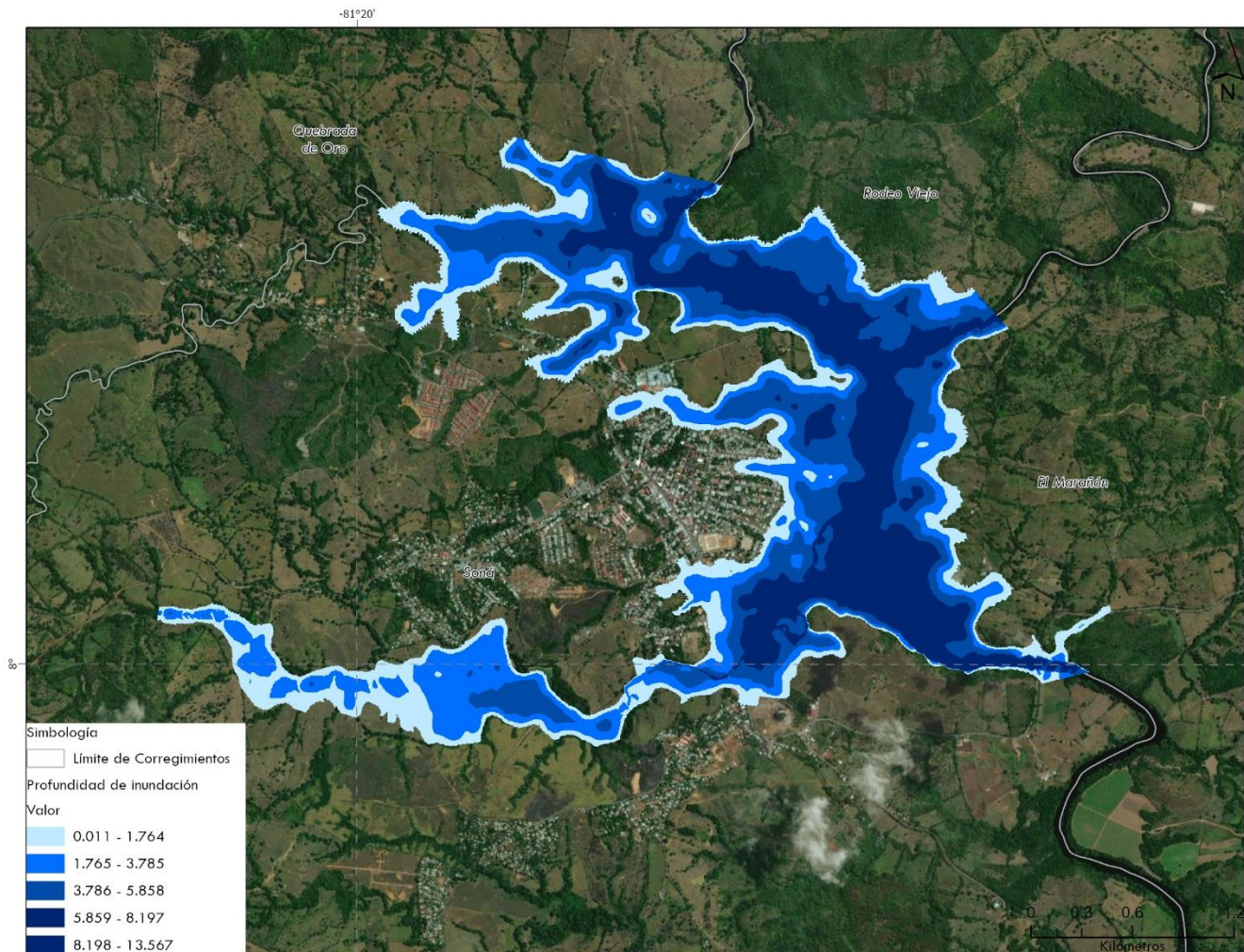
2.4.3. Resultados obtenidos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la modelización del riesgo de inundaciones, fruto de la metodología anteriormente expuesta.

Resultados de la amenaza

De manera representativa, a continuación, se muestra el mapa de calados máximos en la zona de estudio establecida para la ciudad de Soná para un período de retorno de 100 años en escenario de cambio climático RCP4.5, siendo este el que proyecta mayores incrementos de precipitación, y por tanto el modelo de inundación más pesimista, y por tanto más útil para los trabajos de zonificación del presente Plan.

Mapa 7. Profundidad de inundación T100RCP4.5 de los ríos Cobre, San Pablo y Tríbique a su paso por la ciudad de Soná.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

En la siguiente imagen, a modo de ejemplo, se muestra un detalle comparativo a modo cualitativo entre las manchas de inundación en el río San Pablo a su paso por Soná, para el evento con período de retorno de 2 años y el de 100 años bajo escenario de cambio climático. Estos supondrían ambos extremos de la modelización, mostrando el evento de menor y mayor afección.

Ilustración 25. Detalle comparativo entre las manchas de inundación del evento con período de retorno T2 con clima actual (verde) y T100RCP4.5 (naranja)



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

Análisis de exposición

A partir de las distintas manchas de inundación elaboradas para los distintos períodos de retorno y proyecciones climáticas, se pueden analizar las edificaciones que quedan expuestas a dichos eventos. A continuación, por tanto, se hará un recorrido por las distintas zonas de la ciudad que presentan afección por inundaciones según la modelización llevada a cabo.

Las avenidas generadas con un período de retorno de 100 años (tanto en para el clima actual como el escenario RCP4.5 de cambio climático) parecen ocasionar afecciones en la ciudad de Soná. En particular, puede apreciarse cómo las zonas sur y sureste de la ciudad son las más expuestas ante inundaciones del río San Pablo, en el ámbito de su confluencia con el río Tríbique. Esto concuerda con la información recibida por las autoridades locales.

Ilustración 26. Zonas afectadas por inundación en Soná con un T100RCP4.5.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2022

Como se aprecia en la anterior imagen, la zona Este y Sureste de la ciudad quedan fuertemente expuestas a las inundaciones. Esta exposición se da tanto para períodos de retorno bajos como períodos de retorno altos. No obstante, cabe destacar la clara diferencia entre profundidades de inundación que se da entre los eventos más frecuentes (T2, T10) y aquellos con altos períodos de retorno (T50, T100). Este hecho se constatará en el posterior apartado, donde se evalúan los daños generados por cada avenida.

Los resultados de la modelización se ajustan a los datos históricos de inundaciones con períodos de retorno registrados cada 2 – 10 años, según muestran los datos recogidos en la plataforma DESINVENTAR. Por ejemplo, en esta plataforma se citan inundaciones frecuentes en la calle El Mida, en la barriada Don Bosco, que aparecen reflejadas en los modelos de tiempo de retorno más bajos. Del mismo modo sucede con la barriada El Lago, Omar Torrijos.

Ilustración 27 Detalle de inundaciones en las barriadas más expuestas a inundación para eventos con período de retorno T2 (verde) y T10 (rosa) con clima actual



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

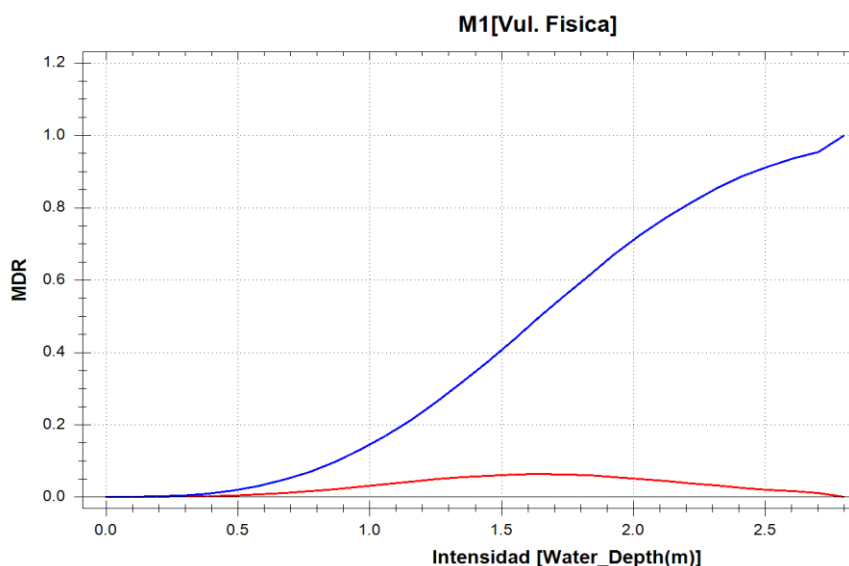
Análisis de vulnerabilidad

El análisis de la vulnerabilidad de las edificaciones expuestas permitirá estimar los daños ocasionados por cada evento, dependiendo de su magnitud. Estos daños se han dividido en exteriores, que dependen de las características constructivas de la edificación, e interiores, teniendo en cuenta los daños a bienes y enseres dentro de la edificación.

De cara a calcular los daños exteriores ocasionados por cada evento, se cuenta con las curvas ERN de vulnerabilidad que definen un porcentaje de daño que, asociado al valor de la vivienda, determina el precio del daño en función del calado y de los materiales constructivos. Estas curvas nos dan la información de la vulnerabilidad de las edificaciones, ya que nos indica en qué grado la misma se verá afectada para cada valor de evento.

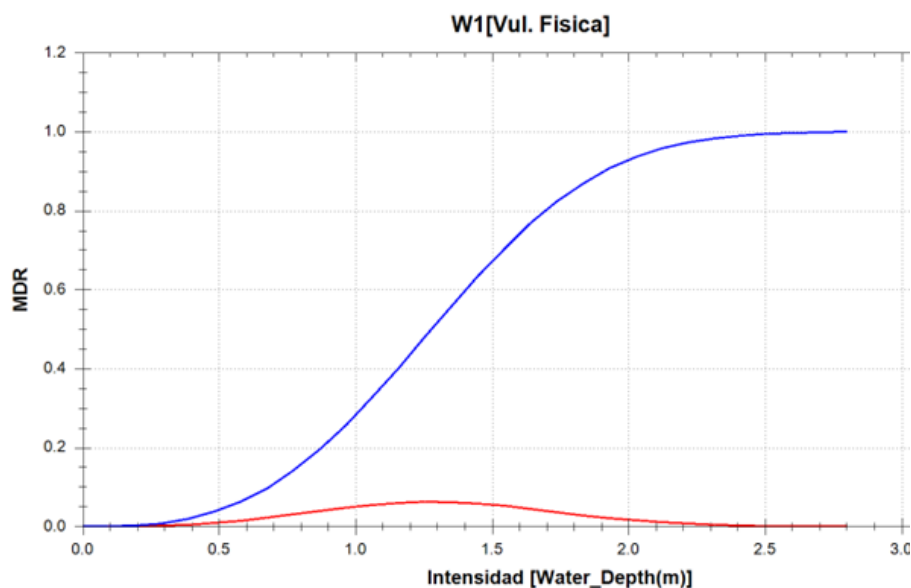
En cuanto a los materiales de construcción caracterizados en la modelización, se ha diferenciado entre dos tipos de material de vivienda según su vulnerabilidad frente a inundaciones: block/concreto, y madera/zinc. Las curvas MDR para estos materiales son:

Ilustración 28. Curva MDR para los materiales constructivos de block y concreto.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

Ilustración 29. Curva MDR para los materiales constructivos de madera y zinc.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

Estas curvas MDR representan la intensidad del evento en el eje horizontal, medido en metros de profundidad de inundación, y el porcentaje de daño a la edificación en su eje vertical, en tanto por 1. De esta manera, pueden enlazarse las distintas profundidades de inundación con un grado de daño a la edificación, que, dependiendo de su tipología, conllevará menor o mayor precio de reposición por superficie afectada.

Para estimar el precio de reposición de las viviendas dañadas, las edificaciones caracterizadas se han clasificado en 3 tipos de construcción: A, B y C, teniendo en cuenta el espectro que encontramos, desde bancos y edificios gubernamentales, supermercados y viviendas familiares, hasta canchas de fútbol y parques.

. Tabla 53. Tabla de estimación de coste de reposición por cada m² de vivienda afectado.

TIPO	USD/m²
A	355.06
B	297.62
C	70

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

Paralelamente, los daños internos se han estimado teniendo en cuenta el criterio establecido por la siguiente tabla.

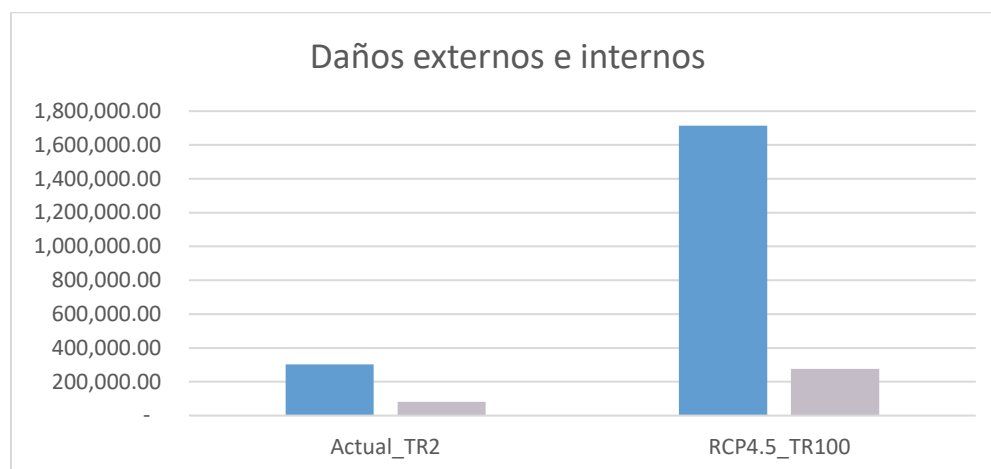
Tabla 54. Tabla de estimación de daños internos empleada en la estimación de la vulnerabilidad de las edificaciones.

Bienes de la vivienda	Precios	Calados							
	Precio Unitario (Dolares)	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
TV	284.0	0	0	0	0	100	100	100	100
Videocasetera	28.4	0	0	0	0	0	100	100	100
Licuada	49.7	0	0	0	0	0	100	100	100
Refrigerador*	284.0	0	70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	213.0	0	70	80	90	100	100	100	100
Teléfono	7.1	0	0	0	0	0	100	100	100
Boiler (caldera)	106.5	0	0	0	0	0	0	100	100
Computadora	426.0	0	0	0	0	0	100	100	100
Estufa	106.5	0	0	0	0	100	100	100	100
Sala-Comedor	142.0	10	30	50	80	100	100	100	100
Recámaras-colchón	213.0	0	0	90	100	100	100	100	100
TOTAL		14.20	390.60	660.40	774.00	1242.60	1753.90	1860.40	1860.40

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

Como se ha comentado previamente, los períodos de retorno más bajos generan avenidas con profundidades de inundación mucho menores. Esto, aunque las superficies afectadas sean aproximadamente similares, acaba por generar un volumen de daños muy diferente entre ambos tipos de avenida. Un ejemplo comparativo entre los eventos más extremos, con un T2 en clima actual y un T100 en cambio climático, se muestra a continuación.

Ilustración 30. Tabla comparativa de daños externos (azul) e internos (gris) entre las avenidas de menor y mayor afección.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

Diseño basado en riesgo

El riesgo de inundaciones en el distrito de Soná se ha llevado a cabo a través de la metodología previamente descrita. En primer lugar, se ha caracterizado la amenaza de inundación para cada período de retorno con clima actual y con proyección de cambio climático. Posteriormente se ha llevado a cabo un análisis de los datos existentes en cuanto a edificaciones expuestas y su vulnerabilidad. A través de la afección ocasionada por cada evento analizado, así como su probabilidad de ocurrencia, se calcula la pérdida anual esperada (PAE), que se considerará la representación estadística del riesgo.

Las Pérdidas Anuales Esperadas son una medida utilizada en la evaluación de riesgos para estimar el promedio anual de las pérdidas económicas que una sociedad o una organización podría esperar sufrir debido a un evento o fenómeno peligroso, como puede ser un terremoto, una inundación o un incendio.

La PAE se calcula multiplicando la probabilidad anual de ocurrencia del evento peligroso por las pérdidas económicas esperadas en caso de que el evento ocurra. Es decir, la PAE no indica las pérdidas que se esperan en un evento en particular, sino el promedio anual de pérdidas que se esperan a lo largo del tiempo. Este cálculo es importante en la gestión de riesgos, ya que puede ser utilizado para comparar diferentes opciones de reducción de riesgos y evaluar su efectividad. La PAE también puede ser utilizada como una herramienta de planificación y para la toma de decisiones, ya que permite a las organizaciones y gobiernos estimar los recursos necesarios para la gestión de riesgos y planificar la respuesta ante eventos peligrosos.

La PAE viene definida por los dos costes desarrollados previamente, el coste exterior y el interior, evaluado con respecto a diferentes periodos de retorno y su frecuencia de ocurrencia asociada. De tal manera, la PAE es la integral de la curva definida por los costes totales y la frecuencia de esos costes.

En la tabla expuesta a continuación, se muestran los resultados de las Pérdidas Anuales Esperadas para los 2 escenarios climáticos considerados (Actual y Cambio climático RCP4.5)

Tabla 55. Resultados del análisis de la PAE en el distrito de Soná para los 2 escenarios climáticos considerados

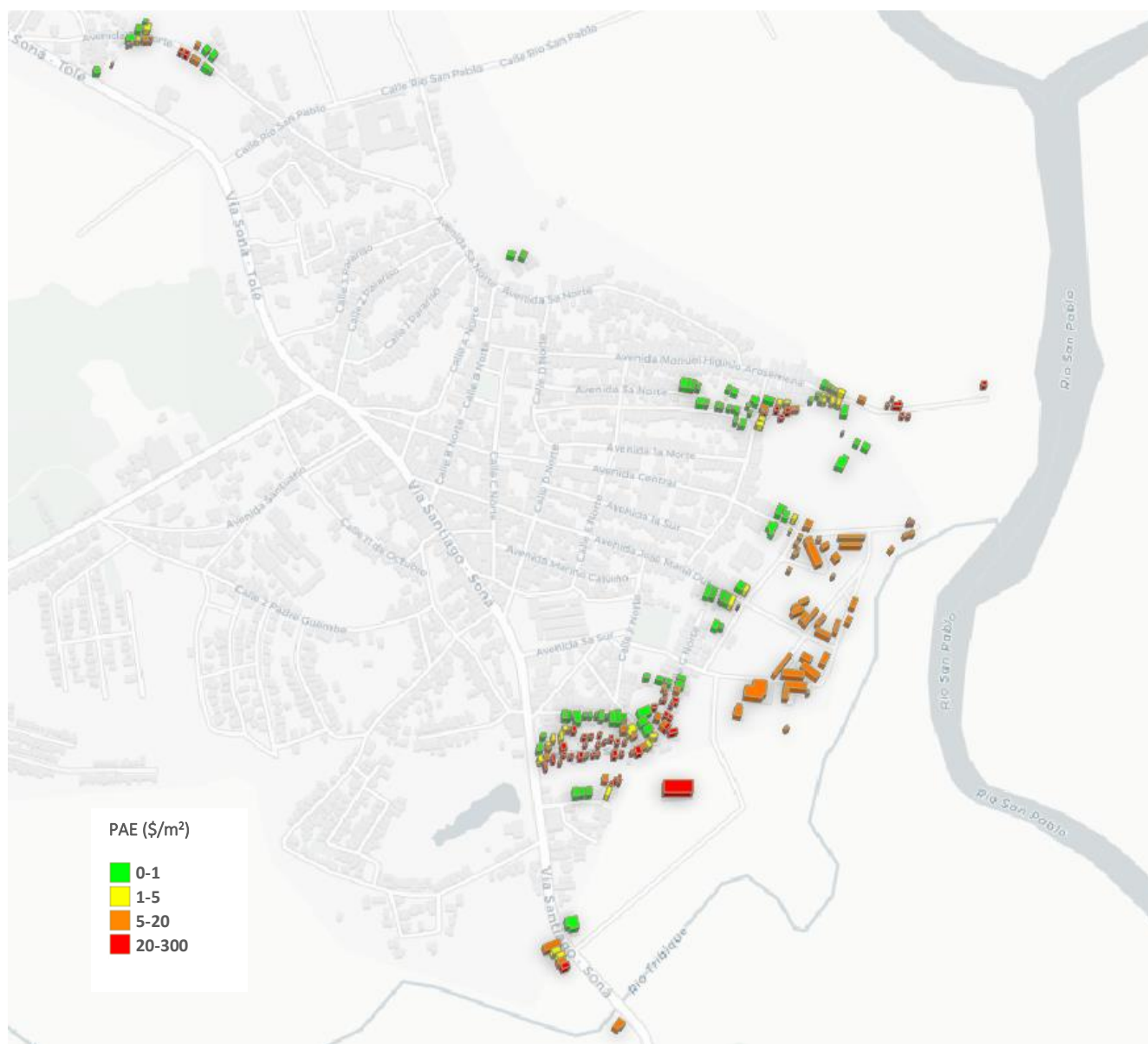
Costes	T	Coste_Daño_Exterior	Coste_Bienes_Interior	Total	Frecuencia evento	Daños totales [PAE]
Actual_TR1	1				1	424,257.56
Actual_TR2	2	303,088.90	81,537.68	384,626.59	0.5	
Actual_TR10	10	600,371.68	137,484.33	737,856.01	0.1	
Actual_TR25	25	836,697.47	166,888.46	1,003,585.93	0.04	
Actual_TR50	50	1,050,227.15	196,129.26	1,246,356.41	0.02	
Actual_TR100	100	1,287,076.28	221,585.38	1,508,661.66	0.01	
RCP4.5_TR1	1				1	565,192.88
RCP4.5_TR2	2	397,103.53	100,979.48	498,083.01	0.5	
RCP4.5_TR10	10	851,707.97	166,419.81	1,018,127.78	0.1	
RCP4.5_TR25	25	1,205,117.65	213,455.04	1,418,572.69	0.04	
RCP4.5_TR50	50	1,470,713.89	242,021.28	1,712,735.18	0.02	
RCP4.5_TR100	100	1,713,515.97	275,870.46	1,989,386.43	0.01	

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

Como muestra la tabla de análisis de la PAE, la estimación de las Pérdidas Anuales Esperadas para el escenario de clima actual asciende a cerca de \$425,000, mientras que en cambio climático estas pérdidas ascenderían hasta cerca de los \$565,000.

Esta PAE ha sido mapeada a través del reparto del riesgo entre las distintas edificaciones, multiplicando cada uno de los daños ocasionados en cada edificación por cada evento por la probabilidad de ocurrencia de dicho evento. Los resultados de este proceso han sido agregados y divididos por la superficie de cada edificación, de modo que quede representado el factor riesgo por ocurrencia y gravedad del evento, y no tanto por daño total ocasionado a una vivienda en particular, dado que éste depende de su tamaño e imposibilitaría la comprensión del mapa.

Mapa 8. Mapeo de las Pérdidas Anuales Esperadas (PAE) en el distrito de Soná.



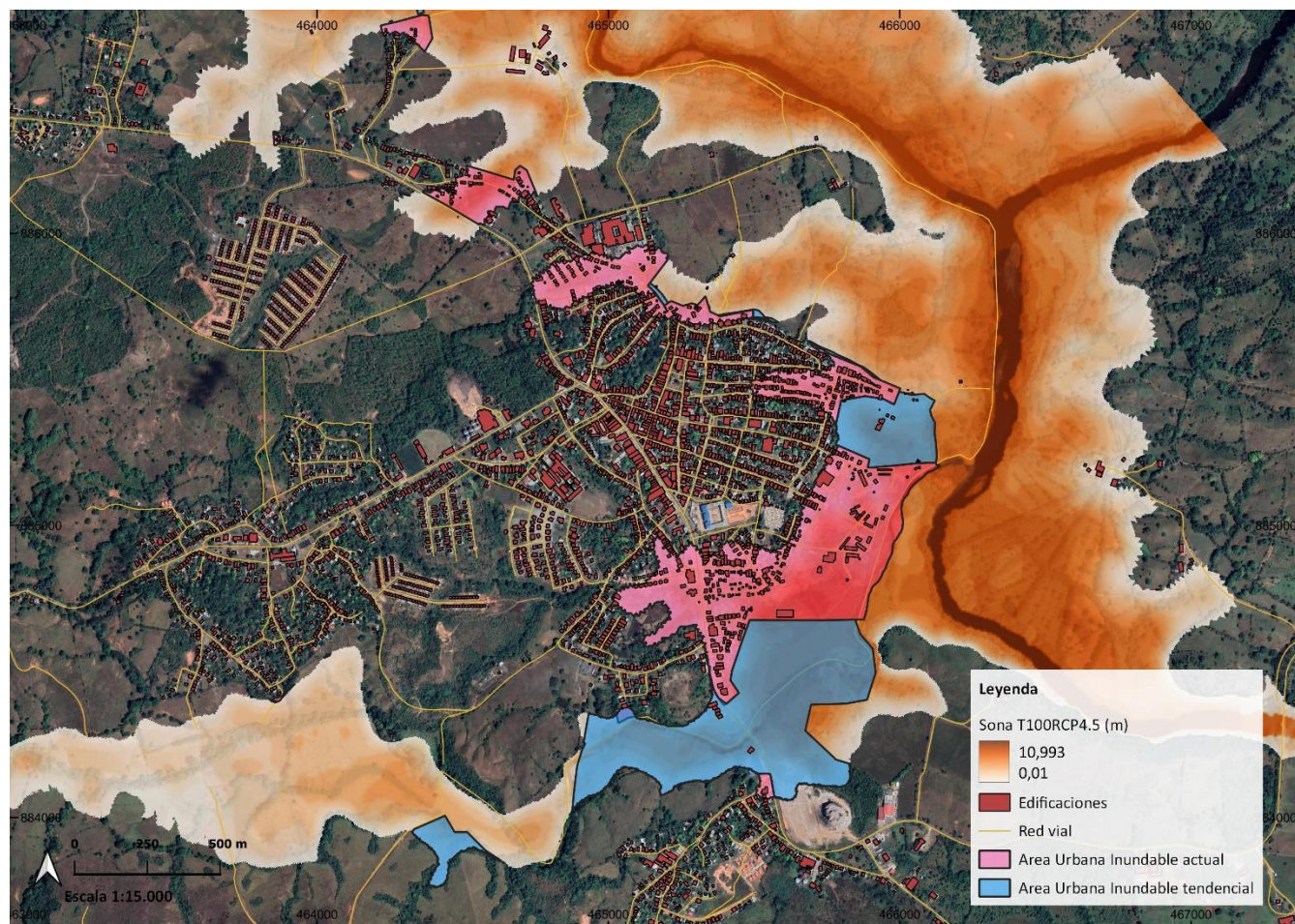
Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

La pérdida anual esperada es el coste asociado a los daños generados por el evento, en función de su magnitud y su frecuencia. Para reducir estas pérdidas, ocasionadas virtualmente cada año por los eventos de inundaciones, se deben tomar medidas de mitigación de riesgos de inundación en el distrito. Tal y como se ha comentado en apartados previos, hay diversos problemas sobre los que se puede actuar. Gracias a la modelización empleada, así como los registros históricos estudiados y la consulta a grupos de expertos locales, podremos focalizar las zonas sobre las que actuar para tratar de priorizar las actuaciones a realizar para mitigar los riesgos de inundación.

El riesgo de inundaciones en el distrito, analizado mediante las Pérdidas Anuales Esperadas (PAE) se ha calculado a través del cruce de las distintas capas de inundación con la información de exposición en situación actual. Esta exposición, basada en un mapeo de las edificaciones de Soná, variará con los años, lo que podría dar lugar a un aumento del riesgo. Esta situación de potencial incremento del riesgo

se ha evaluado a través del análisis cartográfico de los escenarios de expansión del área urbana tendencial con los que trabaja el consorcio para la elaboración de los POTs. En la siguiente imagen se refleja el cruce entre la mancha de inundación más restrictiva considerada, con un período de retorno de 100 años en cambio climático, con las capas de área urbana en zona inundable actualmente y según el escenario tendencial de crecimiento.

Ilustración 31: Aumento potencial del área urbana en zona inundable en un escenario de crecimiento tendencial en Soná.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

De este análisis se puede discernir que un aumento del área urbana de las características representadas por el escenario tendencial supondría un aumento de superficie expuesta a inundaciones de 43 hectáreas, lo que, según las estimaciones, conllevaría un aumento de las pérdidas anuales esperadas de \$346,000. Por tanto, de cumplirse esta situación la PAE ascendería hasta un total de \$770,000. Esto refleja la especial importancia de atender a una asignación de usos del suelo que trate de alejar la exposición de las edificaciones de las zonas inundables.

En paralelo, una revisión de los riesgos desagregados por sectores es útil porque permite una identificación más específica de los riesgos ambientales, asignación de responsabilidades claras, mejora de la eficacia de las políticas ambientales y sensibilización de los actores del sector. Los datos del riesgo estudiado pueden ser desagregados en función del sector de las edificaciones expuestas. A continuación, se muestra el gráfico que identifica el riesgo o PAE desagregada por sectores.

Ilustración 32: Desagregación del riesgo por sectores en el distrito de Soná.



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

Como puede observarse, prácticamente un 60% del riesgo se concentraría en el sector residencial, mientras que el 20% se distribuiría por el sector de Ocio. En este sector tendríamos los espacios deportivos, la zona de la feria, pistas de baile, etc. En el sector Otro encontramos las edificaciones temporales, trabajaderos, garajes etc. En el distrito de Soná, como además se ha evidenciado con los expertos locales, la mayor parte del riesgo se concentra en el uso residencial, donde se focalizarán con mayor intensidad las medidas de mitigación.

153

2.4.4. Medidas de adaptación estructurales y no estructurales

En esta sección se estudiarán las potenciales medidas de adaptación frente al riesgo de inundación que puedan llevarse a cabo dentro del distrito de Soná. Se priorizarán 5 medidas dentro de la amplia gama de medidas que existen dentro de la adaptación al riesgo frente de inundaciones, y serán priorizadas de acuerdo con el contexto social, ambiental y económico, considerando la amenaza determinada en secciones anteriores.

Estas medidas de adaptación se pueden dividir en medidas estructurales y no estructurales, en función del tipo de actividades que engloben y los requerimientos que establezcan. Las primeras conllevan obra civil con el objeto de eliminar un problema ya producido y tienen un efecto inmediato sobre él. Las actuaciones no estructurales son aquellas que necesitan una planificación previa, una visión de largo plazo y la coordinación de diferentes organismos públicos para que éstas sean factibles. Dentro de ambos tipos podremos encontrar medidas basadas en la naturaleza, que ponen en valor los sistemas naturales de adaptación a riesgos.

De acuerdo con estas definiciones se proponen 5 medidas de adaptación adecuadas al contexto local, acompañados de la justificación cualitativa de su priorización y las implicaciones que pueden acarrear.

Medidas estructurales

1. Reasentamiento

Se propone la actuación de reasentamiento de los elementos expuestos a la amenaza de inundación, tanto de la población que más riesgo soporta de la ciudad como de la infraestructura crítica, teniendo en cuenta criterios de tipo medioambiental y urbanísticos, pero siempre con un enfoque dedicado a la parte social del riesgo. En este sentido, una buena práctica sería la de reubicar a la población que se ve afectada para los menores períodos de retorno. En la reubicación de la población se han de considerar problemas integrales que eliminen completamente los riesgos, que consoliden la relación de la comunidad con su territorio y su ambiente, y que manejen el impacto del desarraigo, del alejamiento y del desconcierto. Además, una vez reubicada la población, resulta fundamental el dismantelar los activos incompatibles con la inundación, especialmente las viviendas, con el objetivo de evitar que se vuelvan a ocupar. En este tipo de actuaciones se actúa sobre la exposición de los sistemas frente a los fenómenos amenazantes, en este caso de la inundación, liberando la llanura de inundación asociada al curso natural del río, por lo que se mantienen las características ambientales del río.

En el supuesto analizado, y teniendo en cuenta el número de elementos expuestos, los costes de dismantelamiento y demolición, la adecuación del nuevo terreno y los costes de acarreo de imperfectos dentro del área de intervención, se estima una inversión que puede rondar los 3,5 M\$ y que permitirían la construcción de nuevas viviendas ubicadas con acceso a zonas no peligrosas del río. Se ha de hacer hincapié en que estos costes son valores estimados, adecuados a la fase en la que se encuentra comprendido este estudio de riesgos previos a las etapas de inversión y plan de acción dentro de la fase de formulación de un POT.

Para aquellas ubicaciones alternativas para el reasentamiento de los elementos actualmente expuesto se proponen lugares comprendidos dentro de los alrededores del río Tríbique, a una distancia cercana de su ubicación actual, lo que favorecería la vertiente social del ejercicio, de acuerdo con cuestiones de arraigamiento, relaciones sociales y nudos laborales e intrapersonales. Además, habría que eliminar las edificaciones sujeto del riesgo para evitar la vuelta de las personas, así como se debe contemplar los gastos de uso del suelo y creación de espacios verdes inundables, tales como parques o zonas recreativas.

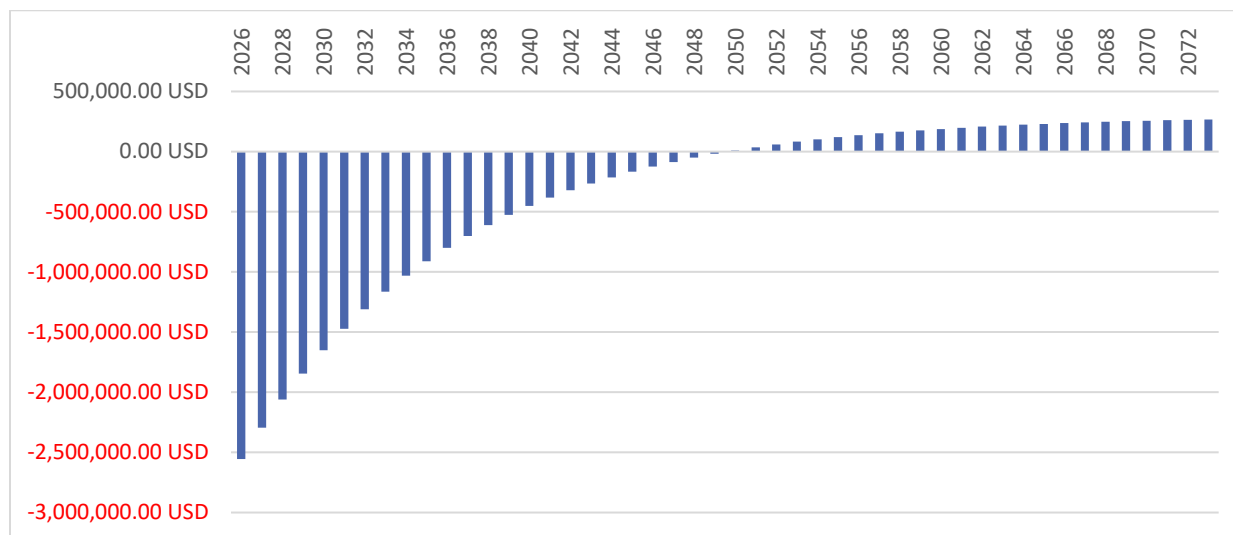
Mediante un proyecto de estas características, se podría considerar una disminución global de la PAE de prácticamente 380,000\$, lo que supone un 90% de la PAE total. Si consideramos una vida útil del proyecto de 50 años, mediante la actualización de los gastos de la inversión y de los beneficios generados cada año por evitar los riesgos asociados a la inundación, obtenemos los resultados expuestos a continuación.

Tabla 56. Parámetros económicos de la medida de encauzamiento propuesta

Inversión (\$USD)	3,500,000.00
Beneficio anual (\$USD)	380,000.00
Tasa de descuento (%)	10%
VAN (\$USD)	94,120.25
TIR (%)	10.3%

Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

Ilustración 33. Gráfica de desarrollo del VAN de la medida de reubicación propuesta



Fuente: Elaborado por el consorcio, 2023.

Puede observarse que los gastos de la inversión, así como los gastos asociados al mantenimiento de las instalaciones (estimados en un 0,5% anual de la inversión inicial) se recuperarían aproximadamente en 30 años, pudiendo generar ganancias no sólo económicas, sino múltiples beneficios sociales y ambientales por el camino.

De esta manera y como se ha mencionado anteriormente, esta alternativa tiene un valor ambiental de gran importancia, siendo uno de los mejores ejemplos de soluciones basadas en la naturaleza, ya que se no se actúa directamente sobre la propia amenaza o susceptibilidad presente en el territorio, lo cual implica la no modificación de los criterios ambientales y condiciones hidrogeológicas del río: capacidad erosiva del río, caudal sólido, movimiento natural del agua sin influir en las repercusiones que puedan darse tanto aguas arriba como aguas abajo del tramo de actuación.

Por último, cabe destacar que esta medida se ha implementado por el Ministerio de Vivienda en los últimos años. Por tanto, esta propuesta contempla los datos previos al reasentamiento ya realizado, aunque se pueden hacer recomendaciones que amplíen la experiencia ya iniciada por las autoridades.

La Dirección de Desarrollo Social escogió a las familias más vulnerables para el reasentamiento, tratando de priorizar a aquellas con discapacidad y aquellas que viven en condiciones de pobreza extrema. Se detalla que los beneficiados han sido 525 veragüenses procedentes de los barrios de los barrios de Don Bosco y El Lago.

Ilustración 34. Proceso de entrega de viviendas a las familias reasentadas en las Brisas de Soná.



Fuente: Miviot, 2020.

156

Es vital resaltar que debe asegurarse un flujo de información eficiente y respetuoso entre la comunidad desplazada y las autoridades. La zona elegida para el reasentamiento queda fuera de las áreas expuestas para la amenaza de inundación presentada en este informe. No obstante, es posible que diversos factores hagan peligrar la eficacia medida llevada a cabo, tal como la vuelta de población por falta de conexión con un entorno que satisfaga sus necesidades, sensación de desatención por parte de vecinos no reasentados, o diversas dificultades de tipo burocrático, como se ha visto recientemente. Por tanto, resulta imprescindible mantener unos canales de comunicación constantes y amenos con la población sujeta a la medida de reasentamiento o susceptible de serlo.

2. Actuaciones en las márgenes del río y laderas

Las actuaciones estructurales en las márgenes del río actúan de diversas maneras en la dinámica fluvial del río y por tanto en el desbordamiento y posterior inundación del mismo. Las intervenciones en las márgenes del río pueden ser de diversa índole y pueden estar sujetas a numerosos beneficios. Se pueden emplear soluciones basadas en la naturaleza, que suponen soluciones que están inspiradas y respaldadas por mecanismos naturales, que son rentables, proporcionan simultáneamente beneficios ambientales, sociales y económicos y ayudan a desarrollar la resiliencia. Estas medidas pueden servir de sumideros de carbono, ofrecer oportunidades de recreación y ocio, e incluso suponer un nuevo hábitat para fauna, integrando así con otros objetivos de desarrollo del distrito. Podemos citar algunos ejemplos que podrían estudiarse más a fondo en fases posteriores del POT, de cara a su implementación en la cuenca del río San Pablo. Una de las mejores medidas en este sentido sería la **restauración de humedales**, que pueden retener grandes cantidades de agua, lo que ayuda a reducir el riesgo de

inundaciones, acompañado de la plantación de especies nativas y la creación de barreras naturales que desaceleren el flujo del agua. Por otra parte, se puede estudiar la creación de zonas de retención de agua, que pueden ayudar a reducir la cantidad de agua que fluye hacia el San Pablo y sus afluentes. Las zonas de retención de agua pueden incluir lagunas o estanques, que pueden ser alimentados por agua de lluvia o de la propia corriente. Por otra parte, la creación o ampliación de ciertos meandros naturales pueden ayudarnos a disminuir la velocidad del agua en ciertos tramos, reduciendo el riesgo de inundaciones y deslizamientos.

En el mismo sentido, la reforestación de los márgenes del río con especies nativas puede ayudar a retener el agua y evitar que se escape rápidamente. Los árboles también pueden ayudar a estabilizar los suelos y reducir la erosión, lo que a su vez reduce la cantidad de sedimentos que se depositan en el río y disminuye el riesgo de inundaciones.

Si encuadramos las **reforestaciones** dentro de estas medidas, encontramos otra de las mejores soluciones basadas en la naturaleza. En el distrito de Soná, y en general en toda la provincia de Veraguas, se ha notificado un problema creciente de incendios forestales y tala ilegal de masas arbóreas. Por una parte, se debe combatir la agricultura de tumba y quema mediante la regulación normativa y asignando los debidos fondos a las autoridades forestales para la **vigilancia** de los montes. De hecho, la carencia de suficiente personal para la supervisión de las talas ilegales es otro de los factores que suscita preocupación por parte de la población del distrito. Por otra parte, pueden estudiarse zonas a reforestar para reducir la erosión hídrica y mitigar los riesgos de inundación a gran escala en la cuenca, como ya ha comenzado a hacer MiAmbiente en experiencias previas.

Ilustración 35: Monitoreo de reforestaciones en la cuenca del río San Pablo por parte del Comité de la Cuenca Hidrográfica del Río San Pablo (CCHRSP)



Fuente: MiAmbiente, 2021.

En paralelo, ante la gran presión agrícola con la que cuenta el distrito, resulta fundamental el fomento y control de **buenas prácticas agrícolas**. Algunos factores por monitorear son la construcción de invernaderos, el uso de agroquímicos, los marcos de plantación, el cultivo según curvas de nivel, o la

maquinaria a emplear. De esta manera, el fin debe consistir en aumentar la infiltración de agua en el suelo y la reducción de la escorrentía superficial, de modo que las avenidas en las partes bajas de la cuenca del San Pablo, donde se notifican las mayores afecciones, se vean laminadas.

3. Actuaciones en el cauce del río:

Las obras de adaptación más destacadas frente a avenidas dentro del cauce del río son las presas, los diques o las motas. Las presas tienen la función de almacenar o desviar el agua de los ríos, pero también pueden laminar los caudales punta en las avenidas reduciendo los riesgos aguas abajo mientras que los diques tienen como función principal evitar el desbordamiento de los ríos en los terrenos colindantes al cauce en caso de crecidas. En este sentido, se cuenta con la Central Hidroeléctrica de Las Cruces, tal y como se ha mencionado. No obstante, este es un elemento de ingeniería civil enfocado a la producción de energía renovable, y no tanto a la laminación de avenidas. Las presas y los diques interactúan frecuentemente, ya que los caudales desaguados por las presas, controlados o no, pueden producir un aumento de las cargas hidráulicas que deben soportar los diques en los ríos aguas abajo de éstas. Los diques funcionan de manera similares a las presas, de manera que pueden laminar los caudales punta originados a partir de una tormenta de diseño. Similarmente, una mota es una elevación de terreno de poca altura, con la que se pretende detener el agua y evitar así, que se inunden los campos de cultivo y las poblaciones aledañas al cauce del río.

Este tipo de actuaciones tienen diversas implicaciones de carácter ambiental ya que modifican las dinámicas fluviales del río y ejercen demasiada presión sobre los ecosistemas aledaños al mismo. Es por ello, y considerando que estas opciones son costosas, que no supone la mejor alternativa para una solución puntual, si no que debería de ir acompañado de un estudio mucho más completo de las necesidades hídricas del distrito en conjunción con los planes de ordenamiento de las cuencas de los ríos Cobre, San Pablo y Tríbique.

Medidas no estructurales

4. Sistemas de alerta temprana:

Los Sistemas de Alerta temprana suponen la instauración o implementación de una cadena de valor que permite conocer el riesgo de tal manera, que la respuesta frente a la amenaza se vuelve más robusta con el paso del tiempo.

Los SAT suelen ser coordinados a través de cuatro diferentes fases, que al ser aplicadas a este territorio en particular pueden complementar a los insumos generados en este estudio. Las fases son: conocimiento del riesgo, seguimiento y alerta, capacidad de respuesta y difusión y comunicación. Estas fases pueden ser estudiadas y desarrolladas por separado, fortaleciendo cada componente para poder también ser aplicados en zonas de características similares o lugares aledaños con antecedentes de eventos parecidos. En este caso específico, una vez conocido el riesgo, se deberá de hacer un seguimiento de los eventos de la zona, para poder también distinguir los diferentes eventos de inundaciones. De esta manera se podrá entender mejor la amenaza y poder sustentar los resultados obtenidos en este estudio con eventos reales, en caso de que se decida no intervenir en la adaptación del riesgo de manera inmediata y con repercusiones en la afección de la amenaza en el corto plazo.

La acumulación de información acerca de las precipitaciones desencadenantes del evento amenazante y la ocurrencia de inundaciones, es decir, la relación entre la lluvia y la ocurrencia de deslizamientos debe ser por tanto incluida dentro del sistema de alerta temprana.

Se propone incluir un seguimiento más en detalle de las condiciones geológicas de las capas superficiales de las colinas y lomas de altas pendientes con población expuesta aguas abajo en la cuenca del río San Pablo. De esta manera se puede determinar el volumen de material removible y así poder priorizar y hacer más robusta el sistema de respuesta y de toma de decisiones, haciendo especial interés en los grupos desfavorecidos y poblaciones vulnerables. Al tratarse de una cuenca de cerca de 2,000 km², que presenta sus mayores afecciones en la ciudad de Soná, en su tramo más bajo, la población puede beneficiarse de estos sistemas de alerta, ayudando a prevenir parte de los daños.

5. Talleres comunicativos y labores de concienciación:

Como un componente esencial, también incluido en los sistemas de alerta temprana, se debe recalcar la importancia de los talleres de concienciación y capacitación sobre gestión del riesgo e implicaciones sociales del riesgo frente a inundaciones. En el caso de Soná especialmente y dada la presencia de asentamientos informales, esta medida podría reducir este tipo de acciones ya que se evidencia el peligro sustancial que supone este tipo de construcciones informales y los riesgos que presenta la exposición frente a fenómenos de inundaciones.

Por su parte, los talleres, creación de panfletos y material informativo, representan un gasto muy inferior a las otras medidas, ya que no supone una organización institucional significativa ni la elaboración o preparación de materiales específicos de gran coste. En la elaboración de este tipo de talleres se ha de incluir a los jefes comunitarios y las áreas departamentales sociales y de gestión del riesgo para poder contar con la presencia institucional que dote de un carácter gubernamental a los talleres con la comunidad.

En estos proyectos de cruce comunicativo entre los distintos agentes se puede trabajar en la divulgación de las otras medidas propuestas, ya que en todo caso una medida acabará afectando de modo diferente a los diversos grupos sociales. En este sentido, es importante potenciar esta medida de esfuerzo comunicativo si se quiere aplicar una reforestación o se pretende intensificar la vigilancia de la agricultura de tumba y quema en la región. El distrito de Soná, con fuerte presencia agrícola, se vería fuertemente afectado por este tipo de medidas basadas en la naturaleza para mitigar los riesgos de inundación. Por tanto, si se decide apostar por ello, impulsando cambios de uso en el suelo, o fomentando buenas prácticas agrícolas para reducir la erosión, resulta de vital importancia el esfuerzo comunicativo y el trabajo con la población local. La intención por tanto debe ser la de que los proyectos surjan desde la población local y se les vaya dando forma desde las autoridades, mejorando sus probabilidades de éxito a largo plazo.

En el distrito de Soná, como se ha mencionado, existe fuerte presión agrícola. Uno de los temas centrales de los talleres residirá, por tanto, en temas como buenas prácticas agrícolas, uso de agroquímicos, o la gestión de residuos. Estos factores conectarían directamente con otras preocupaciones de la población del distrito, como la falta de agua potable y la contaminación de las fuentes hídricas. Como se ha mencionado, es vital que la población local forme parte en todo momento en la toma de decisiones y la aplicación de medidas de adaptación del riesgo. Como se ha visto en las experiencias ya realizadas en la ciudad de Soná, pueden darse dificultades que hagan peligrar la eficacia de las medidas a largo plazo. De hecho, se debe hacer especial énfasis en la inclusión de los grupos de mayor vulnerabilidad, así como apostar por un enfoque de género que asegure la incorporación de la mujer en los debates y talleres. La gestión local del riesgo por inundación, una vez conocida y reconocida en su funcionamiento, podrá ser parte fundamental de los planes estratégicos de desarrollo nacional que tienen aplicación en el ámbito local o que emergen de la planificación local. Todo ello como parte del trabajo realizado por todos los actores locales en coordinación con la escala regional y nacional en los

que se realiza un diagnóstico, donde se identifican las cualidades y características de las estrategias de desarrollo a implementar, y a partir de este consenso se asignan objetivos estratégicos, se elabora una estrategia de desarrollo local y las recomendaciones de acciones específicas, a través de proyectos y/o políticas que permitan alcanzar los objetivos en función de las cualidades detectadas como necesarias en la gestión del riesgo por inundación.

2.4.5. Conclusiones y recomendaciones

En el presente documento ha llevado a cabo un análisis de los riesgos de inundación en el distrito de Soná. Según la metodología adoptada, se ha modelizado la amenaza mediante modelos hidrológicos e hidráulicos, para períodos de retorno de 2, 10, 25, 50 y 100 años en clima actual y con un escenario de cambio climático RCP4.5. Estas modelizaciones muestran profundidades mucho mayores según aumenta el período de retorno, multiplicando el riesgo generado.

Posteriormente, se ha evaluado la exposición a las inundaciones. Cabe destacar que, en el presente distrito, la exposición al riesgo de inundación se concentra en la ciudad de Soná, principalmente en el sureste de la ciudad, en la barriada de Lago, Omar Torrijos, Calle El Mida o El Bosco. En esta zona de la ciudad se da la confluencia de los ríos Cobre, San Pablo y Tríbique.

Tras la estimación de la vulnerabilidad de las edificaciones expuestas, se ha estimado el riesgo de inundaciones a partir del cálculo de las Pérdidas Anuales Esperadas. Esta representación estadística del riesgo, repartido de forma anual, estima en 424,000\$ las pérdidas anuales debido a los riesgos de inundación evaluados. En escenario de cambio climático, estas pérdidas ascenderían a los 565,000\$.

Para reducir estos riesgos, se puede acudir a medidas de adaptación, que podrán ser estructurales o no estructurales. En cuanto a medidas estructurales encontramos obras civiles como reasentamientos, encauzamientos o derivaciones, mientras que no estructurales son medidas como cambios en el uso del suelo, sistemas de alerta temprana, rutas de evacuación, etcétera.

En particular, como medida estructural principal, se propone la continuación de las intenciones de las autoridades por la reubicación de las personas que viven en esta zona. No obstante, este proceso ha demostrado ser doloroso para este colectivo, por lo que ha de retomarse con profundo respeto por la situación de las familias y su conexión con el entorno, incrementando las labores de comunicación con la población afectada.

Como medidas no estructurales de adaptación a adoptar, encontramos programas de educación pública y la inversión en sistemas de alertas temprana, que pueden ayudar a reducir el impacto de las inundaciones. Las comunidades deben contar además con planes de evacuación detallados en caso de inundaciones, que incluirán rutas de evacuación seguras y refugios temporales. En este sentido, se debe apostar por medidas no estructurales tales como la intensificación de los trabajos comunicativos, y la realización de talleres con la población para asegurar su integración en el proceso de toma de decisiones enfocada a la adaptación del riesgo de inundaciones.

2.5. Incendio de masa vegetal

2.5.1. Introducción

Un incendio forestal se define como un fuego que se propaga sin control a través de la vegetación y área rural ocasionando grandes daños a los bosques naturales y/o plantados, poniendo en peligro además a personas y bienes (ANAM, 2002). Los incendios forestales constituyen en la actualidad una de las principales amenazas que afectan a las zonas forestales y silvestres del mundo y en concreto la región de América Latina, por lo que su estudio y análisis resulta fundamental a la hora de afrontar los retos derivados de la gestión y conservación de los ecosistemas forestales.

En la República de Panamá, la degradación forestal presenta varias dinámicas, incluyendo cambios estructurales en el dosel y el sotobosque por la extracción de madera y leña. Sin embargo, otra de las prácticas más frecuentes incluye a los incendios forestales, particularmente en los bosques maduros y secundarios, como consecuencia de la presión para la habilitación de terrenos para la agricultura tradicional y la ganadería extensiva (MiAmbiente, 2022). Si bien no se cuenta con el acceso a un registro histórico detallado de los incendios forestales en el país a nivel distrital, los datos estadísticos de esta actividad han sido recopilados por las oficinas regionales del Ministerio de Ambiente¹⁸ a nivel provincial.

Si bien, como se mencionó al inicio del apartado la información de estos eventos es escasa, en el caso de Soná, existen estadísticas ambientales presentadas por el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) para la provincia de Veraguas que señalan tanto el número de incendios de masa vegetal registrados y la superficie forestal afectada durante el período 2009-2021 (tabla e ilustración siguiente).

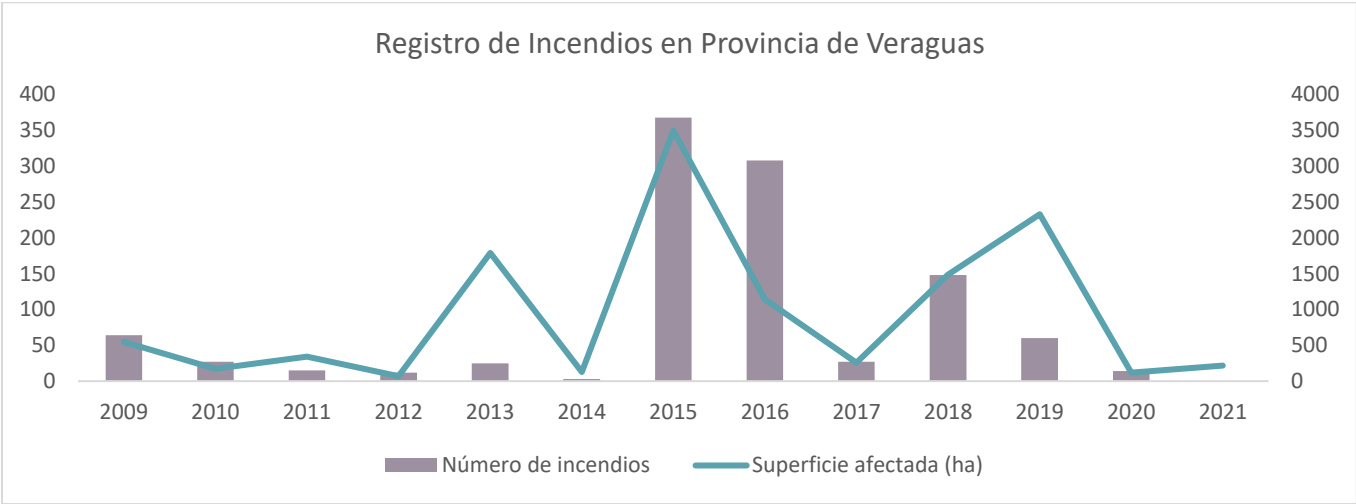
Tabla 57. Registro de Incendios forestales en la provincia de Veraguas

AÑO	NÚMERO DE INCENDIOS	SUPERFICIE AFECTADA (ha)
2009	64	546
2010	27	171
2011	15	341
2012	12	69
2013	25	1,789.00
2014	3	126.2
2015	368	3,497.43
2016	308	1,139.61
2017	27	258.01
2018	148	1,485.19
2019	60	2,330.32
2020	14	117
2021	ND	218

ND: Datos no disponibles. Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023, con información de (SINIA, 2023)

¹⁸ El Nivel de Referencia Forestal de Panamá establece que los datos de incendios forestales son recopilados en campo por funcionarios con previa capacitación en el uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), identificación de tipos de vegetación (bosque maduro, bosque secundario, Rastrojo, Bosque de Manglar, Bosques plantados, Vegetación baja inundable, gramíneas (herbazales y pastos), cultivos agrícolas establecidos y potreros bajo uso agropecuario). Con el GPS, se hacen levantamientos de puntos para obtener el perímetro de áreas afectadas por el incendio y determinar su superficie. Estos datos son centralizados por la Dirección de Verificación y Desempeño Ambiental (DIVEDA) donde existen serie temporales con información agregada para bosques y áreas agropecuarias (MiAMBIENTE, 2022)

Ilustración 36. Registro de Incendios forestales en la provincia de Veraguas



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023 con información de (SINIA, 2023)

Como se puede observar en el gráfico anterior, los años 2015 y 2016 destacaron por formar parte de un registro histórico en el que se identificaron hasta 368 incendios, afectando una superficie forestal de casi 4,500 ha en la provincia. Si bien en los años siguientes se identifican variaciones en la incidencia de estos eventos, las cifras de 2018-2019 sugieren que los incendios a pesar de presentarse en menor cantidad tenían una gran extensión rebasando una superficie de afectación de 2,000 ha.

El pico de incendios registrado en 2015 puede estar relacionado con el fenómeno de El Niño. De acuerdo con los registros de datos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el 2015 fue el año más cálido del que se tiene información, con temperaturas en la superficie del océano a los niveles más elevados desde que comenzaron las mediciones. Los cambios meteorológicos del Niño persistieron hasta 2016 provocando cambios bruscos en los patrones de temperatura y precipitación en Panamá, afectando el territorio con intensas olas de calor y sequías, lo que aumenta a su vez la probabilidad de incendios (SERVIR, 2016).

Fuentes secundarias indican que durante 2017, en el mes de enero hubo 38 asistencias por incendio de masa vegetal, mientras que en febrero y marzo se realizaron 71 y 40 intervenciones respectivamente, tanto en áreas rurales como urbanas donde los Bomberos sofocaron incendios en cerros y áreas forestales o de herbazales en Soná. En 2021, se realizó otro reporte de incendio de herbazales en la localidad de Toyosa dentro de la cabecera distrital. Los efectos dañinos sobre la flora y fauna así como sobre la salud de las personas han favorecido que exista un llamado a la población para no incurrir en prácticas de quema sin regulación debido a sus impactos sobre el medio ambiente (BCBRP, 2017).

A partir de lo anterior, la ANAM ha reconocido que Soná se ubica en una región propensa a incendios con un riesgo potencial de categoría 1-extremo, en la que es necesaria la implementación de acciones de prevención y control y un sistema de alarma permanente (ANAM, 2002).

2.5.2. Descripción de la amenaza

En función de la superficie de afectación que se produzca, un incendio puede ser categorizado como conato (con un área menor a una ha), incendio (si la superficie es mayor a una ha) y gran incendio (cuando la extensión es superior a 500 ha). Por otro lado, de acuerdo con el tipo de vegetación por el que se propagan, los incendios pueden dividirse en las siguientes clases:

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

Ilustración 37. Clasificación de incendios según la vegetación de propagación

				
TIPO DE INCENDIO	SUELO/SUBSUELO	SUPERFICIE	ANTORCHEO	COPAS
Combustible	Materia orgánica en descomposición Raíces	Hojarasca, hierbas Arbustos y pastos	Copas de árboles aislados	Copas de árboles
Proceso	Avance lento Combustión incandescente Calor residual	Propagación rápida y pérdida de humedad	Incendio en superficie de copas de árboles	Pasivo: Fuego en copas acoplado a superficie Activo: Fuego avanza en copas y luego se traslada al suelo por viento

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023.

Entre los elementos clave para la propagación de incendios destaca la transmisión de calor, la cual influye en la disminución de humedad del combustible y en la creación de corrientes de viento. Los principales mecanismos de transmisión incluyen conducción, radiación, convección y emisión de partículas en ignición. Por otro lado, existen factores adicionales directamente determinados por el entorno natural que también influyen en la propagación de un incendio, los cuales se muestran a continuación:

Ilustración 38. Factores determinantes en la propagación de incendios



Topografía

- Pendiente influye en los mecanismos de transmisión del fuego: A mayor pendiente mayor diferencia del gradiente de velocidad de propagación ^a
- Exposición: la orientación de las laderas determina la cantidad de radiación solar recibida y el tipo de vegetación
- La elevación influye sobre la cantidad y el momento de la precipitación, así como en la exposición al viento dominante.
- Relieve influye en patrones de viento, canalizando el aire, aumentando su velocidad e intensificando el fuego ^b



Temperatura

- Radiación solar condiciona temperatura y humedad interna de la vegetación.
- Temperatura del suelo depende de la composición del lecho orgánico y mineral
- Temperatura en la zona de combustible y zona de llamas alcanza por radiación alcanza entre 500 y 1000° C, mientras que en columna de convección desciende en función de la altura



Humedad relativa

- Cantidad de vapor de agua suspendido en el aire que determina la disponibilidad de oxígeno para combustión
- Mayor humedad relativa, menor oxígeno disponible y mayor retardo en proceso de combustión
- Mayor humedad en la vegetación requiere mayor aporte calórico externo para su ignición
- Humedad relativa >60% combustión pierde eficiencia; <30% hay un alto grado de ignición



Vientos

- Incendios dependen de la intensidad y dirección del viento
- Una mayor velocidad del viento implica un aumento en la propagación del incendio
- Viento provoca incremento en cantidad de oxígeno disponible, influye en dirección del avance del fuego, seca combustibles y transporta chispas de ignición



Combustible forestal

- Capacidad combustible de la vegetación depende de:
- Tamaño y forma (menor tamaño mayor secado e ignición)
- Compactación (mayor espacio entre partículas, más propagación del fuego)
- Densidad (asociado con resistencia a fuego)
- Resinas y aceites en la madera
- Humedad en vegetación viva o muerta
- Tiempo de retardo. Lo que tarda combustible en equilibrar la humedad interna con la del entorno, depende de la superficie específica del material con el aire

a- Los incendios tienden a propagarse más rápido cuesta arriba que cuesta abajo. A medida que el calor se eleva frente al fuego, precalienta y seca con mayor eficacia los combustibles de pendiente ascendente, lo que permite una combustión más rápida. b- Los fondos de barranco y las laderas muy próximas favorecen el calentamiento del ambiente, propiciando la propagación del incendio. A su vez las elevaciones del terreno suponen un obstáculo para el movimiento del aire. Otras características, como afloramientos rocosos, arroyos, ríos, lagos y caminos, actúan como barreras contra incendios y pueden usarse como puntos de anclaje para desarrollar cortafuegos. Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023 con datos de (Benett M. , 2017).

Respecto al riesgo de propagación y virulencia del fuego, la cantidad de combustible presente en el medio y su distribución espacial son agentes clave. La combustibilidad de una zona se puede definir como *el peso seco total del combustible por unidad de superficie*, y en el caso de los incendios forestales el combustible corresponde a la materia vegetal disponible. Para describir el comportamiento del fuego según el tipo de combustible existe el sistema de clasificación de Rothermel que considera 13 modelos

integrados en cuatro grupos. Algunos de ellos que son aplicables al contexto territorial de Panamá se presentan a continuación:

Tabla 58. Sistema de Clasificación de combustibles forestales

GRUPO	MODELO	TIPO DE VEGETACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO E INCENDIO	CARGA COMBUSTIBLE MATERIAL SECO (Ton/ha)
Pastos	1-3	Herbáceos finos y arbustos	El arbolado ocupa de uno a dos tercios del área, pueden producirse pavesas. Ocurre en praderas naturales, rastros, zonas herbáceas anuales y perennes	1-6
Matorrales	4-7	Matorrales, dominancia de arbustos, sotobosque de pinares con especies inflamables	Arbustos mayores a 1-2 m de altura, repoblados o regenerados, jóvenes densos a material viejo. Pueden tener restos secos o poco material muerto y llegan a presentarse vientos superiores a 13 km/h. Puede ocurrir el incendio a pesar de tener humedad alta en las copas y en el suelo	10-35
Hojarasca	8-10	Bosque cerrados de coníferas con hojarasca y poco matorral. Boques intervenidos, sobre maduros, enfermos, y con material leñosos caído o cortas parciales.	Arbolado con copas frondosas, con hojarasca compacta y pocos arbustos, menos compacta. Posible presencia de ramas caídas que provoca el paso de fuego de una copa a otra con mayor frecuencia. El fuego también puede quemar combustible en la superficie.	10-12
Ramaje y restos silvícolas	11-13	Bosque claro o fuertemente aclarado con retoños y rebrotes herbáceos Predominio de restos sobre el arbolado, hay materiales caídos y restos de talas	Bosques con desmontes con restos de poda o claros con rebrotes herbáceos, materiales caídos con diámetros mayores a 76 mm. El incendio se propaga hasta encontrar un cortafuegos o un cambio de combustibles. Puede generar pavesas	25-30 o 50-80

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023.

Además de los elementos naturales que constituyen factores de riesgo para incendios, existen otros agentes antropogénicos y actividades productivas que involucran el uso del fuego. La inclusión de estos factores dentro de las variables del riesgo es relevante ya que se considera que las actividades humanas ocasionan el 99% de los incendios forestales mientras que el resto tiene como causa fenómenos naturales como descargas eléctricas y erupción de volcanes. De hecho, de acuerdo con algunos estudios, múltiples incendios forestales se producen por actividades agropecuarias y de urbanización, junto con las acciones intencionadas y los descuidos de personas que no apagan bien sus cigarrillos o fogatas (CONAFOR, 2010).

Ilustración 39 Factores antropogénicos determinantes en la generación de incendios



166

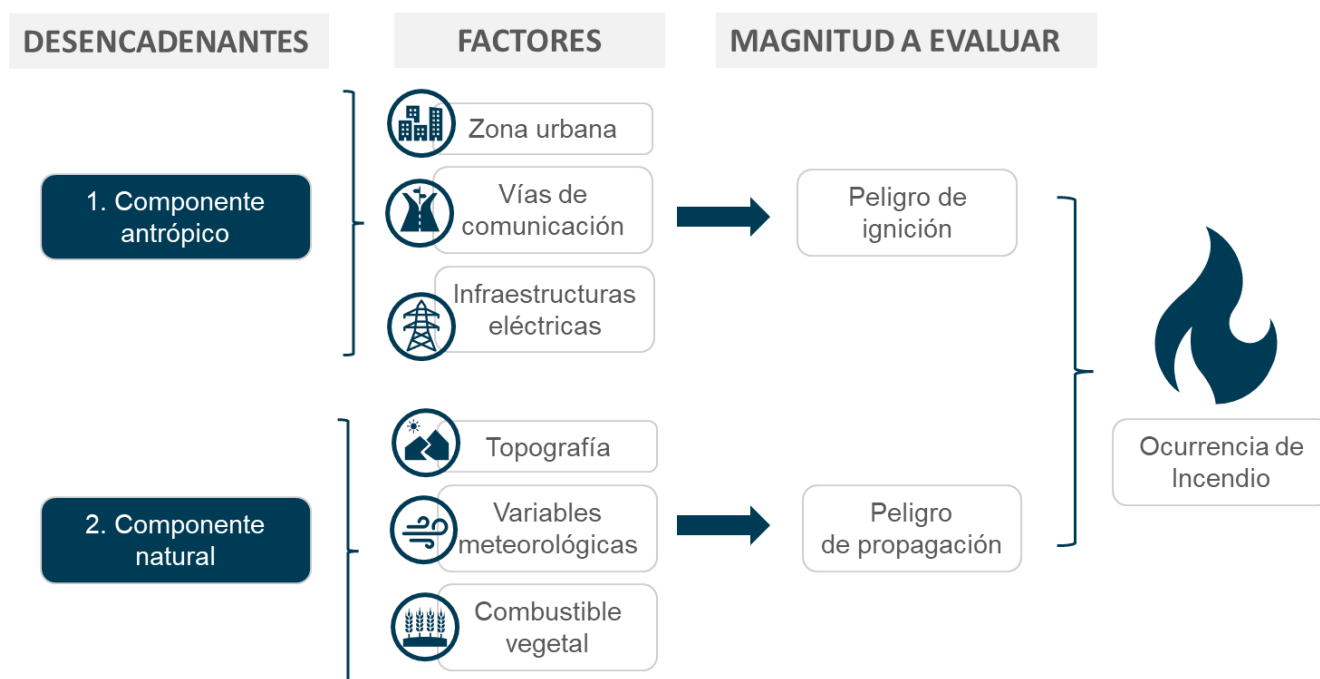
Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023.

2.5.3. Metodología

La medición de amenaza de incendio es compleja debido a su deslocalización y multitud de variables, sin embargo, existen estudios previos en los que se utilizan Sistemas de Información Geográfica para analizar una serie de variables georreferenciadas a través de las cuales es posible identificar áreas prioritarias por riesgo de incendios forestales en una región (Flores et al., 2016).

Para el estudio de la amenaza de incendios en este documento se consideran algunas de las variables que han sido descritas en el apartado anterior, a las cuales se les asigna un valor específico tomando como referencia los criterios de ponderación establecidos por organizaciones forestales especializadas en la conservación de los bosques naturales. Para este documento la amenaza de incendio se ha estudiado jerárquicamente según causas, factores y componentes del riesgo, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) correspondiente a cada elemento (Ilustración siguiente).

Ilustración 40. Estructura de la evaluación del peligro de ocurrencia de incendios



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023.

2.5.4. Evaluación de la amenaza de probabilidad de ocurrencia

Para determinar la localización espacial o zonificación se plantean la construcción de dos mapas generales (mapa de riesgo de ignición¹⁹ y mapa de velocidad de propagación y capacidad del fuego²⁰) a partir de distintas capas GIS de condicionantes que permitan identificar zonas conflictivas o de mayor peligro. La superposición conjunta de todas las coberturas creadas y de los mapas de ignición y propagación ofrece finalmente un conjunto de espacios con una categorización de susceptibilidad o amenaza de incendio.

En el **mapa de riesgo de ignición (1)** se expresan de forma cualitativa las zonas más propensas a iniciar el fuego considerando los factores del componente antrópico señalados en la ilustración anterior:



- *Zona urbana.* Conflictiva por la variedad de actividades que se llevan a cabo dentro de ella
- *Líneas y fronteras* como potenciales focos de ignición (ej. Carreteras, vías de ferrocarril)
- *Infraestructuras eléctricas* como líneas de transporte y distribución de electricidad así como estaciones y transformadores

¹⁹ Evalúa la capacidad del terreno para originar un incendio a partir de factores antropogénicos o naturales

²⁰ Evalúa la posibilidad de progresión del fuego a otras zonas, unido a su dificultad de extinción y virulencia

Como siguiente paso se considera la generación del **mapa de riesgo de propagación (2)** en el cual se representa la facilidad con la que potencialmente podría propagarse un incendio a través del territorio en función de la cantidad de carga combustible disponible (vegetación) y la topografía. En particular se evalúan los siguientes aspectos:

Respecto a la vegetación con potencial de ignición se valoran las características de los combustibles forestales así como la presencia de zonas ignífugas cuya naturaleza no representa riesgo de incendio.



- *Zona agrícola.* Donde suele haber uso de fuego para la eliminación de restos de cosechas y preparación del terreno
- *Riesgo nulo de ignición o zonas ignífugas.* Corresponde a lugares que por su tipología no pueden generar incendios como masas de agua, arenales, ríos.

En cuanto a la topografía se consideran las pendientes en el terreno y la presencia de Accidentes geográficos que funcionan como cortafuegos ante el paso de las llamas dificultando la propagación del fuego en cierta dirección (Ej. Ríos, carreteras, cuerpos de agua, arenales).



Otros factores que pueden considerarse en la elaboración de los mapas incluyen:

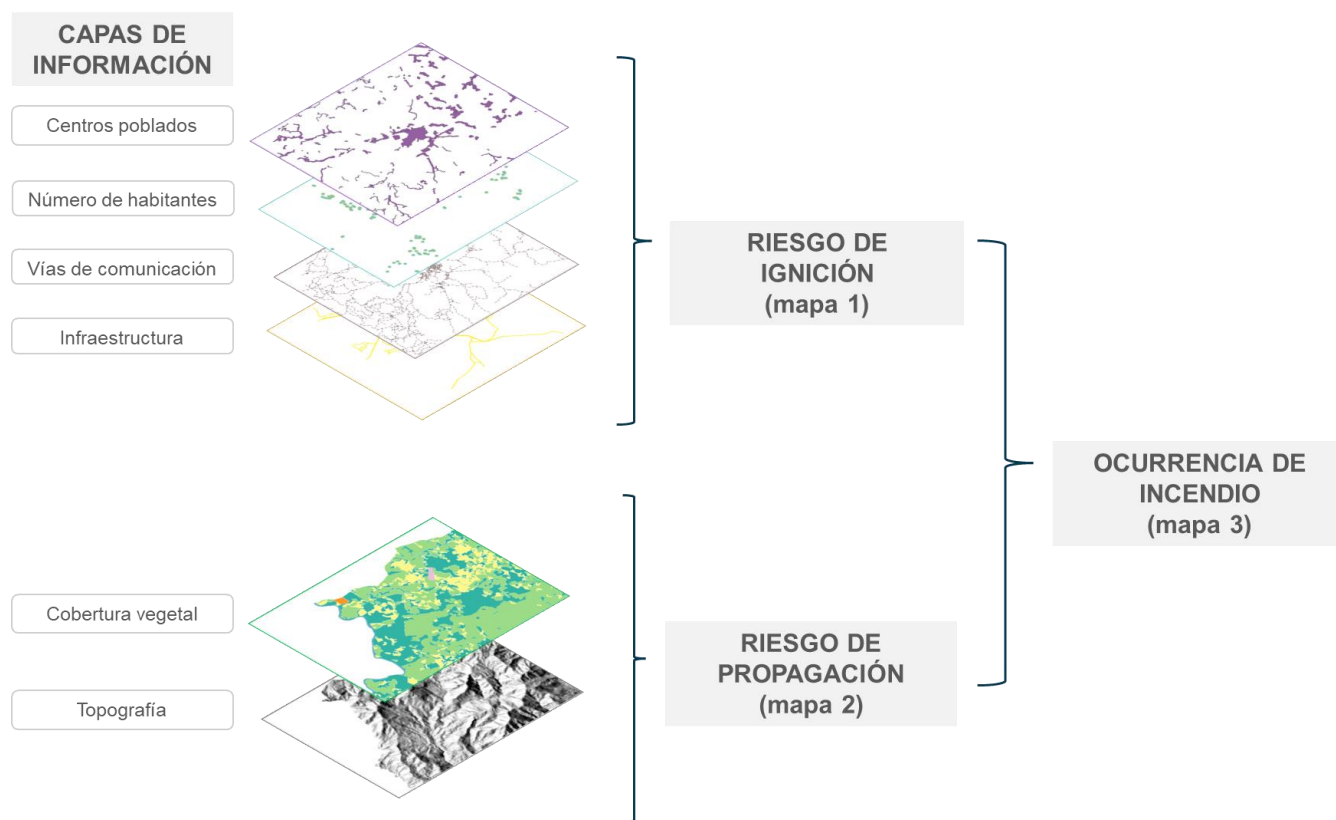


- Tipo de combustible y carga en ton/ha
- Viento imperante que ayuda a la propagación de las llamas en direcciones específicas predominantes
- Accesibilidad a la zona de incendio. Representa la capacidad de los medios para acceder a la posible zona de fuego

Insumos para análisis espacial y niveles de ponderación

A partir de la disponibilidad de información a nivel distrital en este documento se tomaron como insumo los siguientes elementos (ilustración siguiente).

Ilustración 41. Elementos del territorio determinantes de riesgo de ignición y/o propagación para la ocurrencia de incendios.



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023.

169

A cada el elemento representado (capa de información) se le asignó valores entre 1 y 4 ponderando el grado de incidencia/presencia en el territorio que determina el grado de vulnerabilidad o detonante de incendio. Como referencia se tomaron los criterios señalados en análisis de riesgo de incendio previos (Flores et al., 2016)., quedando de la siguiente manera:

Centros poblados y número de habitantes (a) (insumos para el mapa de ignición). En las zonas urbanas se consideraron dos aspectos: a) distancia a las poblaciones y b) el número de habitantes en cada población teniendo como criterio que la cercanía de una población y una alta densidad de habitantes se encuentran relacionados con un mayor riesgo de incendios.

Tabla 59. Valores de ponderación utilizados para centros poblados y número de habitantes

DISTANCIA (m)	VALOR PONDERACIÓN	NO. HABITANTES	VALOR PONDERACIÓN
0-50	4	1-150	1
50-250	3	150-400	2
250-500	2	400-800	3
500-1000	1	>800	4

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023 con datos de (Flores et al., 2016).

Vías de comunicación (b) (insumos para el mapa de ignición). Las vías que componen el sistema de transporte terrestre tuvieron un tratamiento similar al anterior bajo el cual se realiza un análisis de proximidad considerando distintas áreas de influencia en función de la distancia y tipo de vía, tomando

en cuenta que las carreteras o arteriales primarias y secundarias al encontrarse pavimentadas y tener una servidumbre que varía entre 30 a 50 m pueden funcionar como brechas cortafuego, mientras que los caminos y vías colectoras suelen encontrarse sin pavimentar en zonas de terracería y matorral y tienen una servidumbre entre 12 a 15 m, lo que incrementa su riesgo de incendio.

Tabla 60. Valores de ponderación utilizados para vías de comunicación

DISTANCIA (m)	VALOR PONDERACIÓN	TIPO DE VÍA	VALOR PONDERACIÓN
0-50	4	Arterial primaria y secundaria	1
50-250	3		
250-500	2	Colectoras, caminos y locales	2
500-1000	1		

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023 con datos de (Flores et al., 2016).

Infraestructura eléctrica (b) (insumos para el mapa de ignición). Para el análisis de las líneas de transporte y distribución de energía eléctrica se iteró el análisis de proximidad utilizando las siguientes valoraciones.

Tabla 61. Valores de ponderación utilizados para infraestructura

DISTANCIA (m)	VALOR PONDERACIÓN
0-50	4
50-250	3
250-500	2
500-1000	1

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

170

Cobertura vegetal (c) y Topografía (d) (insumos para el mapa de propagación). Se tomaron en cuenta los diferentes tipos de vegetación presentes en el distrito y su capacidad combustible en función de las características descritas en el apartado de Descripción de amenaza asignando los valores más altos a las zonas de matorral, pastizal, rastrojo y vegetación herbácea y arbustiva, mientras que los cuerpos de agua, afloramientos rocosos y playas se mantuvieron con un valor nulo. Por otro lado, para la evaluación de la topografía, la asignación de los valores se realizó para un esquema de cuatro intervalos de pendientes, incrementando la contribución de este elemento a los incendios conforme se asciende topográficamente en el territorio.

Tabla 62. Valores de ponderación utilizados para cobertura vegetal

COBERTURA VEGETAL	VALOR PONDERACIÓN
Afloramiento Rcoso	0
Cuerpo de agua	0
Vegetación baja inundable	0
Playas y arenales	0
Bosque de mangle	1
Bosque latifoliado mixto maduro	1
Bosque plantado	1
Infraestructura	2
Horticultura mixta	2
Café, cítricos y frutales	2
Bosque latifoliado mixto secundario	2
Pasto	3

COBERTURA VEGETAL	VALOR PONDERACIÓN
Producción Pecuaria	3
Cultivos (maíz, arroz)	3
Rastrojo y vegetación arbustiva	4
Zona urbana o área poblada	4
Vegetación herbácea	4

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

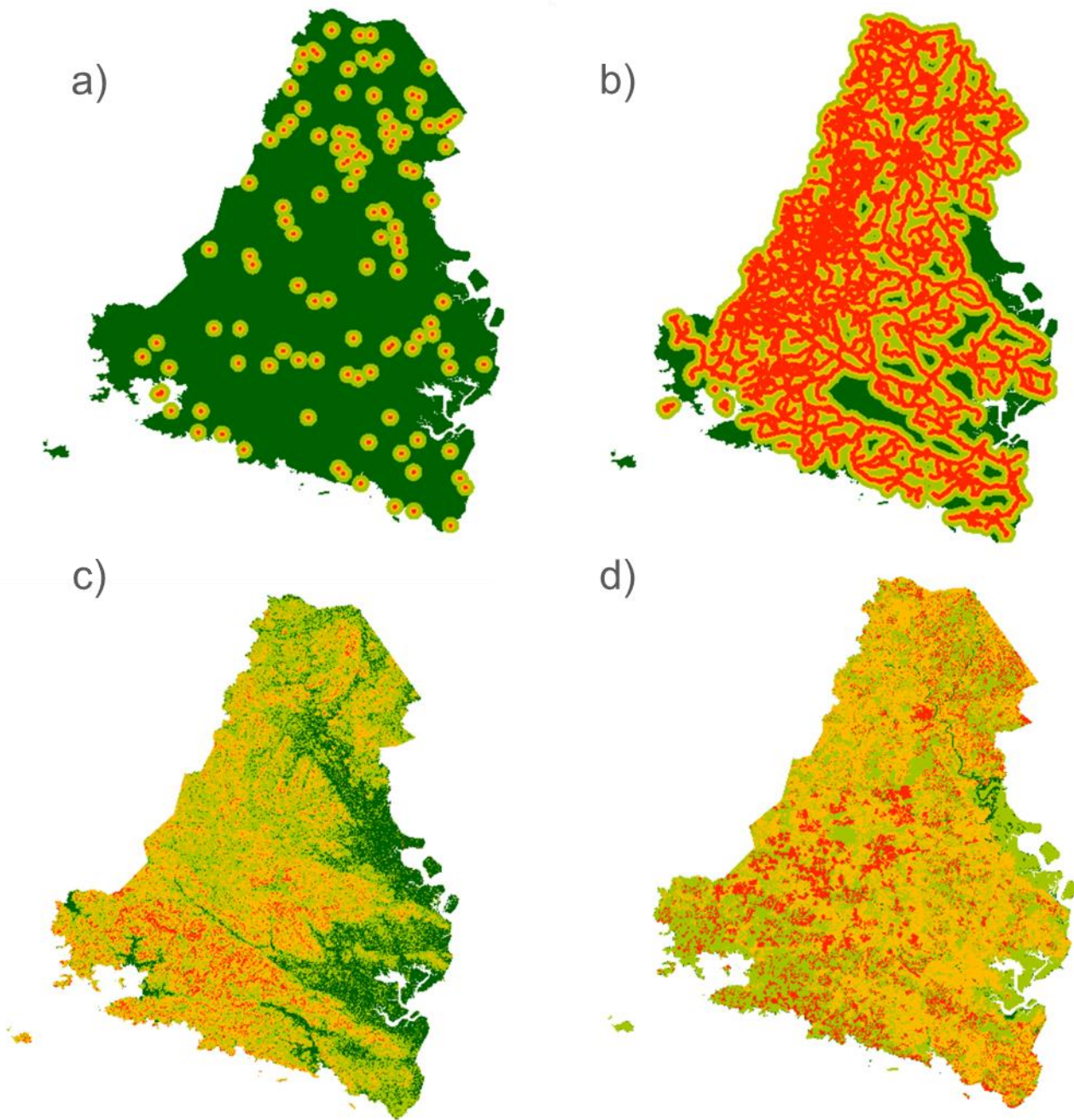
Tabla 63. Valores de ponderación utilizados para topografía

PENDIENTES	VALOR PONDERACIÓN
>45°	4
35-44°	3
20-34°	2
0-19°	1

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Una vez que son clasificadas las capas vectoriales en función de la contribución relativa de los factores de riesgo indicados, se realiza la integración de las variables para el proceso de zonificación de los mapas con los diferentes valores de ponderación (ilustración siguiente).

Ilustración 42. Distribución de los factores críticos para la generación y propagación de un incendio en el distrito de Soná: centros de poblados principales (a), vías de comunicación-infraestructura eléctrica (b) pendiente (c) y), uso de suelo y vegetación (d).



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023 con insumos de (Flores et al., 2016) y MiAmbiente (2021).

Posteriormente, se realiza un análisis de correlación multivariado para estimar las áreas de atención prioritarias de riesgos de incendios de masa vegetal en función de su contribución relativa a la generación o dispersión del fuego. La superficie de muy alta susceptibilidad de fuego abarca 17,048.75 ha, lo que corresponde a 11.31%.

2.5.5. Análisis de Resultados

El mapa de generación o tendencia de ignición para el distrito muestra las zonas donde es más probable que se inicie un incendio a partir de la conjunción de elementos asociados con la producción de estos eventos. Por otro lado, el mapa de propagación expresa de forma cualitativa y cuantitativa mediante un valor numérico asignado a cada zona, los lugares que son proclives a propagar el fuego considerando la cobertura vegetal según su capacidad combustible y la morfología del terreno (pendientes, presencia de cortafuegos, valles).

Al unir ambos elementos se obtiene un mapa final de susceptibilidad que representa mediante una zonificación las áreas en las que potencialmente se pueden producir extensivamente incendios (ilustraciones siguientes).

A partir de los análisis realizados se pueden destacar las siguientes observaciones:

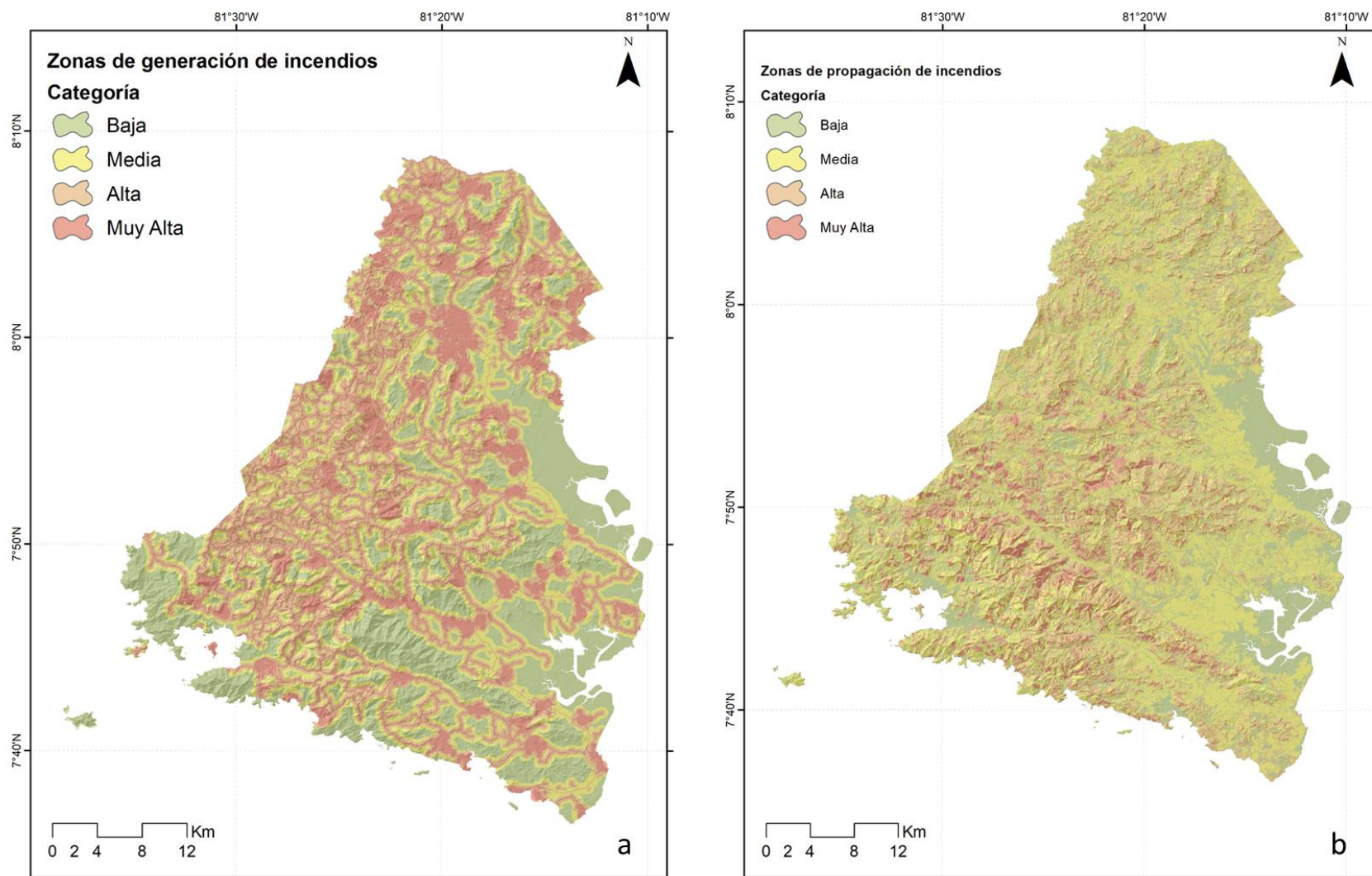
En el mapa de generación de incendios, el componente antrópico efectivamente corresponde al principal desencadenante de estos eventos, siendo notorios los centros poblados de mayor tamaño y densidad poblacional, en particular la cabecera de Soná, y las localidades ubicadas entre los límites de los corregimientos de Calidonia y Cativé, el límite oeste de Quebrada de Oro, la porción central de La Trinchera y el extremo este de El Maraón.

La zona periurbana de Soná y la mayor parte de los corregimientos de Calidonia y Cativé se proyectan como regiones especialmente peligrosas en términos de generación de incendios debido a la densidad de la red vial presente, la dominancia de pastizales alrededor y la naturaleza no pavimentada de los caminos y locales que atraviesan la región.

Respecto a los factores ambientales que fueron considerados en la propagación de los incendios, es interesante notar que las áreas con mayor influencia corresponden a los sistemas de lomeríos y valles distribuidos en la zona surponiente del distrito, particularmente aquellos que inciden dentro de los corregimientos de Cativé, La Trinchera, Bahía Honda y Río Grande. Dichos resultados están asociados con la dominancia de pastizales, rastrojo y vegetación arbustiva de gran capacidad combustible en conjunto con la morfología de la región caracterizada por la quebrada a través de la cual pasa el río Cate.

A pesar de la gran carga de material combustible distribuida hacia el norte del distrito en Quebrada de Oro y Rodeo Viejo, los resultados sugieren que el terreno llano de la región dificulta la expansión descontrolada de los incendios y facilita las maniobras de contingencia en caso de que se inicie un fuego.

Mapa 9. Riesgo de ignición o generación de incendio (a) y riesgo de propagación de incendio (b) en el distrito de Soná.



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Al unir ambos elementos se obtiene un mapa final de susceptibilidad que representa mediante una zonificación las áreas en las que potencialmente se pueden producir extensivamente incendios (mapa siguiente). Se presenta que la conjunción de los factores anteriores indica que los sitios con mayor riesgo se encuentran cerca de los centros poblados de Soná, Quebrada de Oro, Calidonia, Cativé y La Trinchera, así como la zona entre el límite de Bahía Honda y Río Grande. Es notorio que las afectaciones no se limitan específicamente al núcleo poblacional sino que se extienden a la zona periurbana de la interfase con las áreas rurales debido a la contribución simultánea de las actividades humanas y la cantidad de combustible vegetal disponible.

El distrito de Soná tiene una estación de Bomberos llamada “Alberto Martinelli” que se localiza en Ave. Central, en Soná (BCBRP, 2023). Durante los distintos talleres realizados representantes del Benemérito Cuerpo de Bomberos de la República de Panamá, encabezados por el coronel Eduardo Chen han participado en las mesas urbana y ambiental (ilustración siguiente)²¹.

Ilustración 43. Estación de Bomberos (Alberto Martinelli), Ciudad de Soná.

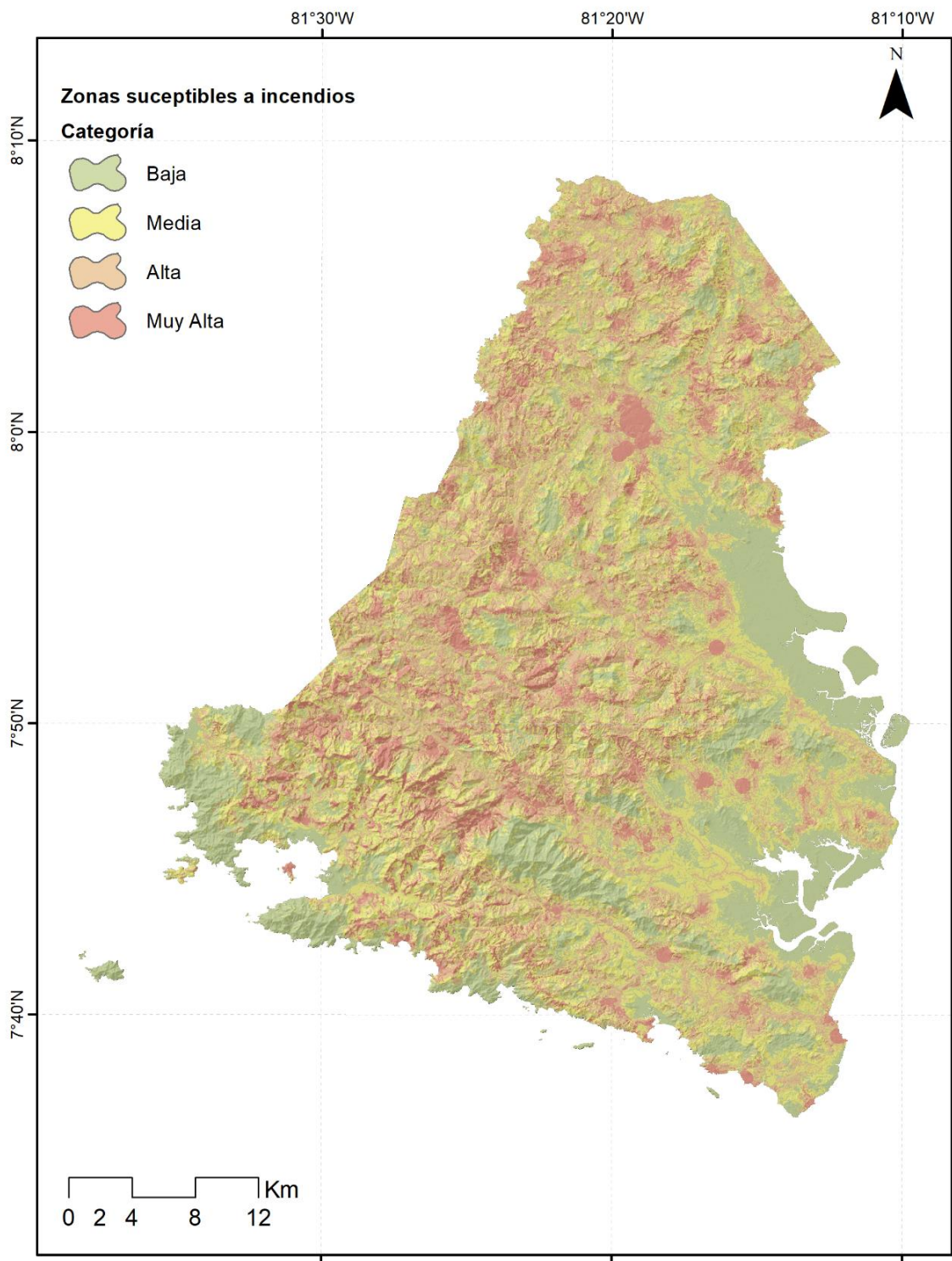


Fuente: (BCBRP, 2023).

Es posible identificar otra área general con alta susceptibilidad al fuego en las zonas más elevadas de los corregimientos de Calidonia, Cativé y La Trinchera, en donde los pastizales y la topografía sinuosa del terreno tienen un papel determinante al dificultar el control del fuego por lo que el desarrollo de programas de monitoreo y acciones de protección contra incendios forestales en esta zona son especialmente relevantes.

²¹ Así mismo debido al interés que se tiene por identificar las necesidades del BCBRP y conocer las atenciones a siniestros para tener una aproximación más representativa del territorio, se coordinará una reunión de trabajo

Mapa 10. Mapa de susceptibilidad de incendio



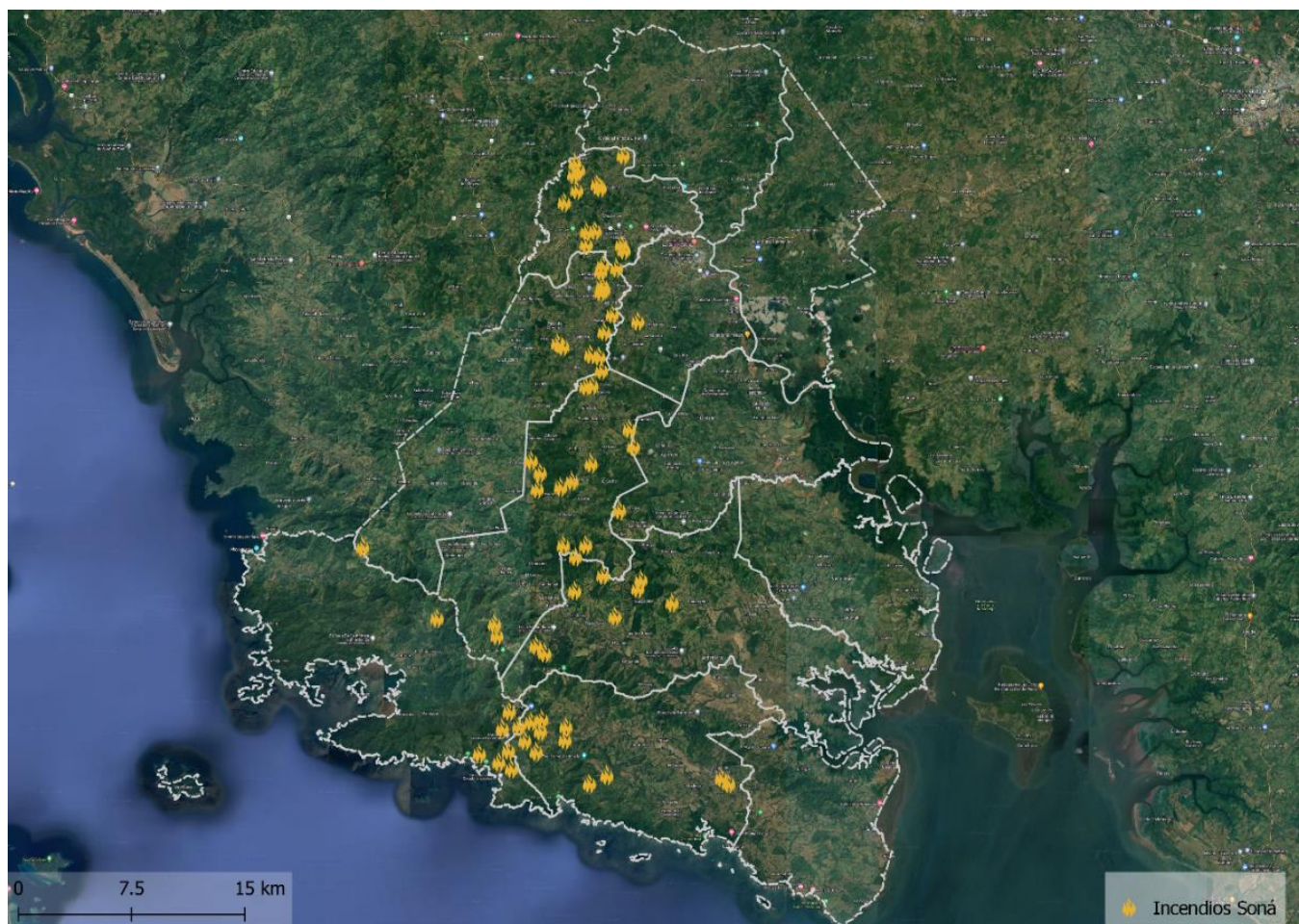
Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023

Para corroborar las estimaciones de probabilidad de incendios generadas por el análisis geoespacial, se consultó como referencia la ocurrencia histórica de estos eventos en el distrito y se identificó mediante

“Servicios de Consultoría para la elaboración de Plan de Ordenamiento Territorial y Estudios de Escenarios de Cambio Climático de Pedasí, Bocas del Toro, Boquete, Tierras Altas, Soná y Taboga, de la República de Panamá”

fotointerpretación, se identificaron al menos 70 sitios con evidencia de incendios atravesando en su mayoría una franja en la porción central oeste extendiéndose desde el sur de Rodeo Viejo y Quebrada de Oro pasando por Cativé y La Trinchera hasta llegar al límite entre Bahía Honda y Río Grande (mapa siguiente). La descripción anterior coincide en varios puntos con las localidades de mayor susceptibilidad a incendios identificadas en el análisis espacial desarrollado, lo que reafirma la necesidad de monitorear estas zonas prioritarias y reforzar las líneas estratégicas de acción implementadas para prevenir la ocurrencia de incendios forestales.

Ilustración 44 . Evidencia de incendios forestales en Soná



Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023.

Considerando que una de las principales causas de incendios es el uso cultural del fuego en el medio rural (quema de pastos, rastrojos, limpieza de parcelas) y en menor medida, negligencias y accidentes, MiAmbiente ya ha desarrollado un programa de manejo del fuego para la prevención oportuna de incendios que considera como parte de sus ejes estratégicos una política de protección de recursos naturales cuyas líneas de acción incluyen el lanzamiento de campañas a nivel nacional, brigadas de voluntarios, capacitaciones, sensibilización a las comunidades y coordinaciones interinstitucionales y con la sociedad civil para minimizar la incidencia de incendios de masas vegetales (IMAVES) en el país (ANAM, 2002) (MiAmbiente, 2022).

2.5.6. Recomendaciones

Las actividades que han sido desarrolladas para el control de incendios forestales en general siguen como ejes la prevención, detección y combate de incendios y se encuentran orientadas a reducir el deterioro de los ecosistemas forestales ocasionado por la alteración de los regímenes de fuego. Algunos de los componentes y directrices que han sido identificadas para el manejo del fuego se presentan a continuación (tabla siguiente).

Tabla 64. Líneas estratégicas y actividades desarrolladas para el manejo del fuego

	PREVENCIÓN
Se establecen medidas y mecanismos operativos para evitar la ocurrencia de incendios y prevenir su propagación	
• Manejo de combustibles y control de agentes de cambio del régimen de incendios • Estudios de las condiciones ambientales en los ecosistemas (propiedades de la vegetación, meteorología, geomorfología diagnóstico de carga combustible, estacionalidad y frecuencia de incendios) • Restauración y rehabilitación de ecosistemas afectados restableciendo el régimen de fuego natural • Obras de ingeniería para reducir la acumulación de material combustible y modificar su continuidad (brechas cortafuego, podas, quemas prescritas) • Actividades educativas para revalorar la importancia de recursos naturales y adquisición de hábitos de protección de zonas forestales (campañas de difusión, asistencia técnica para uso de fuego, educación ambiental, programas gubernamentales con participación comunitaria para la conservación de áreas naturales) • Supervisión legal para verificar cumplimiento de normas relativas al uso del fuego en el territorio • Implementación de programas de manejo del fuego (intervenciones institucionales, concertación y coordinación de acciones basada en la colaboración de actores)	
	DETECCIÓN
Desarrollo de servicios y sistemas de información y monitoreo para elaborar programas y tomas de decisiones bien fundamentadas	
• Instalación de torres de observación en plantaciones forestales • Sobrevuelos de zonas boscosas sin infraestructura de caminos • Creación de brigadas que realizan vigilancia de áreas forestales con gran valor o en aquellas cuya afluencia de personas es constante. Labor con apoyo institucional • Programa de monitoreo mediante técnicas de percepción remota en tiempo real para identificación de puntos de calor o incendios en el territorio a partir de información satelital • Establecimiento de una base de datos con registros documentados y archivos de eventos históricos (evaluación de tendencias de ignición, mapas dinámicos y de riesgo)	
	COMBATE
Fortalecimiento de capacidades técnicas del personal y de coordinación entre actores institucionales	
• Programas de capacitación y equipamiento para consolidar tener un personal calificado y entrenado en el combate de incendios (incluyendo técnicos, científicos y brigadistas) • Actividades de reconocimiento para detallar la naturaleza del incendio (dimensiones, tipo, velocidad de propagación, valores de riesgo) • Ejecución de actividades de combate a través de ataque inicial, construcción de líneas de control y liquidación del fuego	

Fuente: Elaborado por el Consorcio, 2023.

Índice de Figuras

Figura 1. Medidas priorizadas para el distrito de Soná.....	12
Figura 2. Escenario BAU y de mitigación de GEI al 2050 para el distrito de Soná	14
Figura 3. Balance radiativo de la tierra.....	16
Figura 4. GEI contemplados en el Protocolo de Kioto.....	17
Figura 5. Estrategias de lucha contra el Cambio Climático	17
Figura 6. Etapas generales y actividades para el desarrollo de la Hoja de ruta del distrito	19
Figura 7. Bloques que componen la Hoja de Ruta de mitigación al cambio climático	20
Figura 8. Componente: Inventario de Gases de Efecto Invernadero	22
Figura 9. Emisiones según alcances.....	24
Figura 10. Pasos para la elaboración de un inventario de emisiones de GEI	25
Figura 11. Resumen de emisiones por sector (en porcentaje)	40
Figura 12. Resumen de emisiones por tipo de GEI (en porcentaje)	41
Figura 13. Resumen de emisiones y absorciones por sector (emisiones netas)	42
Figura 14. Componente: Escenario tendencial y escenario de mitigación.....	52
Figura 15. Escenario BAU de emisiones de GEI al 2050 para el distrito de Soná.....	53
Figura 16. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 por sector para el distrito de Soná	54
Figura 17. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 para el sector Energía Estacionaria	55
Figura 18. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 para el sector Transporte.....	56
Figura 19. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 para el sector Residuos	56
Figura 20. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 para el sector Agricultura y Ganadería....	57
Figura 21. Proyección gráfica de emisiones de GEI al 2050 para el sector UTCUTS	58
Figura 22. Escenario BAU y escenarios de mitigación de GEI al 2050 para el distrito de Soná	59
Figura 23. Componente: Acción climática distrital.....	61
Figura 24. Etapas generales y actividades para el desarrollo de la Hoja de ruta del distrito	62
Figura 25. Plantilla de priorización de acciones de mitigación a nivel distrital.	64
Figura 26. Ejemplo de acciones priorizadas durante el taller distrital de Soná	66
Figura 27. Participantes del taller de “Obtención de insumos para las hojas de ruta de mitigación de emisiones de GEI”	67
Figura 28. Medidas priorizadas para el distrito de Soná.....	68
Figura 29. Componente: Ruta de mitigación de emisiones distritales	69
Figura 30. Emisión y absorción por sector	70

179

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Mesa de medio ambiente y cambio climático	101
Ilustración 2. Principales hallazgos del taller 1 en el Distrito de Soná	102
Ilustración 3. Modelo Digital de Terreno (MDT) de Panamá facilitado por el IGNTG, y utilizado para el modelado de la inundación costera.....	106
Ilustración 4. Profundidad (en metros) de los puntos costeros a partir de los cuales se ha analizado la evolución de la línea de costa en Panamá.....	107
Ilustración 5. Extensión de la inundación en horizonte 2050.....	109
Ilustración 6. Aproximación de las zonas susceptibles al aumento del nivel del mar en Soná.....	110
Ilustración 7. Síntesis de medidas de adaptación al cambio climático en zonas costeras	113
Ilustración 8 Precipitación (mm/día) por período de retorno en la estación de Cative	117
Ilustración 9 Precipitación (mm/día) por período de retorno en la estación de Cañazas	117

Ilustración 10 Precipitación (mm/día) por período de retorno en la estación de El Cobrizo	118
Ilustración 11. Portal Centro Clima.....	119
Ilustración 12 Incremento porcentual de precipitación máxima diaria para los escenarios RCP 4.5 2041-2070 (izquierda) y RCP 8.5 2041-2070 para las cuencas de los Ríos Cobre, San Pablo y Tríbique ..	119
Ilustración 13 Ordenadas: precipitación máxima diaria (mm) Abscisas: periodo de retorno (años) actual y proyectado para la estación Cative	120
Ilustración 14 Ordenadas: precipitación máxima diaria (mm) Abscisas: periodo de retorno (años) actual y proyectado para la estación Cañazas	121
Ilustración 15 Ordenadas: precipitación máxima diaria (mm) Abscisas: periodo de retorno (años) actual y proyectado para la estación El Cobrizo	121
Ilustración 16 Manual de Requisitos para la Revisión de Planos (MOP) y Curva IDF para Cuenca del Río San Pablo	122
Ilustración 17 Hidrograma unitario del SCS.	123
Ilustración 18. Modelo hidrológico HEC-HMS de las cuencas del Río Cobre, San Pablo y Tríbique ..	131
Ilustración 19. Hidrograma en el punto de salida de la cuenca alta del río Cobre (A), para el modelo de TR 100 años.	134
Ilustración 20. Hidrograma en el punto de salida de la cuenca alta del río San Pablo (B), para el modelo de TR 100 años.	134
Ilustración 21. Hidrograma de salida en el punto de encuentro de los ríos Cobre y San Pablo (C), para el modelo de TR 100 años.....	135
Ilustración 22 Hidrograma de salida en el punto final de la cuenca (D), para el modelo de TR 100 años.	135
Ilustración 23. Detalle de Malla de cálculo no estructurada desarrollada para el modelo hidráulico de la zona de estudio en Soná.	141
Ilustración 24. Consulta de eventos registrados en la Plataforma DESINVENTAR.	142
Ilustración 25. Detalle comparativo entre las manchas de inundación del evento con período de retorno T2 con clima actual (verde) y T100RCP4.5 (naranja)	144
Ilustración 26. Zonas afectadas por inundación en Soná con un T100RCP4.5.	145
<i>Ilustración 27 Detalle de inundaciones en las barriadas más expuestas a inundación para eventos con período de retorno T2 (verde) y T10 (rosa) con clima actual.....</i>	<i>146</i>
Ilustración 28. Curva MDR para los materiales constructivos de block y concreto.	147
Ilustración 29. Curva MDR para los materiales constructivos de madera y zinc.....	147
Ilustración 30. Tabla comparativa de daños externos (azul) e internos (gris) entre las avenidas de menor y mayor afección.....	149
Ilustración 31: Aumento potencial del área urbana en zona inundable en un escenario de crecimiento tendencial en Soná.	152
Ilustración 32: Desagregación del riesgo por sectores en el distrito de Soná.....	153
Ilustración 33. Gráfica de desarrollo del VAN de la medida de reubicación propuesta.....	155
Ilustración 34. Proceso de entrega de viviendas a las familias reasentadas en las Brisas de Soná. ..	156
Ilustración 35: Monitoreo de reforestaciones en la cuenca del río San Pablo por parte del Comité de la Cuenca Hidrográfica del Río San Pablo (CCHRS)	157
Ilustración 36. Registro de Incendios forestales en la provincia de Veraguas	162
Ilustración 37. Clasificación de incendios según la vegetación de propagación	163
Ilustración 38. Factores determinantes en la propagación de incendios	164
Ilustración 39 Factores antropogénicos determinantes en la generación de incendios	166
Ilustración 40. Estructura de la evaluación del peligro de ocurrencia de incendios	167

Ilustración 41. Elementos del territorio determinantes de riesgo de ignición y/o propagación para la ocurrencia de incendios.....	169
Ilustración 42. Distribución de los factores críticos para la generación y propagación de un incendio en el distrito de Soná: centros de poblados principales (a), vías de comunicación-infraestructura eléctrica (b) pendiente (c) y), uso de suelo y vegetación (d).	172
Ilustración 43. Estación de Bomberos (Alberto Martinelli), Ciudad de Soná.	175
Ilustración 44 . Evidencia de incendios forestales en Soná.....	177

Índice de Mapas

Mapa 1. Cuencas por analizar en Distrito Soná.....	114
Mapa 2. Localización de las estaciones pluviométricas con series de datos superiores a 30 años continuos. Distrito Soná.....	115
Mapa 3. Usos de suelo en las cuencas de los ríos Cobre (izquierda), San Pablo (derecha) y Tríbique (abajo).	126
Mapa 4. Geología en las cuencas de los ríos Cobre, San Pablo y Tríbique.	127
Mapa 5. Clasificación frente al drenaje en las cuencas de los ríos Cobre, San Pablo y Tríbique.	128
Mapa 6. Número de Curva en las cuencas de los ríos Cobre (izquierda), San Pablo (derecha) y Tríbique (abajo).	129
Mapa 7. Profundidad de inundación T100RCP4.5 de los ríos Cobre, San Pablo y Tríbique a su paso por la ciudad de Soná.	143
Mapa 8. Mapeo de las Pérdidas Anuales Esperadas (PAE) en el distrito de Soná.	151
Mapa 9. Riesgo de ignición o generación de incendio (a) y riesgo de propagación de incendio (b) en el distrito de Soná.....	174
Mapa 10. Mapa de susceptibilidad de incendio.....	176

181

Índice de Tablas

Tabla 1. Inventario distrital de GEI de Soná, 2021.....	11
Tabla 2. Instrumentos normativos relevantes para la elaboración del inventario de GEI.....	20
Tabla 3. Potenciales de calentamiento global utilizados para los GEI considerados en el Inventario... ..	28
Tabla 4. Marco de inventario de GEI.....	29
Tabla 5. Categorías del Inventario de GEI	30
Tabla 6. Sectores considerados para el inventario de GEI.....	30
Tabla 7. Correspondencia de categorías IPCC y GPC.....	32
Tabla 8. Identificación de emisiones de GEI del Distrito de Soná	34
Tabla 9. Estrategia abordada para la obtención del dato de actividad	35
Tabla 10. Emisiones de categorías de energía estacionaria (tCO ₂ e y %)	41
Tabla 11. Emisiones de categorías de transporte (tCO ₂ e y %).....	41
Tabla 12. Emisiones de categorías de residuos (tCO ₂ e y %).....	42
Tabla 13. Resumen de emisiones de gases de efecto invernadero por sector y alcance (GPC Tabla 4.2)	43
Tabla 14. Resultados del inventario de GEI para el año 2021 (GPC Tabla 4.1).....	43
Tabla 15. Desglose de resultados del inventario de GEI del distrito Soná (GPC tabla 4.3)	44
Tabla 16. Proyección de emisiones de GEI al 2050 por sector en Soná.....	53

Tabla 17. Escenario tendencial de emisiones de GEI al 2050 para el sector Energía Estacionaria	54
Tabla 18. Escenario tendencial de emisiones de GEI al 2050 para el sector Transporte	55
Tabla 19. Escenario tendencial de emisiones de GEI al 2050 para el sector Residuos.....	56
Tabla 20. Escenario tendencial de emisiones de GEI al 2050 para el sector Agricultura y Ganadería .	57
Tabla 21. Escenario tendencial de emisiones de GEI al 2050 para el sector UTCUTS	57
Tabla 22. Comparativa de escenario tendencial vs escenario de mitigación	59
Tabla 23. Comparativa de escenario tendencial vs escenario CDN1 Panamá.....	59
Tabla 24. Escenario de mitigación por sector en el distrito de Soná	60
Tabla 25. Escenario CDN1 por sector en el distrito de Soná.....	60
Tabla 26. Dimensiones de evaluación de los criterios utilizados para la priorización de acciones de mitigación	63
Tabla 27. Preguntas detonantes de la discusión en la mesa de trabajo 1 “Acciones de mitigación”	66
Tabla 28. Preguntas detonantes de la discusión en la mesa de trabajo 2 “Elementos técnicos”	66
Tabla 29. Síntesis de resultados del inventario	69
Tabla 30. Escenario tendencial de emisiones de GEI 2021 - 2050	70
Tabla 31. Medidas de mitigación y su plazo.....	71
Tabla 32. Costo de abatimiento de las medidas de mitigación priorizadas del distrito	72
Tabla 33. Categorías de coberturas de la tierra usadas como dato de actividad en UTCUTS	86
Tabla 34. Agenda de reuniones de seguimiento	103
Tabla 35 Hallazgos de eventos registrados en fuentes secundarios para la provincia de Veraguas ..	110
Tabla 36. Datos generales de las estaciones pluviométricas a analizar en Distrito Soná.....	116
Tabla 37. Probabilidad de ocurrencia del suceso en un año determinado	116
Tabla 38. Precipitación (mm/día) por estación y período de retorno	116
Tabla 39. Precipitación (mm/día) con clima actual y en los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 para 2041-2070 para la estación Cativé.	120
Tabla 40. Precipitación (mm/día) con clima actual y en los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 para 2041-2070 para la estación Cañazas.	120
Tabla 41. Precipitación (mm/día) con clima actual y en los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 para 2041-2070 para la estación El Cobrizo.....	121
Tabla 42. Número de curva para condición antecedente de humedad II según el uso del suelo y su grupo hidrológico.	124
Tabla 43. Parámetros para el cálculo de abstracciones de los ríos Cobre, San Pablo y Tríbique.	133
Tabla 44. Parámetros hidrológicos para la propagación del hidrograma en cada tramo de estudio. ..	133
Tabla 45. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 2 años. Clima Actual	136
Tabla 46. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 10 años. Clima Actual	136
Tabla 47. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 50 años. Clima Actual	137
Tabla 48. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 100 años. Clima Actual	137
Tabla 49. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 2 años. RCP 4.5	138
Tabla 50. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 10 años. RCP 4.5	138
Tabla 51. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 50 años. RCP 4.5	138

Tabla 52. Salidas del modelo hidrológico de la cuenca para el periodo de retorno de 100 años. RCP 4.5	139
. Tabla 53. Tabla de estimación de coste de reposición por cada m ² de vivienda afectado.....	148
Tabla 54. Tabla de estimación de daños internos empleada en la estimación de la vulnerabilidad de las edificaciones.....	148
Tabla 55. Resultados del análisis de la PAE en el distrito de Soná para los 2 escenarios climáticos considerados	150
Tabla 56. Parámetros económicos de la medida de encauzamiento propuesta.....	154
Tabla 57. Registro de Incendios forestales en la provincia de Veraguas	161
Tabla 58. Sistema de Clasificación de combustibles forestales	165
Tabla 59. Valores de ponderación utilizados para centros poblados y número de habitantes	169
Tabla 60. Valores de ponderación utilizados para vías de comunicación.....	170
Tabla 61. Valores de ponderación utilizados para infraestructura	170
Tabla 62. Valores de ponderación utilizados para cobertura vegetal	170
Tabla 63. Valores de ponderación utilizados para topografía.....	171
Tabla 64. Líneas estratégicas y actividades desarrolladas para el manejo del fuego.....	178

BIBLIOGRAFÍA

- Ambiente, A. N. (2010). Atlas Ambiental de la República de Panama. Panama: Novo Art. S.A.
- ANAM. (2002). *Programa de Prevención y Control de Incendios Forestales*. Panamá: ANAM.
- BCBRP. (03 de 2017). Incendios de massa vegetal afecta flora y fauna en Veraguas. *Benemérito Cuerpo de Bomberos de la República de Panamá*, pág. 2.
- BCBRP. (28 de 02 de 2018). *Bomberos de Panamá*. Obtenido de Twitter: <https://twitter.com/bcbrp/status/968957356230041601>
- BCBRP, B. C. (2023). *Estación Soná (ALberto Martinelli)*. Obtenido de <https://www.bomberos.gob.pa/estaciones/estaciones/estacion-sona-alberto-martinelli/>
- Benett M. . (2017). *Appendix B. The Effects of Topography, Weather, and Fuel on Fire Behavior*. EUA: Oregon State University.
- Centurioni y Niiler . (2003). On the surface currents of the Caribbean Sea. *Geophysical Research Letters* , 1-4.
- CEPAL. (2021). *Camino al desarrollo local inclusivo*.
- CONAFOR. (2010). *Incendios forestales. Guía práctica para comunicadores*. México: Comisión Nacional Forestal.
- Copernicus. (10 de 10 de 2022). *MyOcean Viewer*. Obtenido de Copernicus Marine Service: <https://myocean.marine.copernicus.eu/data?view=viewer&crs=epsg%3A4326&t=1641013200000&z=0¢er=-82.24691876271787%2C9.211016408420251&zoom=17&layers=W3siaWQiOiJjMCIsImxheWV5SWQiOiJHTE9CQUxfQU5BTfITSVNfRk9SRUNBU1RfUEhZXzAwMV8wMjQvZ2xvYmFsLWFWYX5c2lzLWZv>
- Departamento de Oceanografía e Hidrografía. (2003). *Observación y análisis de datos del nivel del mar*. Chile: Ministerio de Gobierno y Justicia.
- Diéguez Pinto, M. (5 de mayo de 2020). *Capacidad de Resiliencia del Archipiélago de Bocas del Toro frente al Cambio climático* . Obtenido de <https://piraguamdp.com/2020/05/05/capacidad-de-resiliencia-del-archipelago-de-bocas-del-toro-frente-al-cambio-climatico/>
- EPA. (2009). *Synthesis of Adaptation Options for Coastal Areas*. Washington, DC, U.S.: Environmental Protection Agency.
- Flores et al. (2016). *Manual para la elaboración de mapas de riesgo de incendios forestales*. México: INIFAP-CIRPAC.
- Hunt y Byers. (2019). Reducing sea level rise with submerged barriers and dams in Greenland. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* , 779–794 .
- IH Cantabria. (s.f). *Evolución temporal de la línea de costa en Panamá*. Panamá: Universidad de Cantabria.
- IH Cantabria. (s.f). *Revisión y mapeo de las condiciones del clima en la costa considerando los eventos extremos met-oceánicos históricos*. Panamá: Universidad de Cantabria.

- IH Cantabria. (s.f). *REVISIÓN Y MAPEO DE LAS CONDICIONES DEL CLIMA EN LA COSTA, CONSIDERANDO LOS EVENTOS EXTREMOS MET-OCEÁNICOS HISTÓRICOS*. Panamá: Universidad de Cantabria.
- IHCantabria. (2023). *“Desarrollo de una base de datos de dinámicas marinas en las costas panameñas para evaluar impactos y vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar”*. Panamá.
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censo*. Obtenido de Sistema de Información Censal del Año 2010.
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. (H. Eggleston, L. Buendía, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Edits.) Japón: IGES. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf
- IPCC. (2007). *Cambio Climático: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Lizano. (2006). Algunas características de las mareas en la costa Pacífica y Caribe de Centroamérica. *Ciencia y Tecnología*, 51-64.
- Machuca. (29 de 03 de 2015). Investigan si hubo mano criminal en incendio forestal. *CRÍTICA*, pág. 3.
- MiAmbiente. (30 de 12 de 2022). *Ministerio de Ambiente lanza campaña de prevención de incendios de masa vegetal (IMAVE) 2023*. Obtenido de MiAmbiente.gob: [https://www.miambiente.gob.pa/199579-2/#:~:text=CONSULTAS%20Alternar%20men%C3%BA,Ministerio%20de%20Ambiente%20lanza%20campa%C3%B1a%20de%20prevenci%C3%B3n,de%20masa%20vegetal%20\(IMAVE\)%202023&text=Bajo%20el%20lema%20%C2%BFIncendi ar%C3%ADas%20tu,Masas%20Ve](https://www.miambiente.gob.pa/199579-2/#:~:text=CONSULTAS%20Alternar%20men%C3%BA,Ministerio%20de%20Ambiente%20lanza%20campa%C3%B1a%20de%20prevenci%C3%B3n,de%20masa%20vegetal%20(IMAVE)%202023&text=Bajo%20el%20lema%20%C2%BFIncendi ar%C3%ADas%20tu,Masas%20Ve)
- MiAmbiente. (2022). *Nivel de Referencia Forestal de Panamá*. República de Panamá: MiAmbiente.
- MiAMBIENTE. (2022). *Nivel de Referencia Forestal de Panamá*. Obtenido de Ministerio de Ambiente de Panamá
- Panamá, B. C. (2023). *REHABILITACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEROS DE ISLA COLÓN TIENE 98% DE AVANCE*. Obtenido de <https://www.bomberos.gob.pa/2021/07/15/rehabilitacion-de-la-estacion-de-bomberos-de-isla-colon-tiene-98-de-avance/>
- Richardson. (2005). Caribbean Current and eddies as observed by surface drifters. *Deep-Sea Research*, 429-463.
- Sánchez y Reyes. (2015). *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL.
- SERVIR. (08 de 01 de 2016). *El evento El Niño y sus impactos en Panamá en 2015. Pronóstico climático hasta abril de 2016*. Obtenido de SERVIR: <https://www.servir.net/servir-en-accion/analisis-ambientales/802-el-evento-el-nino-y-sus-impactos-en-panama-en-2015-pronostico-climatico-hasta-abril-de-2016.html>

SINIA. (03 de 02 de 2023). *Sistema Nacional de Información Ambiental*. Obtenido de Estadísticas Ambientales: <https://www.sinia.gob.pa/index.php/superficie-afectada-por-incendios-forestales-segun-regional-anos-2009-2021>

Smithsonian Institution. (26 de 10 de 2021). *GIS Data Portal*. Obtenido de Our data: <https://stridata-si.opendata.arcgis.com/pages/Our%20Data>

UNDRR. (2023). *Oficina de Naciones Unidas para la reducción del Riesgo de Desastre*. Obtenido de <https://www.undrr.org/es>

UNEP. (11 de 09 de 2019). *El aumento del nivel del mar tendría efectos catastróficos si no tomamos medidas ahora*. Obtenido de CLIMATE ACTION: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-aumento-del-nivel-del-mar-tendria-efectos-catastroficos-si-no>

UNODC. (2022). *¿Qué es la buena gobernanza?*

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL DISTRITO DE SONÁ