

NOTA TÉCNICA N° IDB-TN-03183

Riesgo Climático y Resiliencia Territorial: Insumos para la Implementación de la E2050 en Colombia

Omar Darío Cardona A.
Gabriel Andrés Bernal G.
Sthefania Grajales N.
Dora Catalina Suárez O.
María del Pilar Pérez R.
Diana Marcela González C.

Banco Interamericano de Desarrollo
Cambio Climático y Desarrollo Sostenible

Diciembre 2025



Riesgo Climático y Resiliencia Territorial: Insumos para la Implementación de la E2050 en Colombia

Omar Darío Cardona A.
Gabriel Andrés Bernal G.
Sthefania Grajales N.
Dora Catalina Suárez O.
María del Pilar Pérez R.
Diana Marcela González C.

Banco Interamericano de Desarrollo
Cambio Climático y Desarrollo Sostenible

Diciembre 2025

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

Riesgo climático y resiliencia territorial: insumos para la implementación de la E2050 en Colombia / Omar Darío Cardona A., Gabriel Andrés Bernal G., Sthefania Grajales N., Dora Catalina Suárez O., María del Pilar Pérez R., Diana Marcela González C., José Manuel Sandoval, Andrea Acosta.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 3183)

1. Climatic changes-Risk management-Colombia. 2. Resilience (Ecology)-Colombia. 3. Climatic changes-Government policy-Colombia. 4. Environmental risk assessment-Government policy-Colombia. I. Cardona, Omar Darío. II. Bernal, Gabriel. III. Grajales N., Sthefania. IV. Suárez, Dora Catalina. V. Pérez R., María del Pilar. VI. González, Diana Marcela. VII. Sandoval, José. VIII. Acosta, Andrea. IX. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Soluciones al Cambio Climático. X. Serie. IDB-TN-3183

Códigos Jel: Q54, Q57, Q25, Q23, Q51

Palabras Clave: riesgo climático, resiliencia territorial, colombia, cambio climático

Autores:

Ingeniar Risk Intelligence:

Omar Darío Cardona A.

Director del Proyecto: Experto en gestión del riesgo/adaptación y cambio climático

Gabriel Andrés Bernal G.

Experto en modelación de riesgo catastrófico y cambio climático

Sthefania Grajales N.

Experta en riesgo climático bajo condiciones de alta incertidumbre para la toma de decisiones

Dora Catalina Suárez O.

Experta ambiental con experiencia en formulación de políticas y planes ambientales

María del Pilar Pérez R .

Experta en adaptación, monitoreo y evaluación

Diana Marcela González C.

Experta en riesgo climático bajo condiciones de alta incertidumbre para la toma de decisiones

BID:

José Manuel Sandoval

Especialista Senior, BID

Andrea Acosta

Consultora

<http://www.iadb.org>

Copyright ©2025 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Riesgo Climático y Resiliencia Territorial: Insumos para la Implementación de la E2050 en Colombia



Contenido

Pág.	
6	Resumen Ejecutivo
8	1 Introducción
10	2 Objetivo y Alcance
14	3 Metodología
15	3.1. Enfoque metodológico
18	3.2. Modelo de riesgo por huracanes
20	3.3. Modelo de riesgo por inundaciones
21	3.4. Modelo de riesgo por deslizamientos
22	3.5. Modelo de riesgo por sequía
23	3.6. Modelo de riesgo por incendios forestales
24	3.7. Talleres participativos
24	3.8. Limitaciones y consideraciones de incertidumbre
26	4 Resultados de la evaluación de riesgo
27	4.1. Riesgo por huracán
28	4.2. Riesgo por inundación
29	4.3. Riesgo por deslizamientos
30	4.4. Riesgo por sequía
32	4.5. Riesgo por incendios forestales
34	5 Medidas de Adaptación
35	5.1. Medidas de adaptación física
36	5.2. Medidas de adaptación del contexto
	6 Conclusiones
39	6.1. Sobre el riesgo climático
39	6.2. Sobre la incorporación de medidas de adaptación en el modelo de riesgo
39	6.3. Sobre los procesos participativos desarrollados
40	6.4. Sobre la implementación de los resultados de adaptación
42	7 Bibliografía
44	Anexo 1. Gráficos riesgo-inversión para los territorios evaluados
66	Anexo 2. Tablas de indicadores seleccionados
70	Anexo 3. Gráficos agravamiento-esfuerzo para los territorios evaluados

Agradecimientos

Esta Nota Técnica fue elaborada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), a través de la División de Soluciones al Cambio Climático” e Ingeniar Risk Intelligence. El estudio fue desarrollado por Ingeniar Risk Intelligence, con el equipo conformado por Omar Darío Cardona A., Gabriel Andrés Bernal G., Sthefania Grajales N., Dora Catalina Suárez O., María del Pilar Pérez R. y Diana Marcela González C. en colaboración con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

Se agradece especialmente el trabajo de revisión y retroalimentación técnica realizado por: Maricarmen Esquivel (CSD/CCS), Hori Tsuneki (CSD/DRM), Jaime Fernández-Baca (CSD/CCS), Mariana Alfonso (CSD/CCS) y Mario Salgado (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres – UNDRR), quienes aportaron valiosos

comentarios y sugerencias que enriquecieron el contenido final. Igualmente, se reconoce la colaboración de las entidades y profesionales que facilitaron datos, información técnica y validación de resultados durante el desarrollo del estudio.

Este trabajo se enmarca en el proyecto “Apoyo al Diseño de Vías de Adaptación de Largo Plazo para hacer frente a los Riesgos Climáticos en Perú y Colombia” (RG-T3812), desarrollado con financiamiento de “Climate Investment Funds – Pilot Program for Climate Resilience (CIF-PPCR), cuyo objetivo es fortalecer la capacidad de planificación y adaptación de los países frente a los impactos del cambio climático. El BID agradece a CIF-PPCR por su apoyo a la generación de conocimiento técnico y a la formulación de estrategias que contribuyen a la sostenibilidad ambiental y la resiliencia climática en Colombia.

Resumen Ejecutivo

Esta Nota Técnica presenta una evaluación integral del riesgo climático para apoyar la implementación de la Estrategia Climática de Largo Plazo de Colombia (E2050), con énfasis en la identificación y priorización de medidas de adaptación definidas mediante un proceso participativo con instituciones nacionales. El estudio aplica un marco conceptual robusto, combinando la Metodología de Decisiones Robustas (Robust Decision Making, RDM) y la Ingeniería de Control de Riesgos (Risk Control Engineering, RCE) para abordar la gestión del riesgo de desastres frente a escenarios climáticos futuros inciertos.

La metodología integra modelación probabilística del riesgo y cuantificación de pérdidas potenciales en múltiples sectores y territorios bajo proyecciones climáticas al 2050. Se evaluaron cinco amenazas prioritarias: huracanes, inundaciones, deslizamientos, sequías e incendios forestales. Estas amenazas fueron analizadas para orientar inversiones estratégicas y acciones de adaptación en coherencia con los principios de gradualidad, diferenciación territorial y reducción efectiva del riesgo establecidos en las políticas nacionales y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).

Los resultados muestran que el cambio climático incrementará de manera significativa los riesgos asociados a todas las amenazas evaluadas, afectando infraestructura física, medios de vida y servicios ecosistémicos. Los impactos serán particularmente severos en sectores clave como vivienda, salud, educación, comercio, transporte, producción agropecuaria y ecosistemas forestales en los 22 municipios analizados. Las simulaciones de escenarios y el análisis costo-beneficio respaldan la priorización de estrategias de adaptación específicas por territorio y sector.

El enfoque participativo permitió construir un portafolio de medidas —conservación, restauración, uso sostenible del suelo y fortalecimiento de capacidades— que facilita que los municipios, con apoyo del gobierno nacional, definan niveles adecuados de adaptación considerando urgencia, recursos y viabilidad política. Los hallazgos ofrecen una base técnica para planes de acción escalables y contextualmente adaptados, que fortalezcan la resiliencia y reduzcan las pérdidas por cambio climático.

Palabras clave: Evaluación de riesgo climático, decisiones robustas, ingeniería de control de riesgos, estrategias de adaptación, modelación probabilística, análisis costo-beneficio, servicios ecosistémicos, mitigación de amenazas.

Abstract

This Technical Note presents a comprehensive climate risk assessment to support the implementation of Colombia's Long-Term Climate Strategy (E2050), focusing on the identification and prioritization of adaptation measures selected through a participatory process with national institutions. The study applies a robust conceptual framework, combining Robust Decision Making (RDM) and Risk Control Engineering (RCE) to address disaster risk management under uncertain future climate scenarios.

The methodology integrates probabilistic risk modelling and quantification of potential losses in multiple sectors and territories under climate projections to 2050. Five priority hazards were evaluated: hurricanes, floods, landslides, droughts, and wildfires. These hazards were analyzed to guide strategic investments and adaptation actions in line with the principles of gradual implementation, territorial differentiation, and effective risk reduction established in national policies and the National Climate Change Adaptation Plan (PNACC).

Results indicate that climate change will significantly increase risks across all hazards assessed,

affecting physical assets, livelihoods, and ecosystem services. Impacts will be particularly severe in key sectors such as housing, health, education, commerce, transportation infrastructure, agricultural production, and forest ecosystems in the 22 municipalities analyzed. Scenario simulations and cost-benefit analyses informed the prioritization of adaptation strategies tailored by territory and sector.

The participatory approach resulted in a portfolio of measures—spanning conservation, restoration, sustainable land use, and capacity building—that allows municipalities, with national government support, to determine appropriate adaptation levels considering urgency, resources, and political feasibility. The findings provide a technical basis for scalable, context-specific action plans that strengthen resilience and reduce climate-related losses.

Keywords: climate risk assessment, robust decision making, risk control engineering, adaptation strategies, probabilistic modeling, cost-benefit analysis, ecosystem services, hazard mitigation.

1 Introducción



El presente estudio constituye un esfuerzo técnico orientado a fortalecer la capacidad de Colombia para enfrentar los desafíos derivados del cambio climático, aportando evidencia robusta para la formulación e implementación de medidas de adaptación al cambio climático de largo plazo. A diferencia de la mitigación, cuyo objetivo es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en respuesta a una problemática global, la adaptación se focaliza en disminuir los impactos negativos del cambio climático ya visibles o anticipados del cambio climático. Se prefiere la adaptación en contextos territoriales específicos porque permite responder de manera directa y oportuna a los riesgos que ya están afectando a las comunidades, como el aumento en la frecuencia de eventos extremos, la pérdida de cultivos, el deterioro de la salud pública o el daño a la infraestructura.

La adaptación al cambio climático, por su naturaleza territorial y multisectorial, requiere herramientas analíticas que permitan comprender y anticipar cómo los fenómenos climáticos extremos afectan de manera diferenciada a los distintos municipios, sectores económicos y servicios ecosistémicos del país. En ese sentido, este estudio adopta un enfoque integral basado en la gestión del riesgo de desastres como vía prioritaria para reducir la vulnerabilidad frente a los impactos climáticos, articulando la adaptación con las políticas públicas nacionales, especialmente la Estrategia Climática de Largo Plazo (E2050) y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).

Metodológicamente, el análisis se apoya en técnicas avanzadas de modelación probabilista del riesgo, empleando la Pérdida Anual Esperada (PAE) como indicador central para la cuantificación de potenciales pérdidas económicas promedio que se esperan anualmente bajo distintos escenarios de amenaza. Asimismo, incorpora herramientas como la Toma Robusta de Decisiones (RDM) y la Ingeniería de Control del Riesgo (RCE), que permi-

ten diseñar y priorizar estrategias de adaptación óptimas incluso bajo condiciones de profunda incertidumbre. El alcance del estudio incluye la evaluación de cinco amenazas hidrometeorológicas clave—huracanes, inundaciones, deslizamientos, sequías e incendios forestales—y su impacto sobre edificaciones, infraestructura vial, sistemas agrícolas y servicios ecosistémicos en un conjunto de 22 municipios seleccionados por su alta exposición y relevancia estratégica.

Para cada amenaza y sector, se evalúa un portafolio de exposición el cual fue seleccionado para ser intervenido mediante las medidas de adaptación propuestas. Por consiguiente, cada territorio fue modelado considerando portafolios diferenciados¹ de elementos expuestos, tales como vivienda, salud, educación, comercio, vías de comunicación, cultivos agrícolas y ecosistemas boscosos, lo que permitió una caracterización detallada del riesgo y una mejor focalización de las acciones de adaptación. Para robustecer la estimación y comparación de medidas, se emplearon escenarios climáticos globales (RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5) y proyecciones nacionales (IDEAM, Tercera Comunicación Nacional), garantizando así una visión amplia de posibles futuros climáticos.

Adicionalmente, el proceso incluyó la realización de talleres participativos en distintas ciudades, involucrando actores clave de gobiernos locales, entidades nacionales, academia y sociedad civil. Esta aproximación permitió validar resultados, enriquecer el análisis con conocimiento local y fortalecer la legitimidad social de las propuestas. El documento concluye con reflexiones sobre el riesgo climático, la incorporación de medidas de adaptación en la modelación, el enfoque de género en los procesos participativos y las recomendaciones para la implementación efectiva de los resultados, constituyendo así una base técnica y estratégica para la toma de decisiones informada en materia de adaptación y resiliencia climática en Colombia.

2 Objetivo y Alcance



El objetivo general de esta nota técnica es presentar la evaluación el riesgo climático, mediante la cuantificación de amenazas, vulnerabilidades y posibles impactos sobre los diferentes sectores. A partir de este diagnóstico, se busca proponer medidas estratégicas de adaptación y fortalecer la gobernanza ambiental, con el fin de aportar insumos técnicos que respalden la toma de decisiones a nivel territorial y la formulación e implementación de instrumentos de política orientados a la resiliencia climática de largo plazo.

Adicionalmente, se proporcionan elementos técnicos para sustentar la implementación de medidas de adaptación, evaluando su efectividad en términos de reducción del riesgo climático. Si bien la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático constituyen campos concep-

tualmente diferenciados desde la política pública, desde un enfoque operativo pueden confluir en herramientas y objetivos, dado que muchas de las acciones de adaptación frente a fenómenos climáticos extremos corresponden, en esencia, a medidas de gestión del riesgo.

Finalmente se plantea la justificación de medidas de adaptación, con base en la *evaluación probabilística del riesgo, toma robusta de decisiones* y la *ingeniería de control del riesgo*, que son metodologías y enfoques totalmente compatibles con el fin de racionalmente justificar un plan de medidas de adaptación y sus condiciones de implementación en el territorio. A continuación, se exponen los casos para los cuales es aplicado este enfoque por amenaza, portafolio de exposición y municipios incluidos en el cálculo que hacen parte del alcance del estudio.

Tabla 2 Matriz de amenazas, sectores y municipios para la evaluación del riesgo

Amenaza	Sector	Portafolios	Ubicación (municipio)			
Huracán	Construcciones	Residencial, educación, salud, comercial, industrial, institucional	Archipiélago de San Andrés, Providencia y Sta. Catalina		La Guajira	
			San Andrés	Providencia	Manaure	Uribia
					Riohacha	
Incendios forestales	Servicios ecosistémicos	Bosques de frontera agrícola	Huila	Casanare	Caquetá	Vichada
			Palermo	Orocué	San Vicente del Caguán	Cumaribo
Deslizamientos	Infraestructura	Red vial primaria, secundaria, terciaria y local	Bogotá D.C.	Caldas	Caldas	Cauca
			Bogotá	Manizales	(27 municipios)	(42 municipios)
Sequía	Agrícola	Maíz amarillo, maíz blanco, arroz de secano, arroz de riego, yuca	Sucre	Córdoba	Tolima	
			San Onofre	Lorica	Espinal	Guamo
Inundación	Construcciones	Residencial, educación, salud, comercial, industrial, institucional	Bolívar	Córdoba	Sucre	
			Magangué	Ayapel	San Marcos	Guaranda

De igual manera, en este estudio se consideran seis escenarios climáticos diferentes, incluyendo un clima base y proyecciones al 2050 bajo los escenarios representativos de concentraciones (RCP) que describen trayectorias posibles de emisiones de gases de efecto invernadero y sus consecuencias en el clima futuro (2.6, 4.5, 6.0 y 8.5), así como un escenario proyectado por el IDEAM. Los resulta-

dos se presentan en términos de la Pérdida Anual Esperada (PAE), un indicador robusto que integra el efecto de la ocurrencia de eventos de amenaza sobre los elementos expuestos vulnerables. Se han identificado los riesgos específicos para cada amenaza y se han propuesto medidas de adaptación físicas y de contexto para reducir la vulnerabilidad.

3 Metodología



3.1. Enfoque metodológico

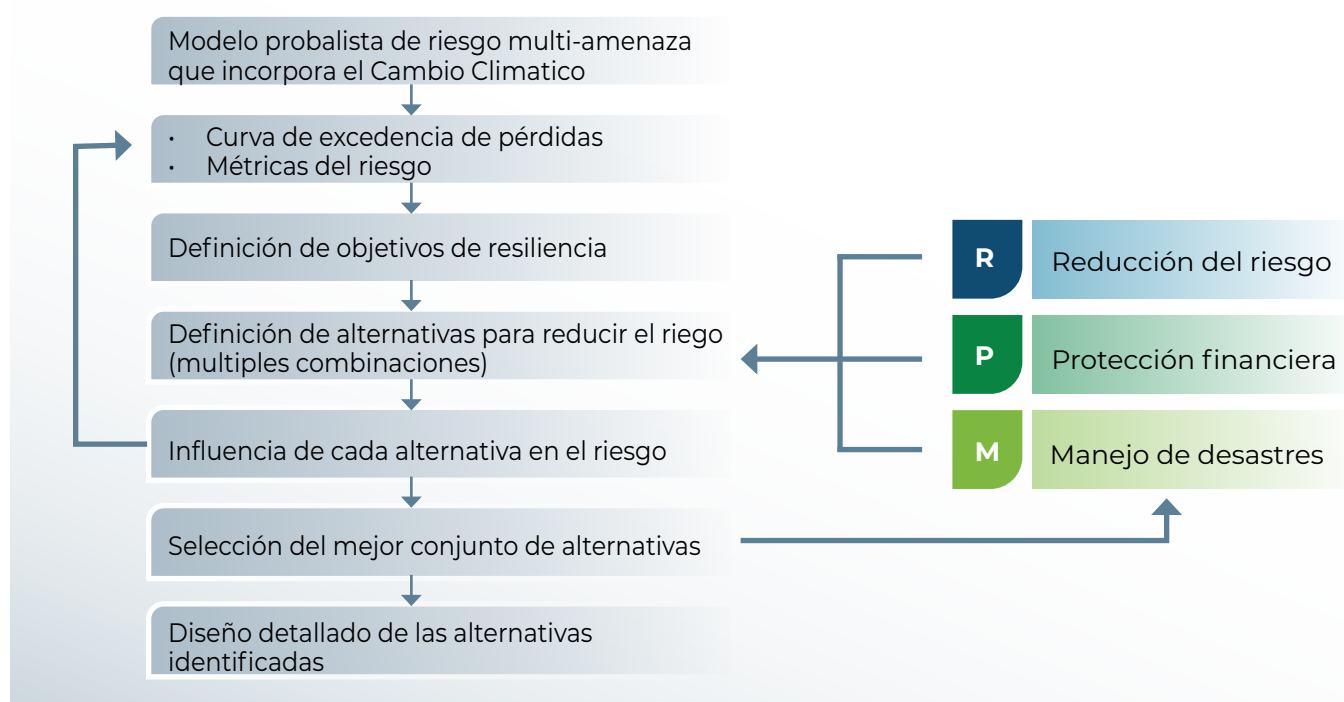
Los escenarios del cambio climático, los riesgos catastróficos asociados y las medidas de adaptación que modifican sus impactos, son hipotéticos y tomados bajo incertidumbre; por este motivo, el estudio realizado adapta enfoques modernos que permiten dar posibles soluciones a escenarios futuros inciertos. De esta manera, para abordar problemas con incertidumbre profunda y orientar decisiones, se resalta el enfoque conocido como *Toma Robusta de Decisiones (RDM)* (Lempert, 2019), el cual sigue una metodología denominada XLRM, en donde X se refiere a la incertidumbre, L a las posibles acciones a formular, R al modelo del sistema y M son las métricas de éxito de las posibles acciones.

De acuerdo con Lempert (2019), los pasos para lograr una toma robusta de decisiones son: 1) enmarcar el análisis por medio de la definición de un modelo (R) que describa suficientemente bien el problema; 2) simulación, considerando la incertidumbre (X) del efecto de las posibles acciones (L) en el sistema; 3) exploración de resultados y cuantificación de métri-

cas de éxito (M); 4) comparación y análisis del éxito de las acciones en lograr el objetivo planteado y; 5) iteración y reevaluación. En resumen, se reconoce que no es posible lograr una toma de decisiones robusta sin considerar las múltiples ramificaciones que definen el dominio de las posibilidades futuras.

La *ingeniería de Control del Riesgo (RCE)*, sigue lineamientos y procedimientos similares a los planteados por Lempert (2019) en la RDM, conduciendo a una toma de decisiones basada en el mejor resultado posible ante una vasta cantidad de futuros inciertos. Esta, sigue los metaconceptos de la teoría de control, Bernal et al. (2021) plantean los lineamientos de la RCE como metodología para la cuantificación de las posibles maneras como puede controlarse el riesgo de desastres a partir de diferentes tipos de intervenciones. La RCE es un marco metodológico diseñado específicamente para ayudar a los gobiernos, las instituciones y las partes interesadas del sector privado a orientar la toma de decisiones bajo incertidumbre profunda en el contexto de la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático. El proceso de la RCE se resume en la Figura 1.

Figura 1 Proceso de Ingeniería de Control del Riesgo (RCE)



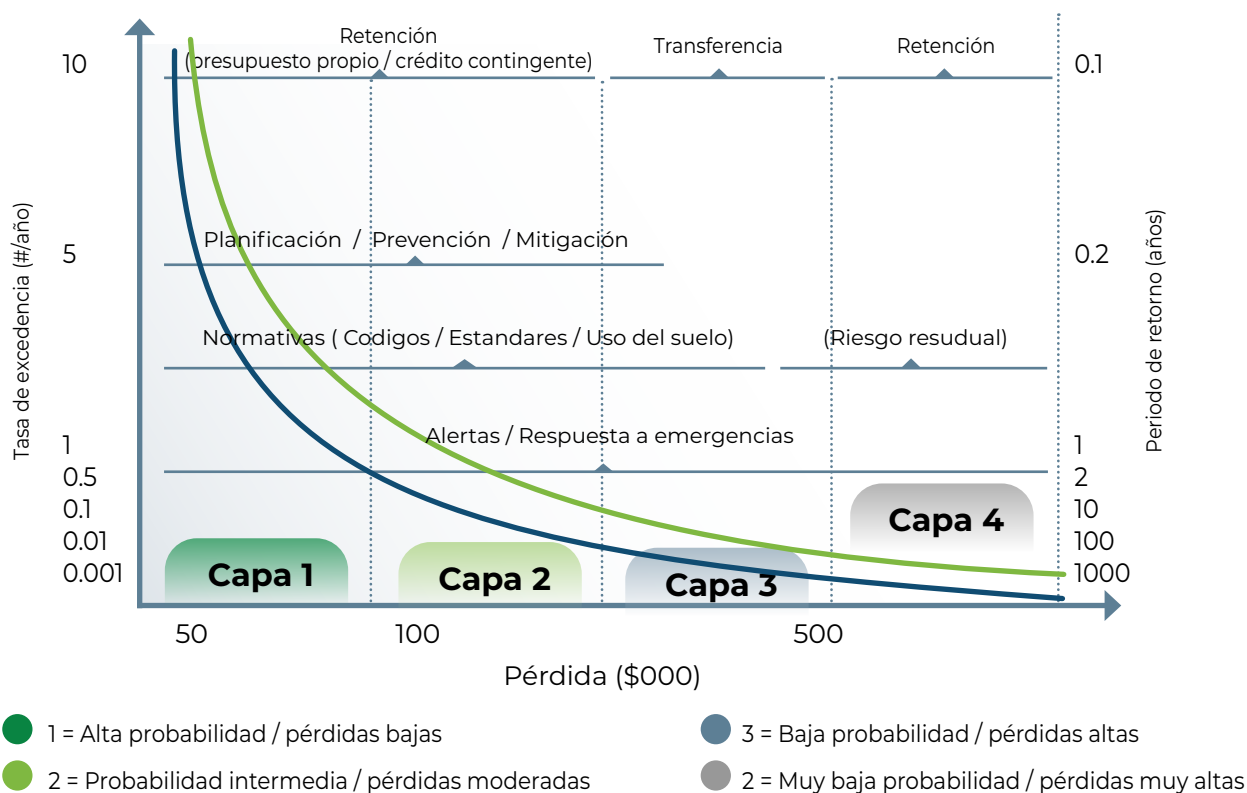
La RCE se basa en medir el efecto de las medidas de adaptación en el riesgo de desastres, y así encontrar estrategias de adaptación óptimas a un costo favorable. La métrica por excelencia del riesgo es la *Curva de Excedencia de Pérdidas (CEP)*. La capacidad de una medida de adaptación de reducir el riesgo se mide, en rigor, en términos de su capacidad de reducir la CEP (en rangos específicos de pérdida).

La CEP, entre muchas otras propiedades interesantes, se puede estratificar, permitiendo la definición de un conjunto de medidas o acciones de intervención encaminadas a reducir el riesgo (ver Figura 2). El concepto de estratificación del riesgo está asociado con la efectividad de las medidas de adaptación para reducir el riesgo en diferentes niveles. Por ejemplo, una defensa a inundaciones, como un dique, tiene un periodo de retorno de diseño; es decir, se diseña para contener inundaciones de hasta cierto límite, por lo cual existe siempre

una posibilidad que dicho límite sea rebasado. Esto significa que cada medida de adaptación cubre o es efectiva en un “estrato” o región de la CEP, y no en todo el dominio de la pérdida.

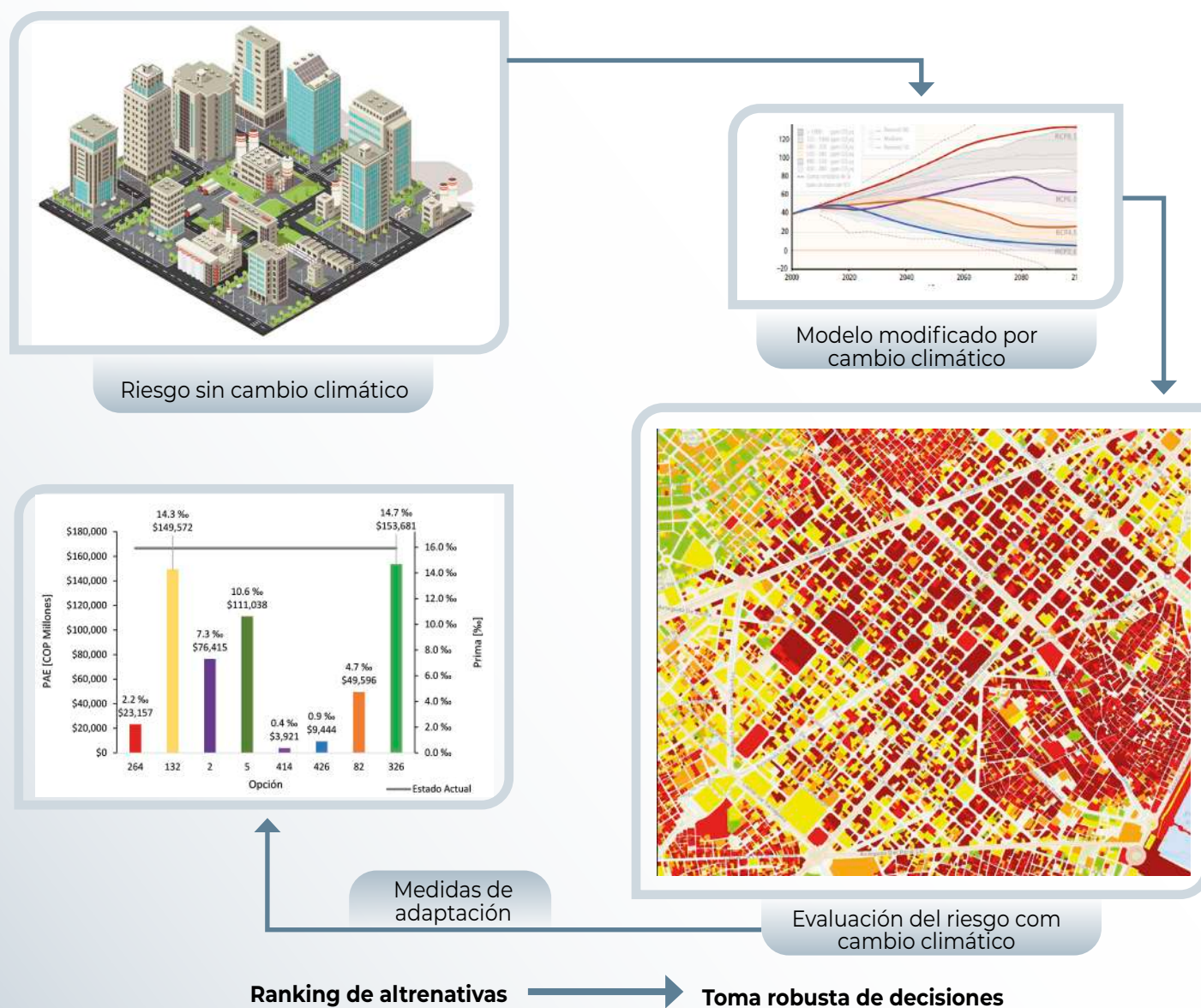
Cada medida de adaptación afectará la CEP de forma diferente, por lo cual se requiere una colección o conjunto de medidas para llevar el riesgo a niveles aceptables. Dicho conjunto de medidas constituye una estrategia de adaptación al cambio climático. El paisaje del riesgo se modifica cuando se aplica una estrategia de adaptación. La mejor manera de definir si una estrategia es lo suficientemente buena para reducir el riesgo, es repetir la evaluación del riesgo incluyendo el efecto de todas las medidas que la componen. Si se define una gran cantidad de posibles variaciones en la estrategia de adaptación, en términos de las medidas que la componen y su efectividad para reducir la CEP, es posible identificar cuál de las estrategias estudiadas es más efectiva para reducir el riesgo.

Figura 2 Ilustración de la estratificación de una CEP en un estado sin intervenir (curva roja) y el efecto en reducción del riesgo aplicando las acciones indicadas por estrato (curva azul).



Con base en lo anterior, el estudio plantea un enfoque metodológico fundamentado en modelación del riesgo catastrófico, a partir de la cual se determina el nivel de riesgo actual y también el riesgo que existiría al 2050 bajo diferentes trayectorias de gases de efecto invernadero.

Figura 3 Ilustración del enfoque metodológico y fases del modelo.



El riesgo es comúnmente descrito mediante la CEP la cual, como se menciona previamente, especifica las frecuencias de ocurrencia de eventos en que se exceda un valor específico de pérdida. La CEP contiene toda la información necesaria para caracterizar, en términos de probabilidad, el proce-

so de ocurrencia de las pérdidas asociadas a eventos hidrometeorológicos. La curva, es el resultado fundamental del riesgo, no obstante, es común representar el riesgo por medio de otras métricas más fáciles de comunicar, como es el caso de *la pérdida anual esperada (PAE)*.

La PAE corresponde al valor esperado de la pérdida anual, señalando el valor anual promedio que, de sumarse, en el largo plazo, equivaldría a todas las pérdidas futuras. La PAE sería la prima justa anual para cubrir anualmente las pérdidas que pueden presentarse, calculada como el área bajo la curva de excedencia de pérdidas. La pérdida anual esperada, es un indicador importante dado que integra en un único valor el efecto, en términos de pérdidas, de la ocurrencia de eventos de amenaza sobre los elementos expuestos vulnerables. Es el indicador más robusto del riesgo, no solo por su capacidad de resumir el proceso de pérdidas en un solo número, sino por ser relativamente insensible a la incertidumbre.

La evaluación probabilista del riesgo se fundamenta en técnicas de modelación del riesgo catastrófico para la cuantificación de posibles pérdidas causadas sobre los elementos expuestos por la ocurrencia natural de fenómenos hidrometeorológicos. Estas pérdidas modeladas tienen diferentes características según el tipo de amenaza y elementos expuestos estudiados, que son relevantes para su correcta interpretación. A su vez, se debe hacer diferencia entre tres tipos específicos de pérdida:

- Las pérdidas causadas por inundaciones, huracanes y deslizamientos sobre edificaciones e infraestructura son pérdidas sobre activos físicos. Significa que los valores expuestos son valores de reposición, los cuales se pagan con el fin de reponer el activo perdido al mismo estado en el que se encontraba inicialmente una vez ocurrido el evento, o un estado mínimo equivalente según su condición de uso. Son pérdidas de gran magnitud y baja frecuencia.
- Las pérdidas causadas en el sector agrícola por sequías son pérdidas en producción, es decir una disminución en el ingreso resultante de la actividad agrícola. Es decir, no se mide el daño o detrimento en un activo físico, sino la disminución en un flujo econó-

mico. Estas son pérdidas de baja magnitud y alta frecuencia

- Las pérdidas resultantes de la ocurrencia de incendios forestales son pérdidas en flujos anuales de servicios ecosistémicos. Guardan cierta similitud con las pérdidas al sector agrícola, con la diferencia que los montos de pérdida son en general mucho más grandes, dada la importancia relativa de los servicios ecosistémicos en diferentes dimensiones. Son entonces pérdidas de gran magnitud y alta frecuencia.

En términos generales, el análisis de riesgo se expresa mediante CEP, a partir de las cuales se derivan indicadores como la PAE y la Pérdida Máxima Probable (PMP). Posteriormente, se incorporan medidas de adaptación en los modelos, y se estima su capacidad de reducción del riesgo. Para ello, se utilizaron los enfoques de RDM y RCE, que permiten evaluar varias combinaciones posibles de medidas bajo escenarios de incertidumbre profunda. Finalmente, en los análisis se aplicó la optimización evolutiva (algoritmos genéticos²) para seleccionar estrategias de adaptación óptimas según criterios de costo-beneficio, factibilidad técnica e impacto esperado.

3.2. Modelo de riesgo por huracanes

La modelación del riesgo por ciclones tropicales se basa en la simulación de trayectorias ciclónicas, bajo diferentes condiciones climáticas. La amenaza se modeló en toda la extensión del Caribe colombiano, considerando un catálogo base conformado por 1560 trayectorias³, y 1500 trayectorias ciclónicas sintéticas obtenidas para una trayectoria de gases de efecto invernadero SSP5-RCP8.5⁴ al 2050. Cada trayectoria ciclónica incluida es perturbada estocásticamente para conformar nuevas trayectorias sintéticas, com-

² Estos algoritmos se basan en métodos de optimización inspirados en la evolución biológica, y buscan resolver problemas complejos mediante un proceso iterativo que incluye la selección, el cruce y la mutación de soluciones previamente evaluadas.

³ Tomadas de la base de datos IBTrACS (Knapp et al. 2010) con corte al 2022.

⁴ El escenario SSP5-RCP8.5 es usado en modelos climáticos para representar posibles escenarios futuros del cambio climático.

pletando así un catálogo de simulación de 306,000 huracanes para los cuales se determinan sus campos de viento y marea de tormenta y los efectos correspondientes sobre los municipios incluidos. Para considerar el cambio climático se incluyeron las trayectorias simuladas por Bloemendaal et al. (2020) al 2050, obtenidas de su modelo STORM, en donde se consideran las proyecciones de 5 modelos de circulación global (GCM)⁵, los cuales son los únicos que, a la fecha, cuentan con la resolución espacial y temporal para aproximar procesos de mesoescala meteorológica.

Se construyó un modelo de exposición de edificaciones para los 5 municipios incluidos en esta evaluación, el cual incluye los sectores: residencial, salud, educación, comercial, industrial e institucional, cubriendo las zonas urbanas y rurales en toda el

área de los municipios, con un total de 281,564 edificaciones en los 5 municipios. La vulnerabilidad se modela por medio de funciones de vulnerabilidad que capturan la variación del daño con la intensidad sobre diferentes tipos constructivos. Se incluyen tipos constructivos diferenciados según el fenómeno considerado. Por ejemplo, en el caso de la resistencia al viento huracanado, lo más significativo es la condición del revestimiento de la edificación, es decir su cubierta y fachada. Por otra parte, para la marea de tormenta, juega un papel más significativo la altura del edificio y el material de la construcción.

La Figura 4 presenta un esquema resumido con los principales componentes del modelo probabilista de riesgo por huracán, implementado en los municipios mencionados.

Figura 4 Esquema de componentes del modelo por huracán implementado.



3.3. Modelo de riesgo por inundaciones

El modelo de riesgo por inundaciones se basa en la modelación de la amenaza de inundación por desbordamiento de ríos se compone de 3 submodelos: un modelo meteorológico, mediante el cual se da cuenta de la distribución temporal y espacial de la lluvia como forzamiento meteorológico fundamental en el problema; un modelo hidrológico, el cual resume todos los procesos de transformación que ocurren al interior de una cuenca y como esta responde, en términos del flujo a la salida, ante diferentes aguaceros incidentes; y un modelo hidráulico, mediante el cual es posible simular el comportamiento del volumen de agua aportado por la cuenca al río.

Se construyó un modelo de exposición de edificaciones para los 4 municipios incluidos en la Mojana, el cual incluye los sectores: residencial, salud, educación, comercial, industrial e institucional, cubriendo las zonas urbanas y rurales en toda el área de los municipios, con un total de 83,768 edificaciones. La vulnerabilidad se modela por medio de funciones de vulnerabilidad que capturan la variación del daño con la intensidad sobre diferentes tipos constructivos. Se incluyen tipos constructivos representativos de las características que son relevantes en la relación entre la intensidad de inundación y el daño en edificaciones.

La Figura 5 presenta un esquema resumido con los principales componentes del modelo probabilista de riesgo por inundaciones, implementado en los municipios mencionados.

Figura 5 Esquema de componentes del modelo de riesgo por inundaciones implementado.



3.4. Modelo de riesgo por deslizamientos

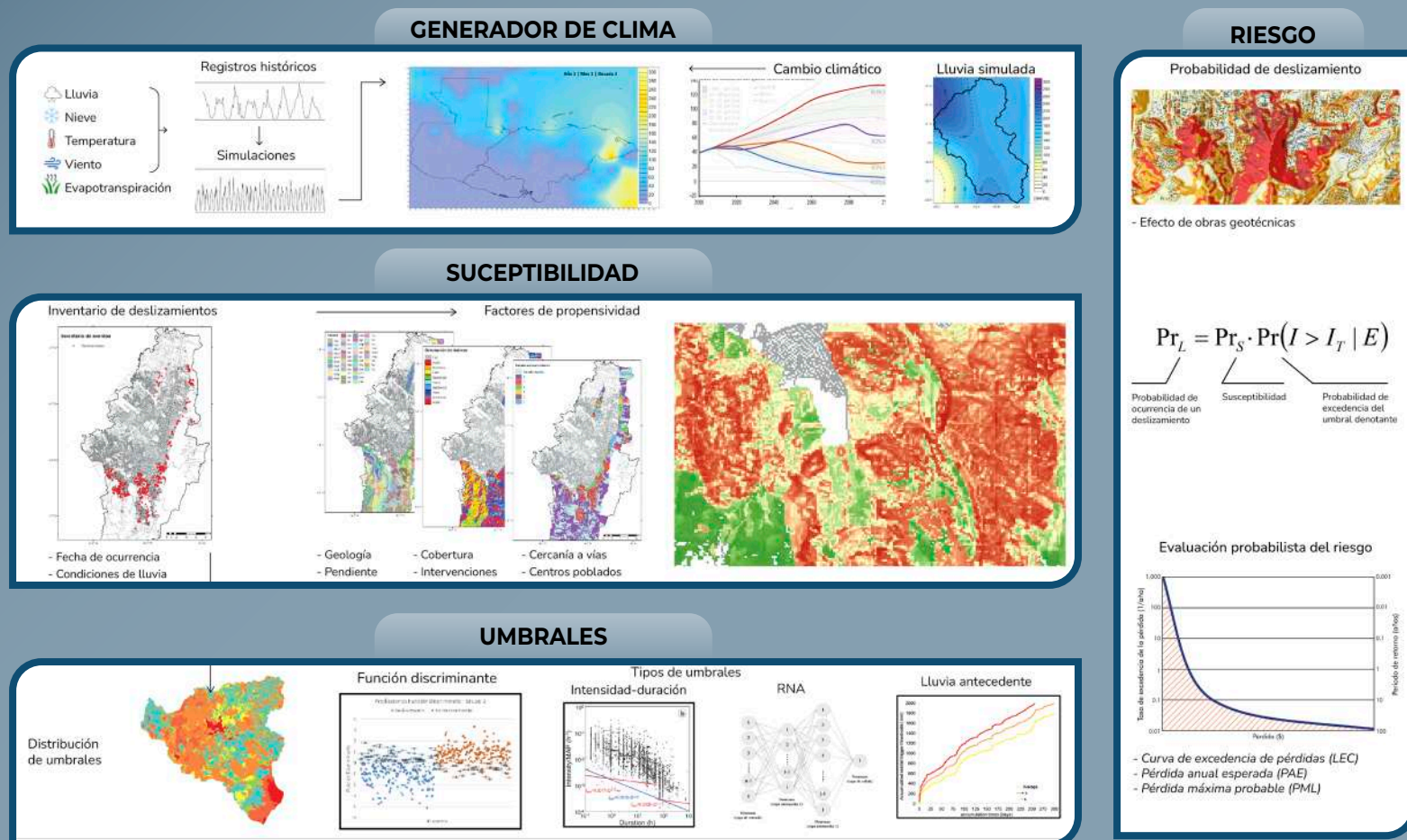
El modelo de riesgo por deslizamientos depende de dos componentes fundamentales, la susceptibilidad, que mide las condiciones intrínsecas de las laderas, es decir, aquellos factores que las hacen propensas a la ocurrencia de deslizamientos, y los fenómenos detonantes, que son factores externos que inducen la ocurrencia de los deslizamientos. Los detonantes son por lo general terremotos y eventos de lluvia intensa, que tengan la capacidad de incrementar las cargas o reducir la resistencia del material de las laderas. Dado el alcance de este trabajo, el modelo de riesgo se refiere únicamente a deslizamientos detonados por lluvia intensa.

La probabilidad de deslizamiento, ante cada evento simulado de lluvia, se combina con la capa de exposición de forma tal que se busca asociar un tramo vial a un cierto número de celdas circundantes dentro del modelo de amenaza. En este caso, la vulnerabilidad se considera binaria, es decir, se asume que, dado que localmente los deslizamientos son eventos de muy alta energía, si el sitio donde está la infraestructura se desliza, esta se pierde por completo. Esto implica que la probabilidad de deslizamiento puede entenderse como una proporción de pérdida sobre el valor de reposición del tramo vial.

La Figura 6 presenta un esquema resumido con los principales componentes del modelo probabilista de riesgo por deslizamientos, implementado en los municipios y departamentos mencionados.

Figura 6

Esquema de componentes del modelo de riesgo por inundaciones implementado.



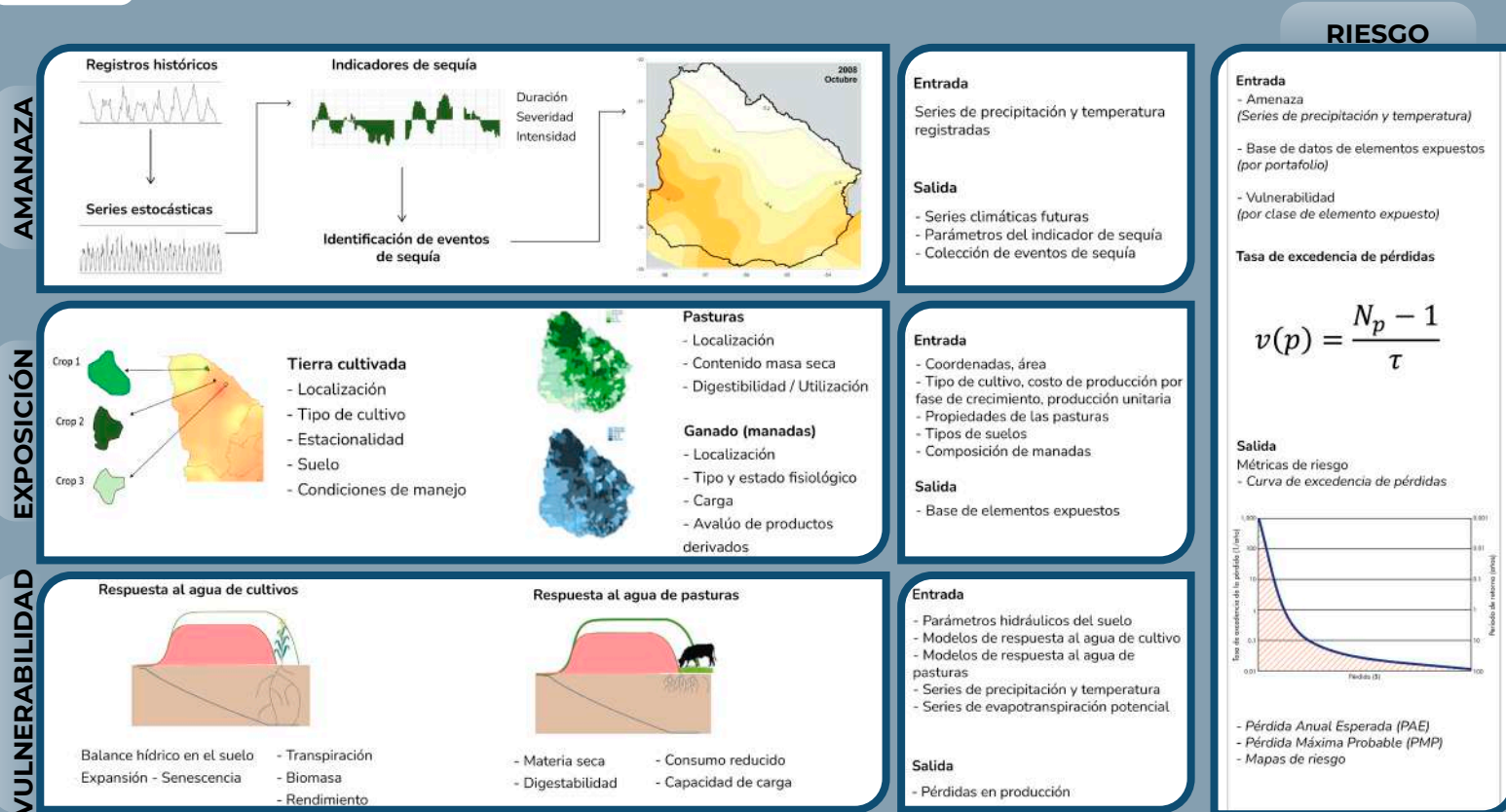
3.5. Modelo de riesgo por sequía

El modelo de riesgo por sequía se basa en el hecho que la sequía al ser un fenómeno climático transitorio, se caracteriza por una reducción en la disponibilidad de agua con respecto a la requerida para mantener la salud de los ecosistemas, el consumo humano y en general el desarrollo social y económico. Toda sequía se debe, esencialmente, a un desbalance entre la oferta y la demanda de agua. Desde el punto de vista de la atmósfera, esta provee una cierta oferta de agua por medio de la precipitación y demanda a su vez una cierta cantidad de agua por medio del proceso de evapotranspiración. Por lo tanto, cuando ese balance se pierde, es decir, cuando la oferta de agua provista es muy inferior a la demandada, se manifiesta una sequía. Desde el punto de vista agrícola, la oferta de agua se enmarca en el contenido de humedad en el suelo, que puede deberse a precipitación natural o a sistemas de riego, y la demanda es precisamente la cantidad de agua

requerida para que la producción agrícola sea la esperada. El desbalance establece una sequía agrícola, en donde el elemento modulador del problema es el suelo. La pérdida de humedad en el suelo limita la producción e incluso, en casos extremos, la impide.

Con el objetivo de simular apropiadamente el desarrollo del perfil de humedad en el suelo a lo largo de una temporada productiva, se implementa un modelo de respuesta de cultivos al agua. Este modelo se alimenta con series meteorológicas (precipitación, temperatura, etc.), así como información del cultivo, con lo cual se determina una pérdida económica asociada a la disminución de ingresos que percibe el agricultor por cuenta de la ocurrencia del evento. El modelo de respuesta al agua implementado es el desarrollado por la FAO e implementado en el software AquaCrop (Steduto et al. 2012). Si bien este no es el único modelo de respuesta al agua de cultivos disponible en la literatura, posiblemente es el más empleado a nivel mundial. Este método fue implementado por INGENIAR en el software DroughtPro (Bernal et al. 2017) de la plataforma CAPRA ROBOT.

Figura 7 Esquema de componentes del modelo de riesgo por sequía implementado.



La Figura 7 presenta un esquema resumido con los principales componentes del modelo probabilista de riesgo por sequía agrícola, implementado en los municipios mencionados.

3.6. Modelo de riesgo por incendios forestales

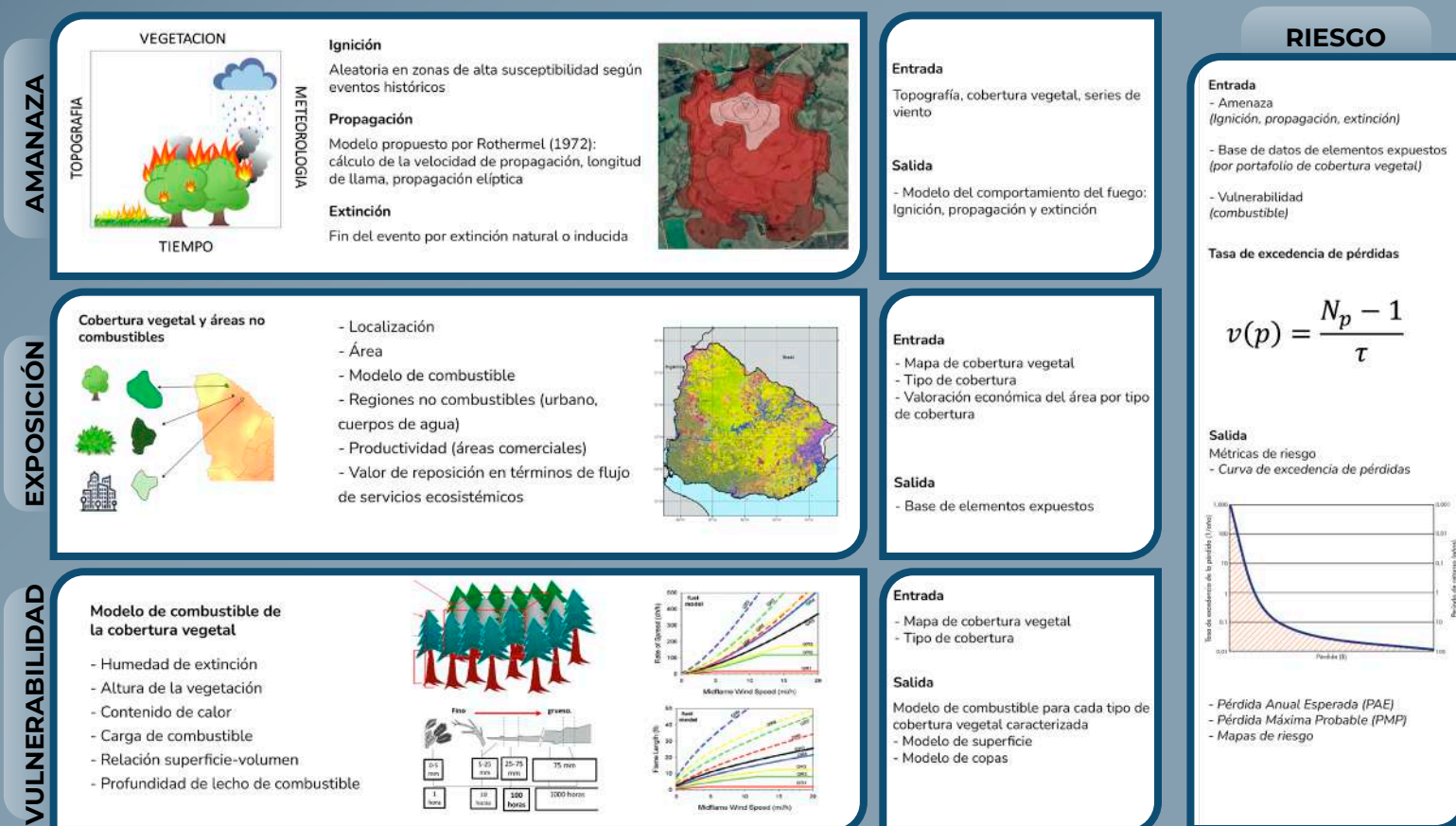
El modelo de riesgo por incendios forestales se centra en la evaluación de la probabilidad de ocurrencia de incendios y su impacto en los servicios ecosistémicos. Se utilizan variables como la vegetación, la topografía, las condiciones meteorológicas y la actividad humana para determinar la susceptibilidad al fuego. En la modelación del riesgo sin medidas de adaptación se observó que el cambio

climático modificaría en el futuro la temperatura del aire y los patrones de precipitación y, en consecuencia, las condiciones de humedad de la vegetación, lo cual facilitaría el avance de los incendios forestales una vez iniciado el fuego.

Es esta característica la que es posible intervenir desde el punto de vista de la adaptación al cambio climático, por lo cual se plantea la medida de mejorar las capacidades de combatir el fuego en el país. No obstante, se hace especial énfasis en que el cambio climático no es directamente causante de los incendios forestales y que, con el fin de limitar su ocurrencia, se deben implementar acciones de otro tipo, que no se relacionan directamente con procesos de adaptación al cambio climático.

La Figura 8 presenta un esquema resumido con los principales componentes del modelo probabilista de riesgo por incendios forestales, implementado en los municipios mencionados.

Figura 8 Esquema de componentes del modelo de riesgo por incendios forestales implementado.



3.7. Talleres participativos

Como parte integral del desarrollo de la Nota técnica, se llevaron a cabo una serie de talleres participativos con el objetivo de validar los resultados de la modelación del riesgo y discutir las medidas de adaptación propuestas con actores clave a nivel local y regional. Estos talleres no solo sirvieron para socializar los hallazgos técnicos, sino también para incorporar el conocimiento local y las perspectivas de las comunidades y las instituciones en el proceso de toma de decisiones. La participación activa de diversos actores, incluyendo representantes de gobiernos locales y a nivel nacional, organizaciones no gubernamentales, academia, entre otros, enriqueció el análisis y contribuyó a la identificación de medidas de adaptación más pertinentes y sostenibles.

3.7.1 Taller 1 • Manizales, 28 noviembre del 2023

El primer taller se realizó en Manizales el 28 de noviembre de 2023. Durante esta sesión, se presentaron los resultados preliminares de la evaluación del riesgo para la región, con un enfoque particular en los riesgos de deslizamientos, las construcciones e infraestructura vial, que son de alta relevancia para esta zona. Los participantes tuvieron la oportunidad de revisar los mapas de riesgo, discutir las metodologías empleadas y aportar información valiosa sobre las condiciones locales y otros eventos.

3.7.2 Taller 2 • Bogotá, 5 de diciembre del 2023

El segundo taller se llevó a cabo en Bogotá el 5 de diciembre de 2023. Esta sesión se centró en la discusión de los riesgos a nivel nacional y regional, incluyendo los riesgos por incendios en el sector de bosques y sequías en el sector de los cultivos. Los asistentes, provenientes de diversas instituciones nacionales y organizaciones con alcance regional, participaron activamente en la validación de los escenarios climáticos y las proyecciones de riesgo.

3.7.3 Taller 3 • Bogotá, 6 de diciembre del 2023

El tercer taller, también en Bogotá el 6 de diciembre de 2023, se dedicó a la profundización en los riesgos asociados a deslizamientos en vías y áreas urbanas, así como de inundaciones y huracanes y su posible afectación en la infraestructura. Participaron entidades como planeación Nacional, la Unidad de Gestión del riesgo a nivel nacional, Ministerio de ambiente, entre otros.

3.8. Limitaciones y consideraciones de incertidumbre

Como en todo ejercicio de modelación prospectiva, este análisis enfrenta diversas fuentes de incertidumbre asociadas tanto a la evolución futura del clima como a las características de los datos empleados y a los supuestos inherentes a cada modelo. Las proyecciones climáticas utilizadas, aunque abarcan un rango representativo de trayectorias y escenarios nacionales, dependen de modelos cuya capacidad de capturar la variabilidad climática y sus impactos tiene límites inherentes. Adicionalmente, la calidad y resolución de la información sobre exposición, vulnerabilidad y condiciones socioeconómicas varía entre municipios, lo que puede influir en la precisión de los resultados obtenidos.

Por otra parte, la evaluación de la efectividad de las medidas de adaptación parte de condiciones ideales de implementación y plena funcionalidad, sin incorporar explícitamente posibles restricciones institucionales, financieras o sociales que puedan afectar su viabilidad real en el tiempo. Asimismo, algunos riesgos emergentes, cambios abruptos en los sistemas socioecológicos o interacciones complejas entre amenazas quedan fuera del alcance de la modelación actual. Por ello, los resultados presentados deben interpretarse como escenarios de referencia para la planificación y priorización, sujetos a revisión y ajuste periódico a medida que se disponga de mejores datos y se desarrollen nuevas herramientas metodológicas.

4 Resultados de la evaluación de riesgo



4.1. Riesgo por huracán

Los resultados de la evaluación del riesgo por huracán muestran que los municipios costeros del Caribe colombiano son particularmente vulnerables a este tipo de eventos, principalmente en los departamentos de la Guajira y el Archipiélago de San Andrés y Providencia, los cuales se encuentran en la zona del territorio que es susceptible al tránsito de huracanes. Se han identificado las zonas con mayor exposición y las edificaciones más suscep-

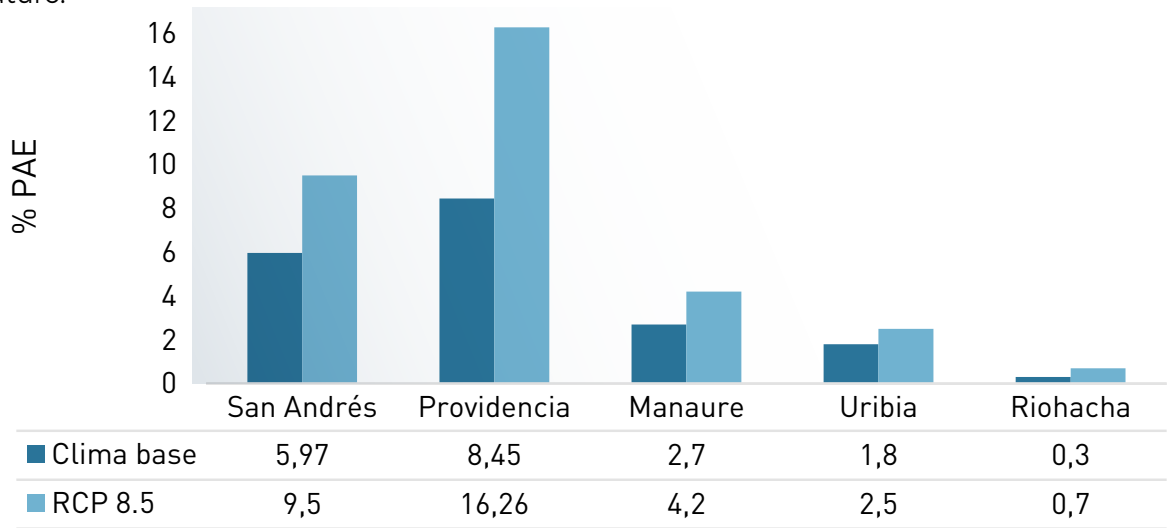
tibles a sufrir daños. La Pérdida Anual Esperada (PAE) por huracán se ha cuantificado para cada municipio, revelando la necesidad de implementar medidas de adaptación específicas para reducir el impacto de futuros eventos.

La Tabla 3 muestra los valores de la pérdida anual esperada (PAE) para los 5 municipios, tanto para el clima actual como para el clima RCP 8.5. La figura 9 presenta la PAE relativa de forma gráfica, en donde es posible comparar la diferencia en el riesgo causada por el cambio climático en cada municipio.

Tabla 3 Pérdidas Anuales Esperadas por huracán

Municipio	Valor expuesto (COP millones) ⁶	PAE (clima base)		PAE (RCP 8.5)	
		(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)
San Andrés	\$ 3,185,480	\$ 19,017	5.97	\$ 30,262	9.5
Providencia	\$ 423,783	\$ 3,581	8.45	\$ 6,891	16.26
Manaure	\$ 1,380,971	\$ 3,729	2.7	\$ 5,800	4.2
Uribia	\$ 2,700,357	\$ 4,861	1.8	\$ 6,751	2.5
Riohacha	\$ 5,909,352	\$ 1,773	0.3	\$ 4,137	0.7

Figura 9 Pérdida anual esperada relativa por huracán (al millar) para los 5 municipios, ante clima base y clima futuro.



6 El estudio fue realizado en el mes de mayo del año 2024, por consiguiente al cierre de este mes el valor del dólar de Estados Unidos (US) equivalía a \$ 3,874.32 pesos colombianos (COP).

4.2. Riesgo por inundación

Los resultados del modelo de riesgo por inundaciones revelan que varias zonas urbanas y rurales de Colombia, especialmente aquellas de bajos recursos cercanas a ríos y cuerpos de agua, enfrentan un riesgo significativo. En este caso, la modelación se enfoca en 4 municipios del sector conocido como la Mojana, al norte de Colombia, específicamente Magangué (Bolívar), Ayapel (Córdoba), San Marcos y Guaranda (Sucre). En la Mojana, la existencia del dique ubicado en el margen izquierdo del río Cauca, influye fuerte-

mente en la manifestación estacional de inundaciones, exacerbadas por la ocurrencia de rompederos sobre el dique. Dada su relevancia, el dique marginal es incluido en la modelación de la amenaza por inundaciones en los municipios de esta región.

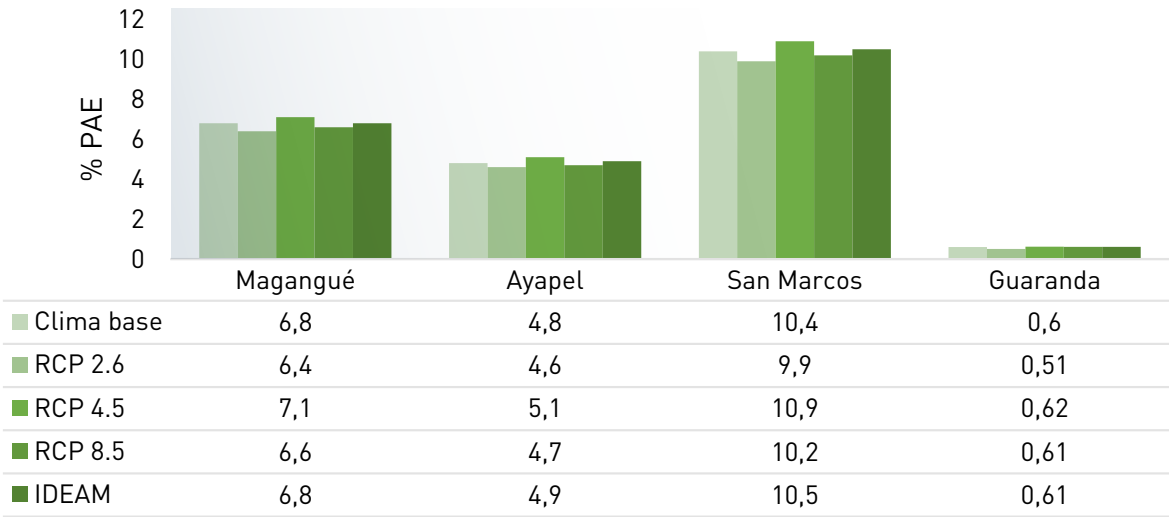
La Tabla 4 muestra los valores de la pérdida anual esperada (PAE) para los 4 municipios, tanto para el clima actual como para los climas futuros considerados. La Figura 10 presenta la PAE relativa de forma gráfica, en donde es posible comparar la diferencia en el riesgo causada por el cambio climático en cada municipio

Tabla 4 Pérdidas Anuales Esperadas por inundación

Municipio	Valor expuesto	Clima base		RCP2.6		RCP4.5	
	(COP millones)	(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)
Magangué	\$ 4,371,819	\$ 29,728	6.8	\$ 27,980	6.4	\$ 31,040	7.1
Ayapel	\$ 1,852,744	\$ 8,893	4.8	\$ 8,523	4.6	\$ 9,449	5.1
San Marcos	\$ 2,000,700	\$ 20,807	10.4	\$ 19,807	9.9	\$ 21,808	10.9
Guaranda	\$ 610,962	\$ 367	0.60	\$ 312	0.51	\$ 379	0.62

Municipio	Valor expuesto	RCP6.0		RCP8.5		IDEAM	
	(COP millones)	(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)
Magangué	\$ 4,371,819	\$ 27,542	6.3	\$ 28,854	6.6	\$ 29,728	6.8
Ayapel	\$ 1,852,744	\$ 8,708	4.7	\$ 8,708	4.7	\$ 9,078	4.9
San Marcos	\$ 2,000,700	\$ 19,607	9.8	\$ 20,407	10.2	\$ 21,007	10.5
Guaranda	\$ 610,962	\$ 299	0.49	\$ 373	0.61	\$ 373	0.61

Figura 10 Pérdida anual esperada relativa por inundación (al millar) para los 4 municipios, ante clima base y clima futuro.



4.3. Riesgo por deslizamientos

En este estudio, la evaluación por deslizamientos se concentra en dos niveles espaciales: a escala urbana, con casos específicos en la red vial de Manizales (Caldas) y Bogotá, y a escala departamental, con un análisis completo de las vías intermunicipales de Caldas y Cauca, consideradas de alta relevancia para la conectividad regional.

La metodología combina la probabilidad de deslizamiento —calculada para cada evento simulado de lluvia— con capas de exposición vial. A través de este cruce espacial, se asigna a cada tramo vial una cantidad determinada de celdas de amenaza, de modo que se estima su nivel de exposición ante un deslizamiento. En este análisis, se adopta un enfoque de vulnerabilidad binaria: si ocurre un deslizamiento en el lugar donde se ubica la infraestructura vial, se asume que esta se pierde completamente, dadas las características destructivas del evento. En consecuencia, la probabilidad de deslizamiento se interpreta como una proporción directa de pérdida sobre el valor de reposición de la infraestructura afectada.

Los resultados cuantitativos muestran diferencias significativas entre territorios. Bogotá, con un valor expuesto cercano a los \$15 billones COP,

presenta pérdidas relativamente bajas bajo todos los escenarios, con tasas de pérdida cercanas al 0.095%, aunque el escenario del IDEAM indica un ligero aumento a 0.106%, Manizales, en contraste, muestra una mayor vulnerabilidad relativa: aunque su valor expuesto es mucho menor (\$1,2 billones COP), las tasas de pérdida oscilan entre 0.82% y 1.27%, dependiendo del escenario climático, siendo el valor más alto también reportado por el modelo del IDEAM.

En el caso de los análisis departamentales, Caldas exhibe un valor expuesto de aproximadamente \$13.4 billones COP, pero con tasas de pérdida más elevadas, que aumentan de 1.60% en el clima base a 2.28% bajo el escenario del IDEAM. Por su parte, Cauca —con un valor expuesto significativamente mayor (\$66.2 billones COP)— presenta tasas de pérdida entre 2.00% y 2.15%, lo que lo convierte en el territorio con mayor pérdida absoluta y relativa, confirmando su alta vulnerabilidad ante deslizamientos de tierra.

La Tabla 5 muestra los valores de la pérdida anual esperada (PAE) para los 2 municipios y 2 departamentos, tanto para el clima actual como para los climas futuros considerados. La Figura 11 presenta la PAE relativa de forma gráfica, en donde es posible comparar la diferencia en el riesgo causada por el cambio climático

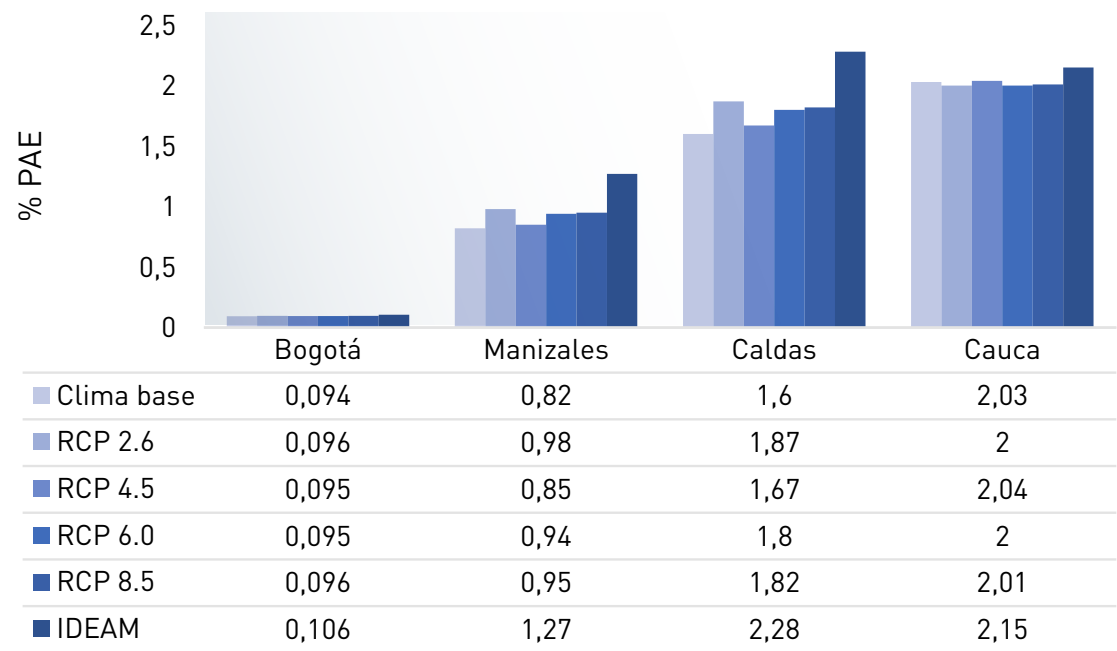
Tabla 5 Pérdidas Anuales Esperadas por deslizamiento

Municipio / Depto.	Valor expuesto	Clima base		RCP2.6		RCP4.5	
		(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)
Bogotá	\$ 14,937,508	\$ 1,404	0.094	\$ 1,434	0.096	\$ 1,419	0.095
Manizales	\$ 1,213,309	\$ 995	0.82	\$ 1,189	0.98	\$ 1,031	0.85
Caldas	\$ 13,439,652	\$ 21,503	1.60	\$ 25,132	1.87	\$ 22,444	1.67
Cauca	\$ 66,192,885	\$ 134,372	2.03	\$ 132,386	2.00	\$ 135,033	2.04

Municipio / Depto.	Valor expuesto	RCP6.0		RCP8.5		IDEAM	
		(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)
Bogotá	\$ 14,937,508	\$ 1,419	0.095	\$ 1,434	0.096	\$ 1,583	0.106
Manizales	\$ 1,213,309	\$ 1,141	0.94	\$ 1,153	0.95	\$ 1,541	1.27
Caldas	\$ 13,439,652	\$ 24,191	1.80	\$ 24,460	1.82	\$ 30,642	2.28
Cauca	\$ 66,192,885	\$ 132,386	2.00	\$ 133,048	2.01	\$ 142,315	2.15

Figura 11

Pérdida anual esperada relativa por deslizamientos (al millar) para los 2 municipios y 2 departamentos, ante clima base y clima futuro.



4.4. Riesgo por sequía

El análisis del riesgo por sequía evidencia una alta vulnerabilidad del sector agrícola en distintas regiones de Colombia, especialmente en los municipios de San Onofre (Sucre), Lorica (Córdoba), y Espinal y Guamo (Tolima). La sequía es un fenómeno climático transitorio cuyo inicio, duración, intensidad y alcance espacial son difíciles de delimitar con precisión, ya que dependen de criterios metodológicos variables. Además, es común diferenciar entre sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas, según el tipo de sistema afectado por el desequilibrio hídrico y sus impactos.

Para esta evaluación, se consideraron cultivos estratégicos en cada región, incluyendo maíz amarillo, maíz blanco, arroz de secano, arroz de riego y yuca, empleando un modelo de respuesta de cultivos al agua que permite simular el perfil de humedad del suelo a lo largo de la temporada productiva. Este enfoque facilita estimar las pérdidas económicas derivadas de una menor disponibilidad de agua, en relación con los requerimientos hí-

dricos del cultivo. La Tabla 6 presenta las Pérdidas Anuales Esperadas (PAE) tanto en valor absoluto como relativo (porcentaje sobre el valor expuesto), bajo distintos escenarios climáticos. El análisis muestra que los municipios de Lorica y San Onofre enfrentan los mayores niveles de riesgo relativo, superando el 20% de pérdida esperada en algunos escenarios futuros.

En el caso de Lorica, el valor expuesto asciende a \$30.097 millones COP, y las pérdidas anuales oscilan entre \$5.959 millones (19.8%) en el clima base y \$7.976 millones (26.5%) bajo el escenario RCP 8.5, siendo este el más severo. El escenario del IDEAM también estima una pérdida significativa (\$7.494 millones, 24.9%), lo que confirma su alta exposición y vulnerabilidad. San Onofre presenta un valor expuesto menor (\$20.406 millones COP), pero igualmente muestra un riesgo elevado, con pérdidas que aumentan desde \$2.449 millones (12.0%) en el clima base hasta \$2.816 millones (13.8%) en RCP 8.5, siendo ligeramente menores en el modelo del IDEAM (13.2%).

Por el contrario, los municipios de Espinal y Guamo, con valores expuestos mucho más altos

(\$225.970 millones y \$212.401 millones COP, respectivamente), presentan tasas de pérdida relativamente bajas, entre 3.4% y 5.9%, dependiendo del escenario. Aunque sus pérdidas absolutas pueden parecer altas —por ejemplo, \$12.532 millones en Guamo bajo RCP 6.0—, estas cifras representan un porcentaje mucho menor de su valor expuesto, lo que indica una menor vulnerabilidad relativa frente a la sequía.

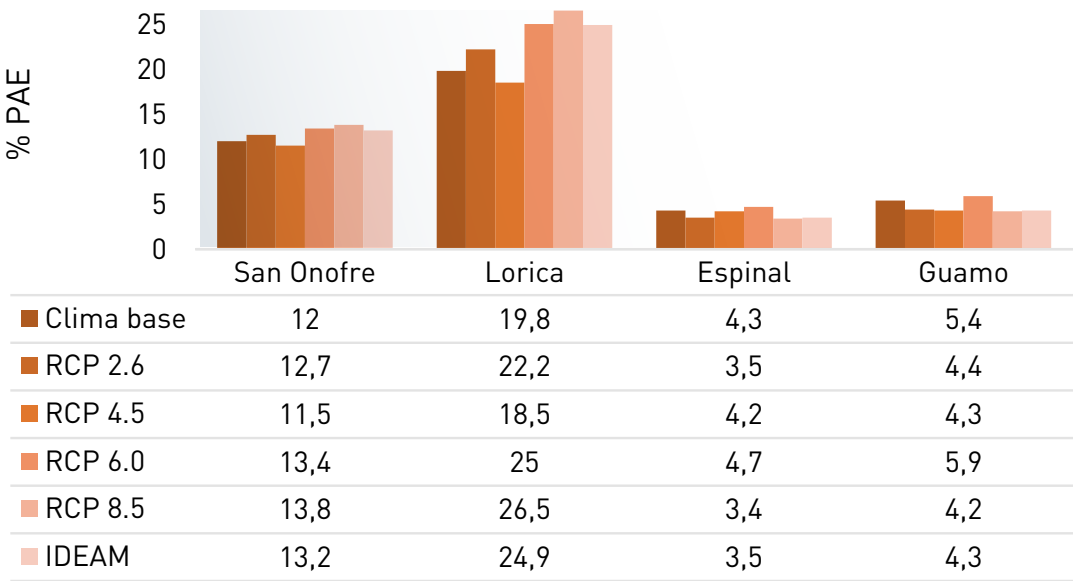
Este comportamiento sugiere que, si bien la magnitud económica del riesgo es importante en los municipios del Tolima debido al alto valor de su producción, la severidad relativa del impacto es considerablemente mayor en Sucre y Córdoba, donde los sistemas productivos agrícolas podrían enfrentar un daño más profundo frente a eventos recurrentes de sequía.

Tabla 6 Pérdidas Anuales Esperadas por sequía

Municipio	Valor expuesto (COP millones)	Clima base		RCP 2.6		RCP 4.5	
		(COP millones)	(%)	(COP millones)	(%)	(COP millones)	(%)
San Onofre	\$ 20,406	\$ 2,449	12.0	\$ 2,591	12.7	\$ 2,347	11.5
Lorica	\$ 30,097	\$ 5,959	19.8	\$ 6,682	22.2	\$ 5,568	18.5
Espinal	\$ 225,970	\$ 9,717	4.3	\$ 7,909	3.5	\$ 9,491	4.2
Guamo	\$ 212,401	\$ 11,470	5.4	\$ 9,346	4.4	\$ 9,133	4.3

Municipio	Valor expuesto (COP millones)	RCP 6.0		RCP 8.5		IDEAM	
		(COP millones)	(%)	(COP millones)	(%)	(COP millones)	(%)
San Onofre	\$ 20,406	\$ 2,734	13.4	\$ 2,816	13.8	\$ 2,694	13.2
Lorica	\$ 30,097	\$ 7,524	25.0	\$ 7,976	26.5	\$ 7,494	24.9
Espinal	\$ 225,970	\$ 10,621	4.7	\$ 7,683	3.4	\$ 7,909	3.5
Guamo	\$ 212,401	\$ 12,532	5.9	\$ 8,921	4.2	\$ 9,133	4.3

Figura 12 Pérdida anual esperada relativa por sequía (en porcentaje) para los 4 municipios, ante clima base y clima futuro.



4.5. Riesgo por incendios forestales

El análisis del riesgo por incendios forestales en Colombia, con un enfoque en los departamentos de Huila, Casanare, Caquetá y Vichada, revela la vulnerabilidad de los bosques y los servicios ecosistémicos que estos proveen. Si bien los incendios de cobertura vegetal ocurren en todas partes del territorio colombiano, estos se concentran en la frontera agrícola, como una presión que el ser humano ejerce sobre el bosque. Lo anterior tiene que ver con el hecho que la ocurrencia natural de incendios en Colombia, es decir, incendios forestales de ignición espontanea, es prácticamente imposible por las condiciones generalmente de muy alta humedad de la vegetación.

Esto significa que la absoluta mayoría de incendios en el país son detonados por la mano del hom-

bre, como parte de quemas agrícolas, o para ganar terreno al bosque natural con el fin de extender la tierra productiva. Esta evaluación se centra en los municipios de Palermo (Huila), Orocué (Casanare), San Vicente del Caguán (Caquetá) y Cumaribo (Vichada). Dada la importancia que en este tema en particular tienen las áreas protegidas del territorio colombiano, las cuales no son necesariamente responsabilidad de los municipios, se incluyen en esta evaluación 86 áreas protegidas aledañas a los 4 municipios evaluados, con el fin de permitir una aplicación más amplia y una mayor participación de las entidades competentes en la protección del medio ambiente.

La Tabla 7 muestra los valores de la pérdida anual esperada (PAE) para los 4 municipios, tanto para el clima actual como para los climas futuros considerados. La Figura 13 presenta la PAE relativa de forma gráfica, en donde es posible comparar la diferencia en el riesgo causada por el cambio climático en cada municipio

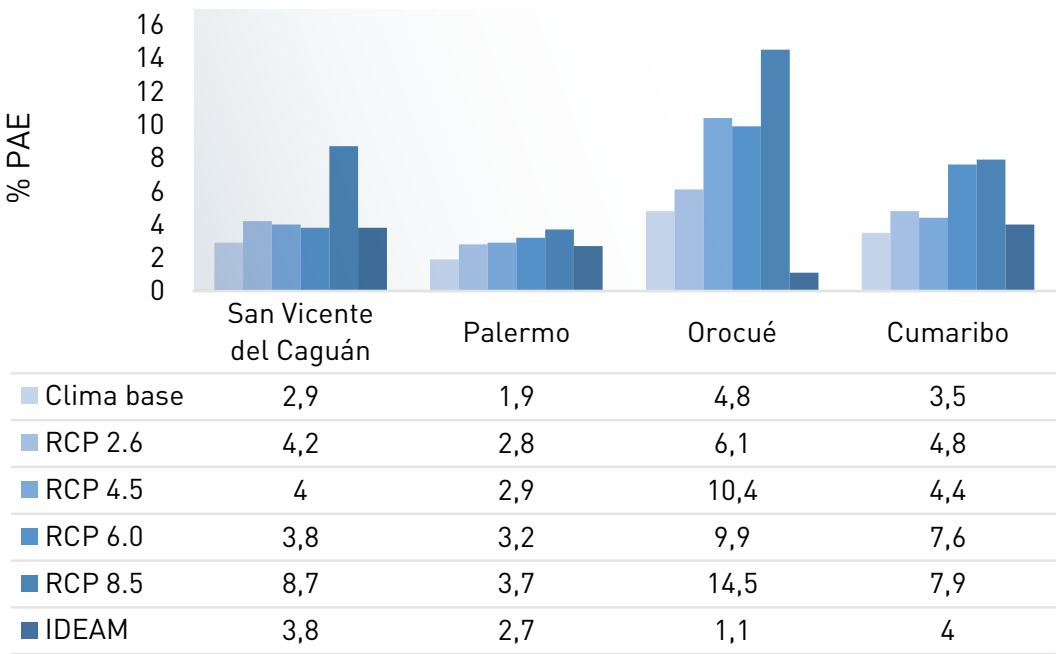
Tabla 7 Pérdidas Anuales Esperadas por incendios forestales

Municipio	Valor expuesto	Clima base		RCP 2.6		RCP 4.5	
		(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)
San Vicente del Caguán	\$ 53,183,615	\$ 154,416	2.9	\$ 223,371	4.2	\$ 212,734	4.0
Palermo	\$ 1,576,243	\$ 2,999	1.9	\$ 4,408	2.8	\$ 4,571	2.9
Orocué	\$ 1,972,901	\$ 9,544	4.8	\$ 12,025	6.1	\$ 20,490	10.4
Cumaribo	\$ 115,224,020	\$ 407,677	3.5	\$ 556,479	4.8	\$ 506,742	4.4

Municipio	Valor expuesto	RCP 6.0		RCP 8.5		IDEAM	
		(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)	(COP millones)	(‰)
San Vicente del Caguán	\$ 53,183,615	\$ 203,829	3.8	\$ 463,248	8.7	\$ 202,098	3.8
Palermo	\$ 1,576,243	\$ 5,044	3.2	\$ 5,848	3.7	\$ 4,209	2.7
Orocué	\$ 1,972,901	\$ 19,469	9.9	\$ 28,631	14.5	\$ 2,072	1.1
Cumaribo	\$ 115,224,020	\$ 880,582	7.6	\$ 910,270	7.9	\$ 460,896	4.0

Figura 13

Pérdida anual esperada relativa por incendios forestales (al millar) para los 4 municipios, ante clima base y clima futuro.



5 Medidas de Adaptación



La adaptación puede definirse como el conjunto de acciones encaminadas a reducir los efectos adversos del cambio climático en las comunidades, sus medios de vida y el medio ambiente. Existen diferentes maneras de intervenir los factores que conducen a la existencia del riesgo de desastres, con diferentes grados de factibilidad y efectividad. En general no es posible afirmar que una medida sea más apropiada que otra sin incorporar el contexto, la factibilidad técnica y política, la capacidad de ejecución institucional, entre otros factores. En este estudio, se propone una colección de medidas de adaptación para ser evaluadas, las cuales fueron incorporadas considerando la factibilidad de su implementación real en el futuro, así como la posibilidad de implementar de manera apropiada su efecto en la modelación del riesgo.

5.1. Medidas de adaptación física

Las medidas de adaptación física se refieren a las intervenciones estructurales y no estructurales diseñadas para reducir la exposición y la vulnerabilidad de los elementos expuestos a los peligros climáticos. Para cada amenaza y sector, se evalúa un portafolio de exposición el cual fue seleccionado para ser intervenido mediante las medidas de adaptación propuestas. Se simula la intervención siguiendo cada medida en el portafolio seleccionado, siguiendo el enfoque de la RCE, con el fin de encontrar la combinación óptima de medidas.

Los costos de implementación de las diferentes medidas de adaptación son estimativos medios de los valores reales que se usan para establecer un orden de magnitud de la inversión requerida en adaptación. Por lo tanto, no deben ser tomados como va-

lores reales en un proyecto específico de adaptación, sino como costos indicativos a nivel de prefactibilidad.

Con ayuda de la *Risk Control Engineering* (Bernal et al. 2021) se procedió a dimensionar el alcance de las medidas anteriormente definidas con el fin de establecer las necesidades de inversión requeridas para lograr una reducción determinada en el riesgo de desastres. La metodología de la RCE se aplica sobre las medidas de adaptación predefinidas, con el fin de obtener diferentes combinaciones de estas que reduzcan el riesgo de manera más efectiva. Este proceso se repite considerando diferentes montos máximos de inversión, de tal manera que se aborde el problema de adaptación siguiendo el principio de gradualidad.

La Tabla 8 muestra las medidas de adaptación a ser evaluadas para las diferentes amenazas y portafolios seleccionados. Se indica si la medida corresponde a reducción del riesgo, protección financiera o manejo de desastres.

Tabla 8 Medidas de adaptación a ser evaluadas. (R = Reducción del riesgo; P = Protección financiera; M = Manejo de desastres)

Amenaza	Sector	Portafolios	Medidas evaluadas
Huracán	Construcciones	Residencial, educación, salud, comercial, industrial, institucional	Reforzamiento estructural
			Edificaciones palafíticas (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 m)
Incendios forestales	Servicios ecosistémicos	Bosques de frontera agrícola	Mejoramiento de la capacidad para combatir el fuego
Deslizamientos	Infraestructura	Red vial primaria, secundaria, terciaria y local	Reducción de la susceptibilidad por tramo
Sequía	Agrícola	Maíz amarillo, maíz blanco, arroz de secano, arroz de riesgo, yuca	Mulching
			Instalación de sistemas de riego
			Transición de sistema tradicional a tecnificado
			Transición de sistema manual al mecanizado
Inundación	Construcciones	Residencial, educación, salud, comercial, industrial, institucional	Implementación de variedades resistentes
			Edificaciones palafíticas (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 m)
			Reubicación de edificación

Estas medidas, al ser implementadas de manera integral y considerando las características específicas de cada territorio, contribuyen significativamente a la reducción del riesgo y al aumento de la capacidad de adaptación de las comunidades y los sistemas productivos. Las gráficas de resultados se pueden consultar en el Anexo 1.

5.2. Medidas de adaptación del contexto

Las medidas de adaptación del contexto se refieren a las acciones que buscan modificar el entorno social, económico, institucional y político para reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de adaptación de las comunidades y los sistemas. Estas medidas, a menudo de carácter no estructural, son complementarias a las medidas físicas y son fundamentales para lograr una adaptación integral y sostenible.

Se ha desarrollado un procedimiento basado en indicadores (Ver Anexo 2); este procedimiento permite precisar el tipo de acciones de adaptación necesarias para cada tipo de amenaza, así como establecer su priorización; sin embargo, dada la amplitud de estos análisis, no es posible detallar completamente la implementación de todas las acciones de adaptación en cada sector. No obstante, el procedimiento definido puede orientar las decisiones de adaptación con mayor precisión y practicidad, aplicando criterios de priorización y eficiencia en la implementación, según lo indicado por el sistema de indicadores propuesto en el estudio realizado.

Las medidas de adaptación propuestas se derivan de discusiones exhaustivas en talleres participativos sobre acciones no estructurales relacionadas con aspectos ambientales, sociales y económicos. Las medidas identificadas en los talleres se establecieron como medidas generales que sirvieron como base para proponer medidas más específicas destinadas a aumentar la resiliencia de los sectores evaluados y reducir la creación de riesgos futuros.

El procedimiento para priorizar las medidas se basa en el uso de indicadores (Ver Anexo 2). Para esto, cada medida específica en los diferentes conjuntos propuestos se vincula a un indicador correspondiente, que busca determinar el énfasis y el nivel de esfuerzo requerido para una adaptación más efectiva al cambio climático. Se han seleccionado diferentes conjuntos de indicadores para medir la adaptación al riesgo de las diferentes amenazas (Anexo 2).

Los resultados obtenidos ofrecen una visión clara de cómo la focalización en los factores determinantes del agravamiento del riesgo puede disminuir el riesgo general, como por ejemplo el fortalecimiento en la gestión del riesgo de desastres, sistemas de alerta agroclimática, implementación de la Estrategia Nacional del Ministerio de Ambiente, entre otras. En resumen, se logra mejorar las condiciones del entorno que propician desastres y la acumulación de riesgos futuros. Estos resultados para cada departamento se pueden observar en el Anexo 3.

6 Conclusiones



6.1. Sobre el riesgo climático

Se ha cuantificado el riesgo climático en Colombia, tanto para la línea base como para escenarios futuros, para diversas amenazas, revelando la vulnerabilidad de diferentes sectores y regiones. Los resultados confirman que el cambio climático exacerbará los peligros existentes, lo que se traducirá en un aumento de las pérdidas económicas y sociales si no se implementan medidas de adaptación efectivas. La evaluación probabilística del riesgo ha permitido identificar las áreas geográficas y los activos más expuestos y vulnerables, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas en la gestión del riesgo.

Por su parte, se puede concluir que el país presenta actualmente elevados niveles de riesgo de desastres, incluso sin tener en cuenta el efecto del cambio climático. En consecuencia, es necesario intervenir las condiciones actuales de exposición y vulnerabilidad con el fin de reducir el riesgo y lograr, por medio de la gestión del riesgo de desastres, un nivel aceptable de adaptación al cambio climático.

6.2. Sobre la incorporación de medidas de adaptación en el modelo de riesgo

La integración de medidas de adaptación en la modelación del riesgo climático constituye una herramienta clave para evaluar su efectividad en términos de reducción de pérdidas y mejora de la resiliencia. Este enfoque permite no solo cuantificar el beneficio de las acciones implementadas, sino también priorizar inversiones y facilitar una toma de decisiones informada, basada en evidencia técnica y financiera.

La evaluación de distintas estrategias de adaptación, junto con sus respectivos costos de inversión, permite identificar el llamado límite práctico de la adaptación: el punto a partir del cual mayores inversiones no se traducen en reducciones sig-

nificativas del riesgo, y donde se alcanza un nivel máximo de respuesta posible frente al cambio climático, es decir una acción adicional no va a representar un cambio significativo. El riesgo residual asociado a este límite representa una pérdida remanente que no puede ser mitigada mediante las medidas consideradas.

Adicionalmente, la modelación del riesgo permite explorar soluciones técnicamente viables con distintos niveles de inversión, brindando un abanico de opciones de intervención ajustadas a la factibilidad financiera. Este análisis técnico se convierte en un insumo fundamental para procesos de toma de decisiones más amplios, que incorporen también criterios sociales, institucionales y políticos. De esta manera, se facilita el diseño de planes de acción integrales y progresivos que contribuyan de forma efectiva a los objetivos de reducción del riesgo y fortalecimiento de la resiliencia climática en el mediano y largo plazo.

6.3. Sobre los procesos participativos desarrollados

En los procesos participativos, se realizó la incorporación del enfoque de género, específicamente en los talleres de evaluación del riesgo climático y el diseño de medidas de adaptación, que no solo respondió a los requerimientos establecidos en los términos de referencia, sino que también enriqueció de manera sustantiva el proceso y sus resultados. La participación y significativa de las mujeres, facilitada por un diseño metodológico inclusivo y la implementación de estrategias específicas, contribuyó a que las propuestas de adaptación surgidas del ejercicio participativo fueran más equitativas y sensibles a las diferencias de género. Esta experiencia dejó valiosas lecciones que servirán de base para futuros proyectos, promoviendo una integración más robusta y sistemática del enfoque de género en los procesos de evaluación y gestión del riesgo de desastres y cambio climático.

6.4. Sobre la implementación de los resultados de adaptación

Dentro del plan de acción deben definirse los distintos proyectos que corresponden a las acciones de intervención priorizadas, los cuales requieren un diseño detallado para su adecuada implementación. La formulación de cada proyecto representa una tarea compleja y de gran envergadura, que debe ser desarrollada por equipos interdisciplinarios de especialistas, conforme a las necesidades técnicas y contextuales de cada caso. Su ejecución deberá realizarse de manera progresiva, promoviendo un desarrollo sostenible que, además de reducir riesgos, pueda generar beneficios adicionales no necesariamente anticipados o cuantificados, tales como el fortalecimiento de la seguridad, la re-

siliencia y el bienestar de las comunidades, regiones y sectores involucrados. Estos beneficios, a su vez, contribuirían a consolidar la confianza pública en las instituciones responsables del proceso.

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), como documento orientador de las políticas y procesos de adaptación en el país, constituye el marco de referencia para la implementación de medidas por parte de instituciones nacionales, entidades territoriales y demás actores involucrados. En este contexto, el presente estudio propone líneas de articulación entre el PNACC y los resultados obtenidos a partir de la modelación del riesgo climático, con el propósito de aportar elementos concretos y específicos que permitan operacionalizar algunas de las estrategias y acciones contempladas en dicho plan, desde una perspectiva técnica y territorializada.

7

Bibliografía



- Bernal, G. A., Cardona, O. D., Marulanda, M. C., & Carreño, M. L. (2021). Dealing with uncertainty using fully probabilistic risk assessment for decision making. In S. Eslamian & F. Eslamian (Eds.), *Handbook of Disaster Risk Reduction for Resilience* (Chapter 14). Springer Nature.
- Bernal, G. A., Cardona, O. D., & Marulanda, M. C. (2017). DroughtPro: Un software para la estimación de pérdidas por sequía agrícola en Colombia. Plataforma CAPRA ROBOT.
- Bloemendaal, N., Haigh, I. D., de Moel, H., Muis, S., Haarsma, R. J., & Aerts, J. C. J. H. (2020). Generation of a global synthetic tropical cyclone hazard dataset using STORM. *Scientific Data*, 7, 40. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0381-2>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. (2017). Tercera Comunicación Nacional de Colombia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá, Colombia.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Knapp, K. R., Kruk, M. C., Levinson, D. H., Diamond, H. J., & Neumann, C. J. (2010). The International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS): Unifying tropical cyclone data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(3), 363–376. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2755.1>
- Lempert, R. J. (2019). Robust Decision Making (RDM). In V. Marchau, W. Walker, P. Bloemen, & S. Popper (Eds.), *Decision making under deep uncertainty* (pp. 23–51). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05252-2_2
- Marchau, V., Walker, W., Bloemen, P., & Popper, S. (2019). *Decision making under deep uncertainty*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05252-2>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., & Fereres, E. (2012). *Crop yield response to water*. FAO Irrigation and Drainage Paper 66. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London and Washington.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030*.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations.

Anexo 1.

Gráficos riesgo-inversión para los territorios evaluados

An aerial photograph showing a wide, calm river with dark brown water, reflecting the sky. The river is surrounded by a dense, lush green tropical forest. The forest canopy is thick and vibrant, with some areas showing lighter green, possibly indicating different tree species or a clearing. The river flows from the upper right towards the lower left of the frame.

Con ayuda de la RCE se procedió a dimensionar el alcance de las medidas anteriormente definidas con el fin de establecer las necesidades de inversión requeridas para lograr una reducción determinada en el riesgo de desastres. La metodología de la RCE se aplica sobre las medidas de adaptación predefinidas con el fin de obtener diferentes combinaciones de estas que reduzcan el riesgo de manera más efectiva. Este proceso se repite considerando diferentes montos máximos de inversión, de tal manera que se aborde el problema de adaptación siguiendo el principio de gradualidad, bajo escenarios de inundación, huracanes, deslizamientos, sequía e incendios de cobertura vegetal.

Figura 17

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 3 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

Magangué

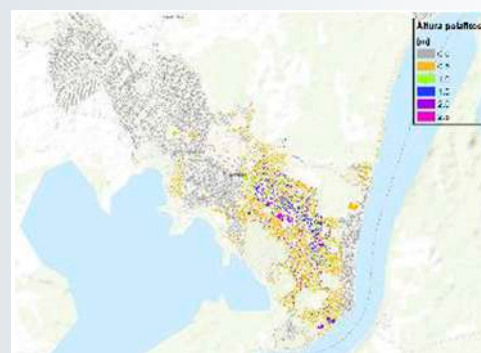
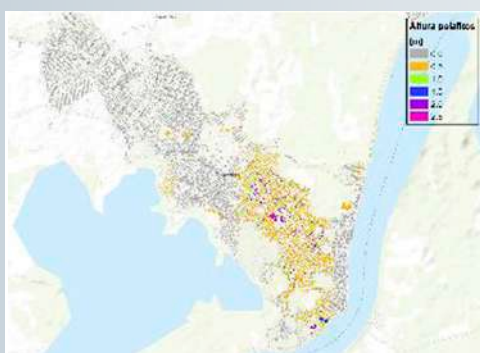
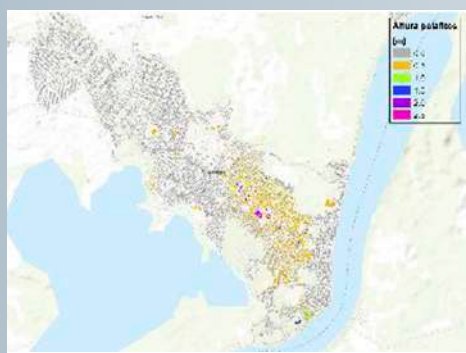
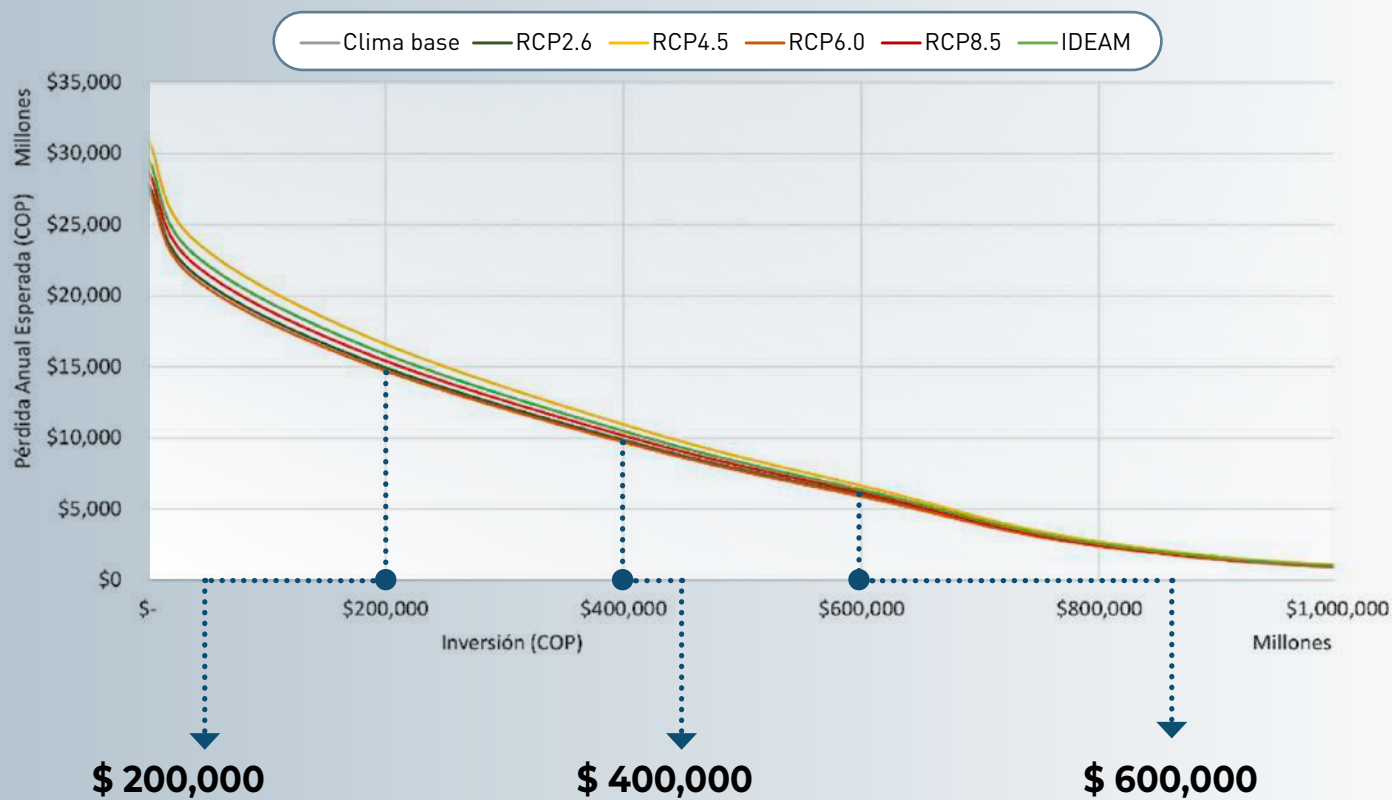


Figura 18

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 2 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

Ayapel

Figura 19

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 2 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

San Marcos

Figura 20

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

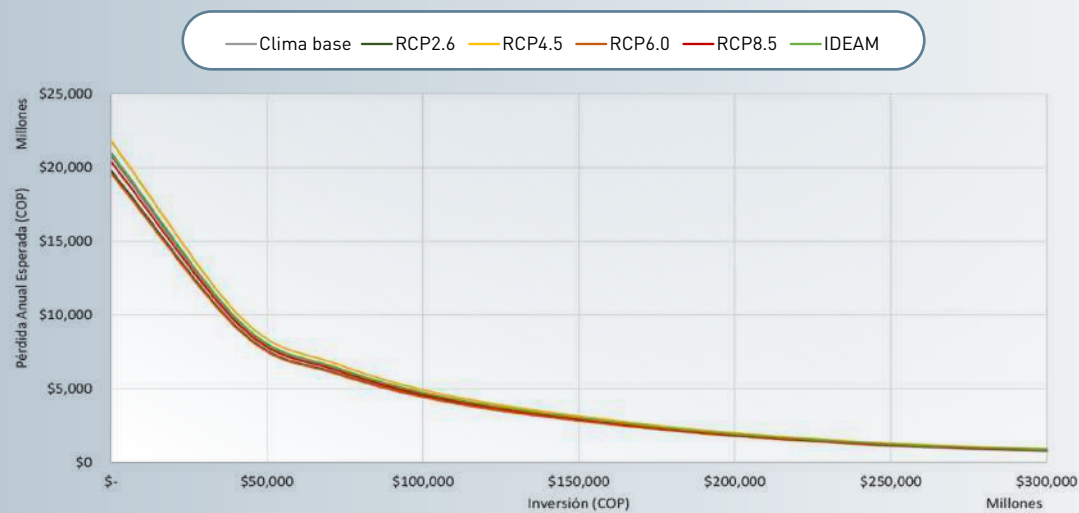
Guaranda

Figura 21

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas como palafitos (izq.) y reubicaciones(der.) por cada medida de adaptación considerada.

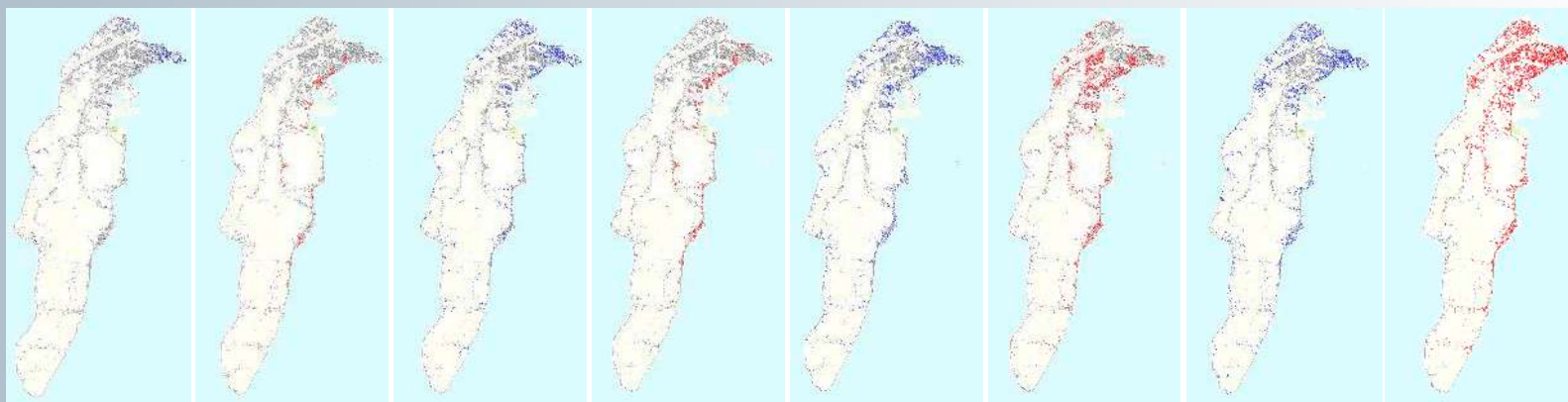
San Andrés

Figura 22

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas para la reconstrucción con palafitos (arriba) y reubicaciones (abajo) por cada medida de adaptación considerada.

Providencia

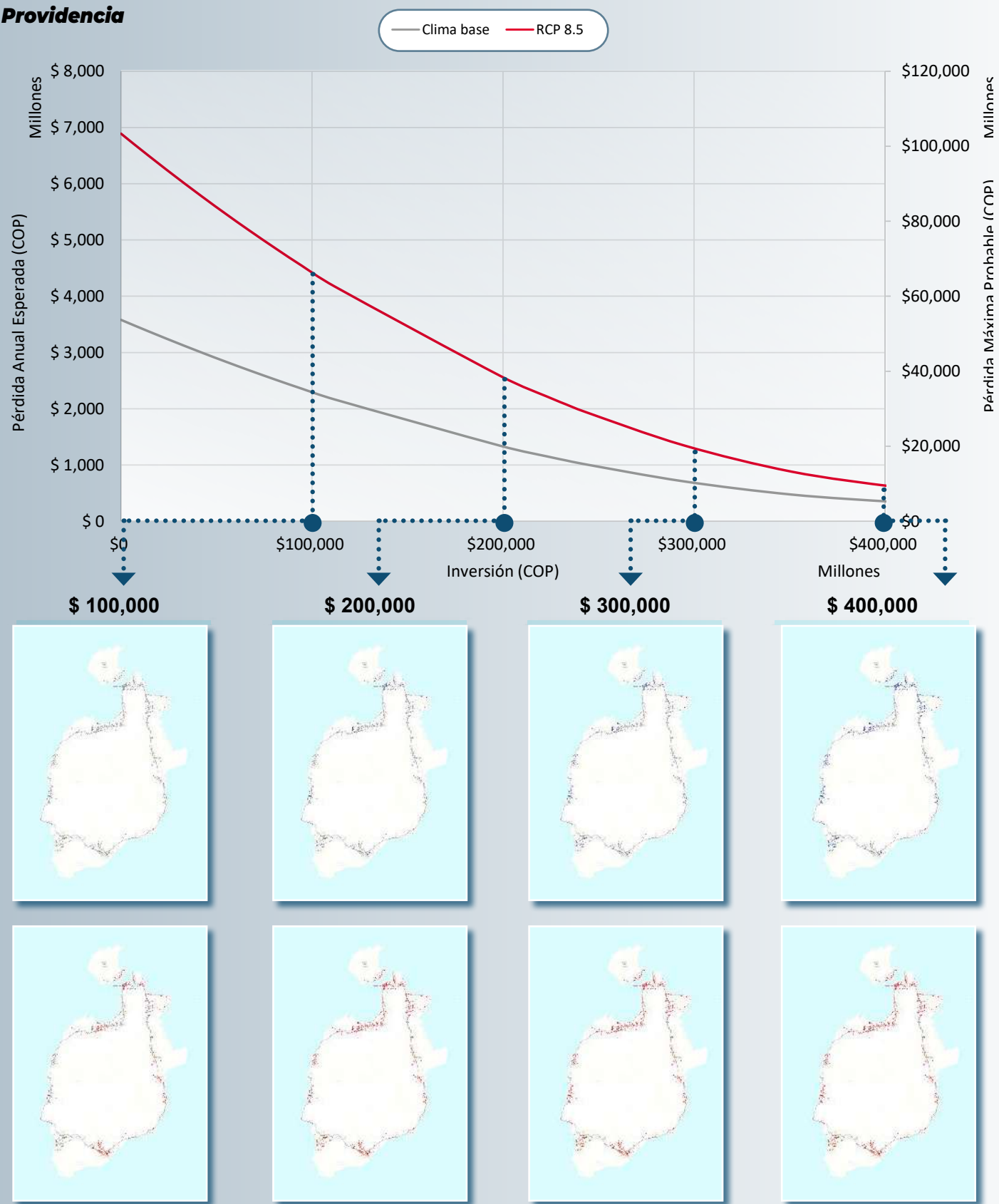


Figura 23

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas (reforzadas) por cada medida de adaptación considerada.

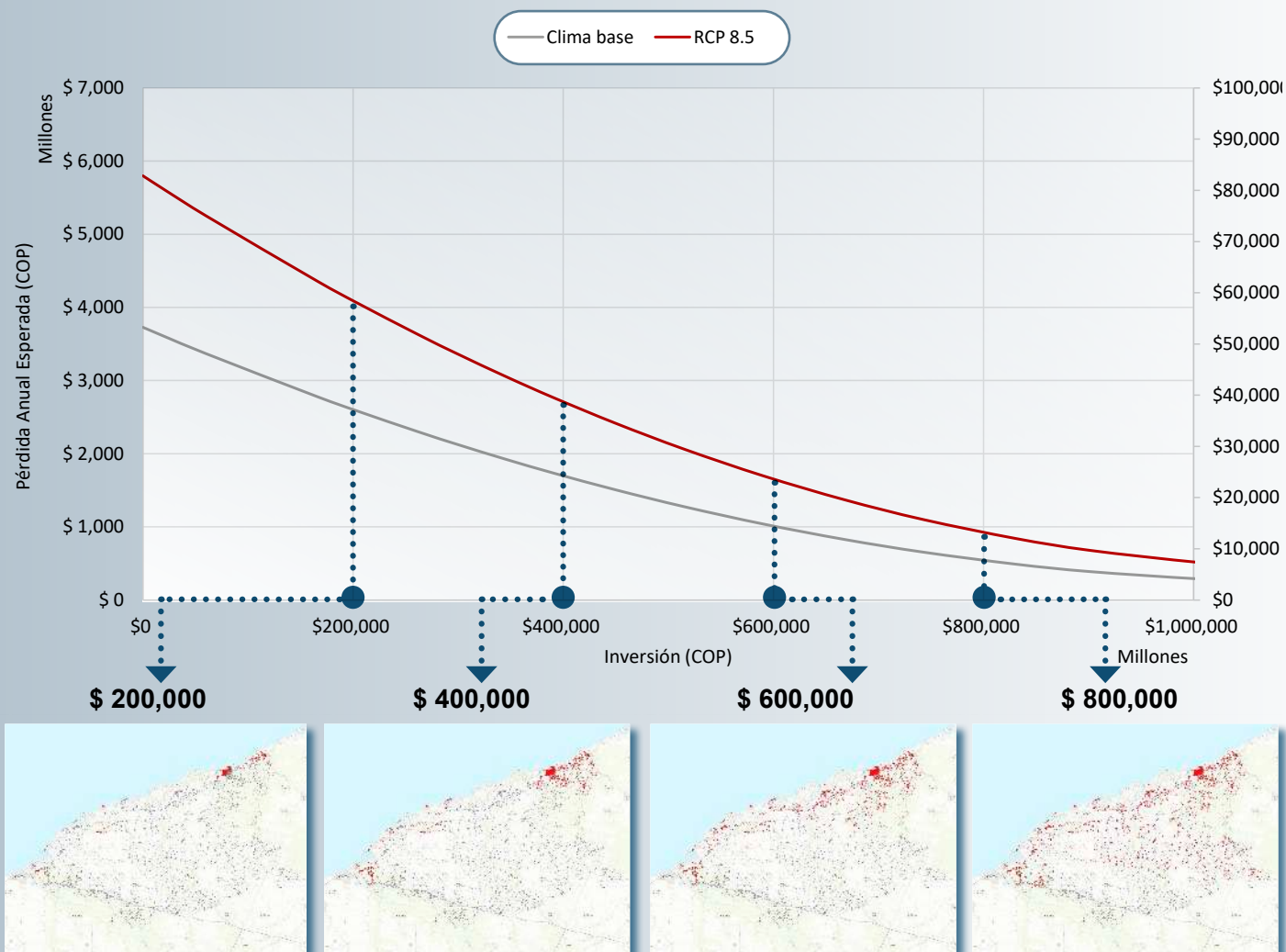
Manaure

Figura 24

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 3 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas (reforzadas) por cada medida de adaptación considerada.

Uribea

Figura 25

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

Riohacha



Figura 26

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de tramos viales intervenidos por cada medida de adaptación considerada.

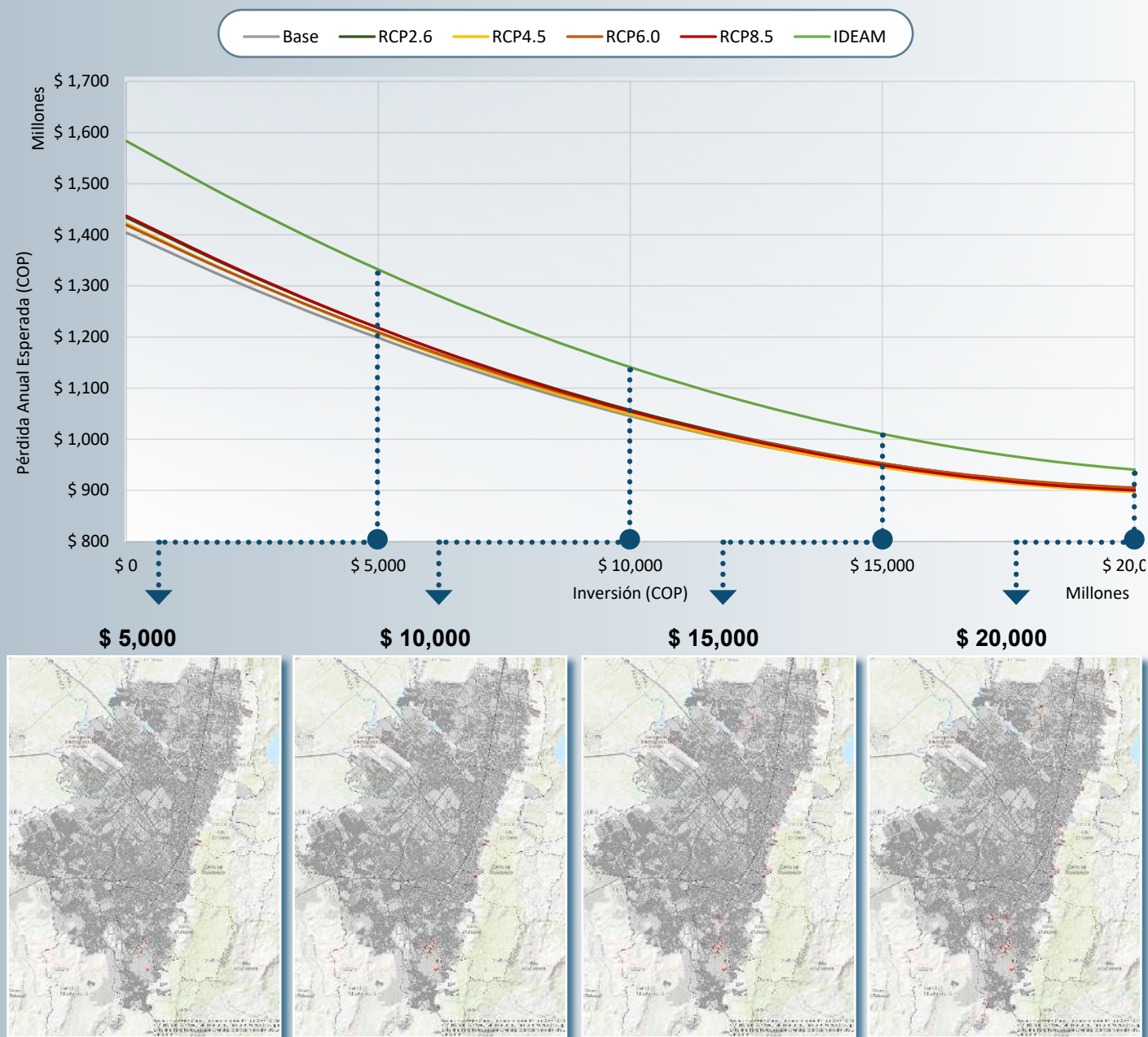
Bogotá

Figura 27

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de tramos viales intervenidos por cada medida de adaptación considerada

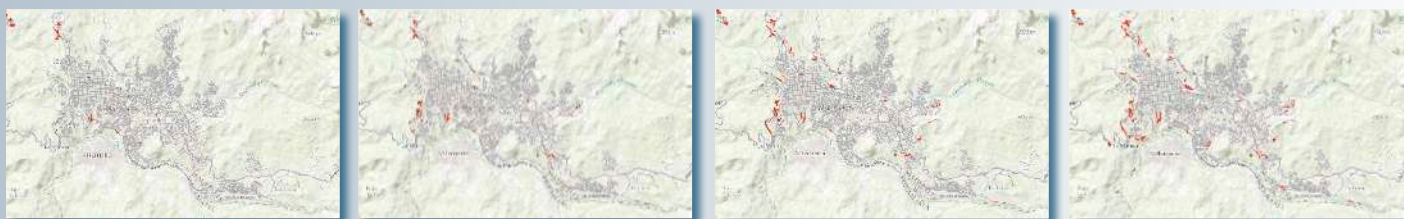
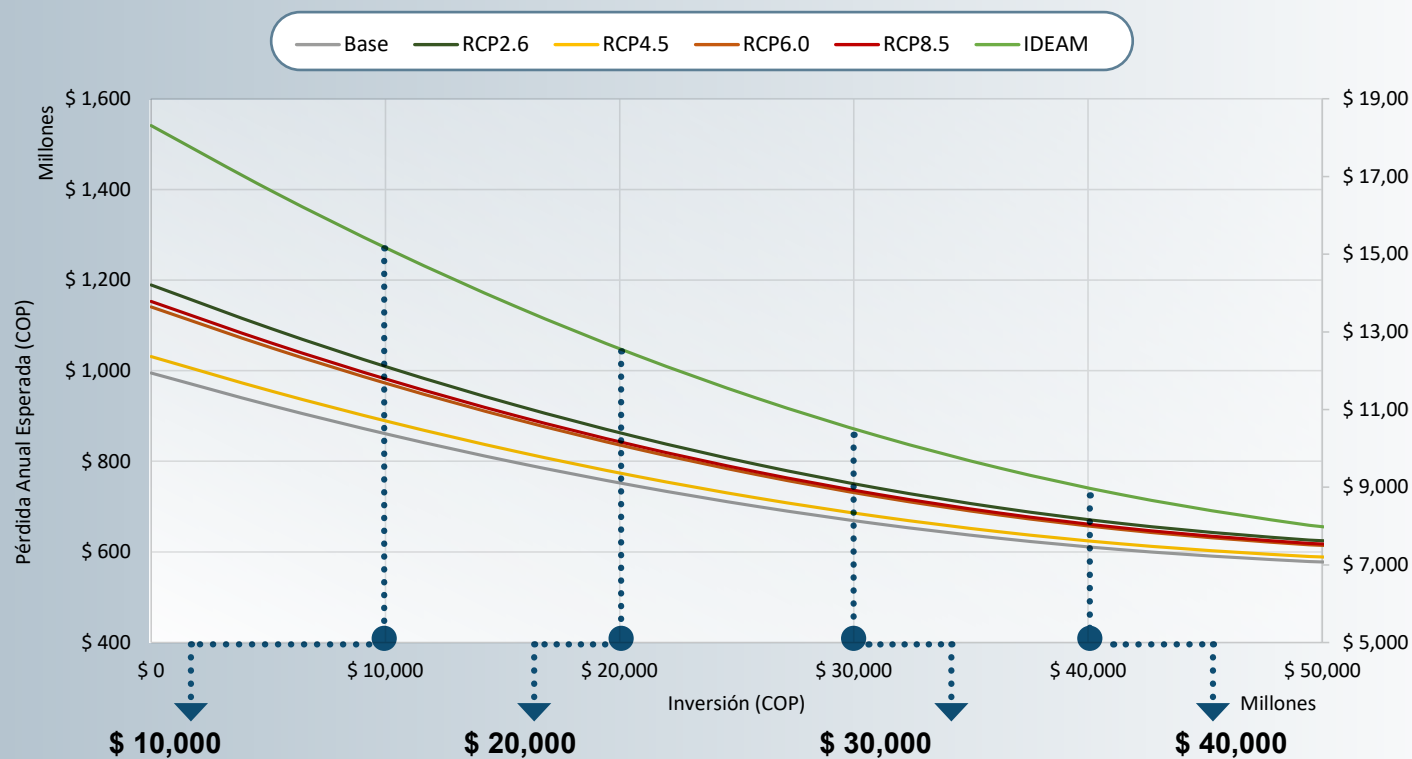
Manizales

Figura 28

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 3 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la ubicación de los sectores de la ciudad intervenidos por cada medida de adaptación considerada.

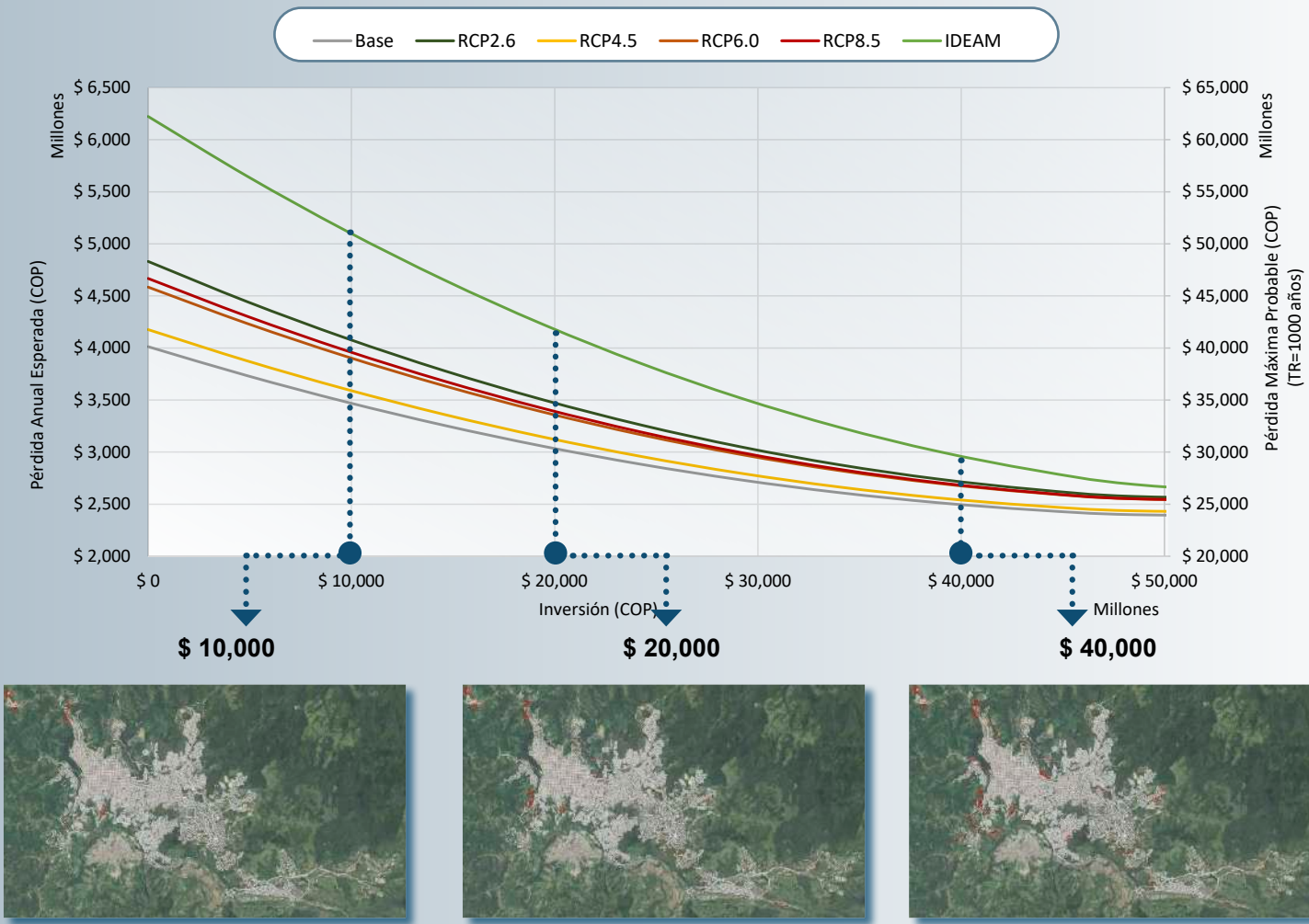


Figura 29

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 3 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la ubicación de los tramos viales intervenidos por cada medida de adaptación considerada.

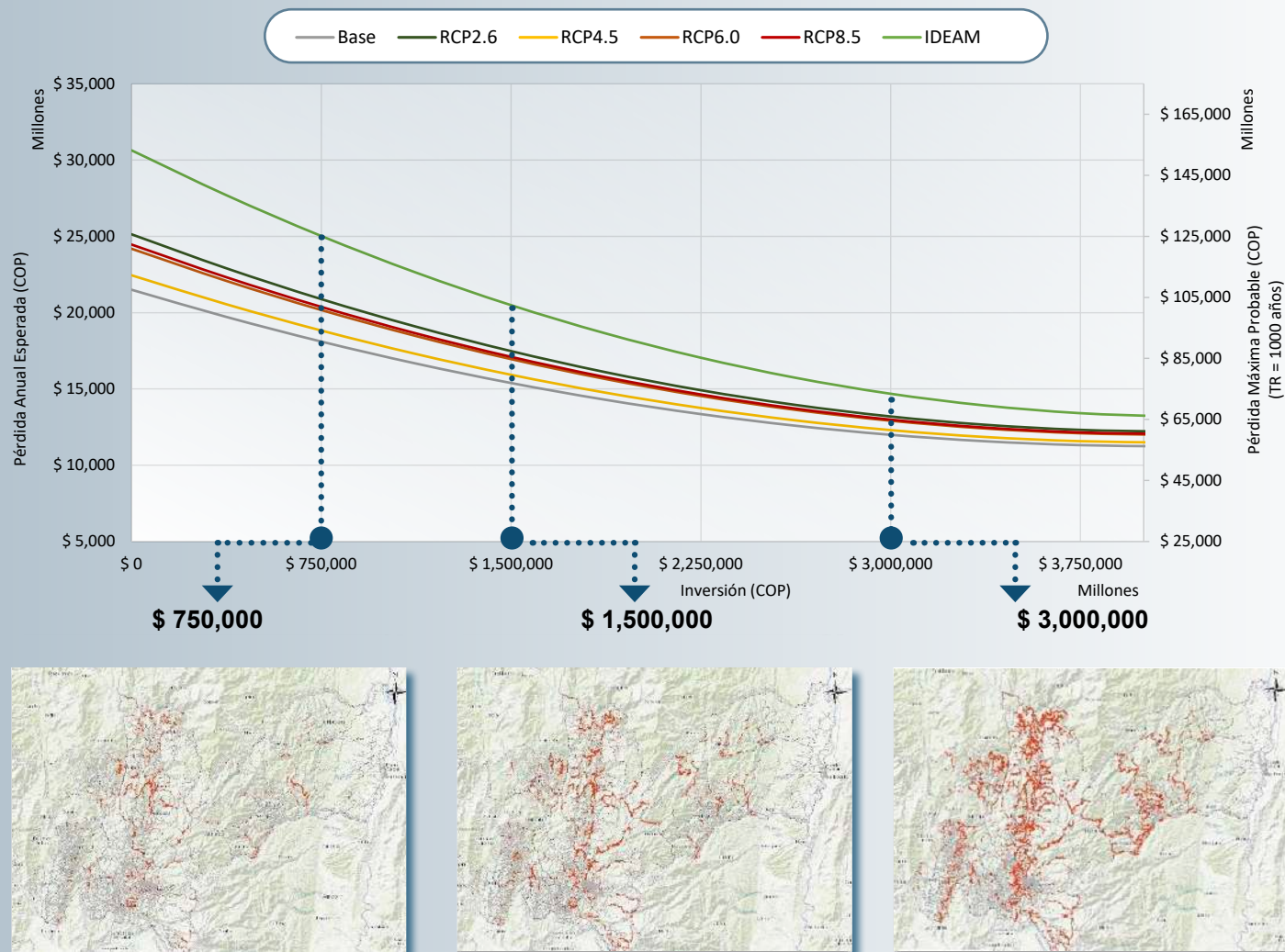
Caldas

Figura 30

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de tramos viales intervenidos por cada medida de adaptación considerada.

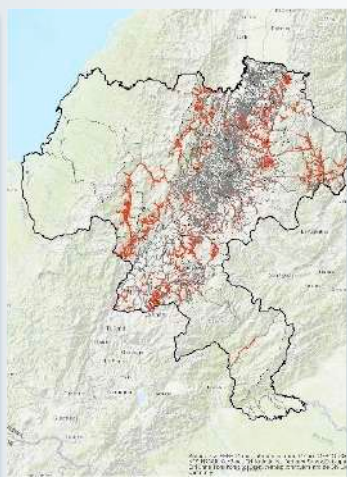
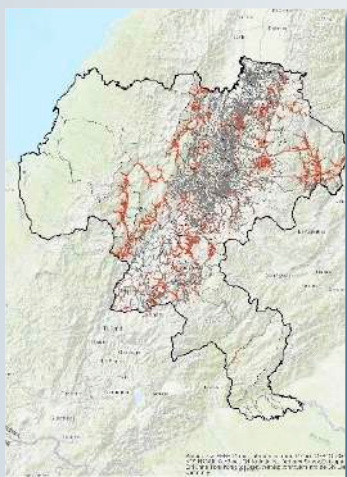
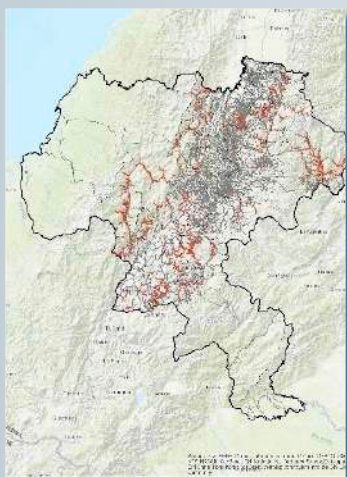
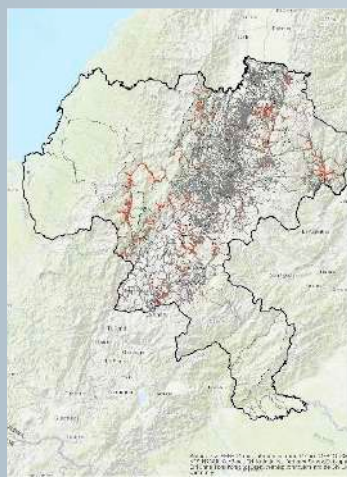
Cauca

Figura 31

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 3 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de áreas intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

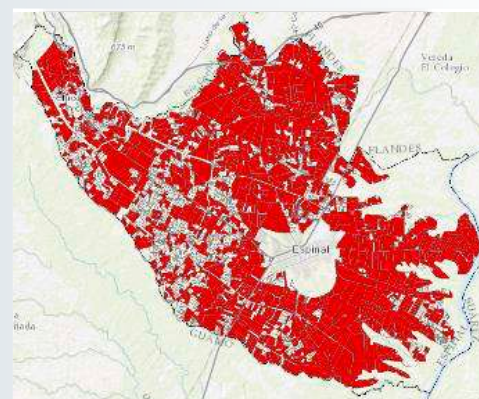
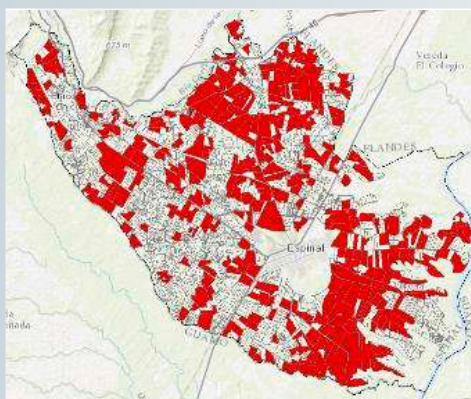
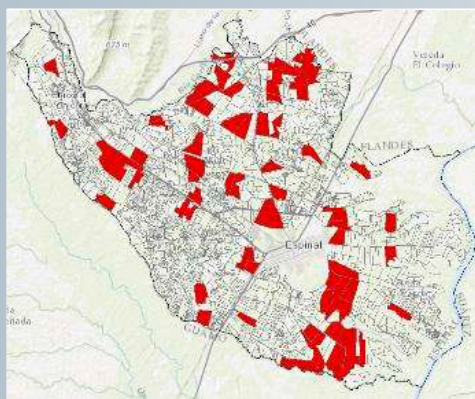
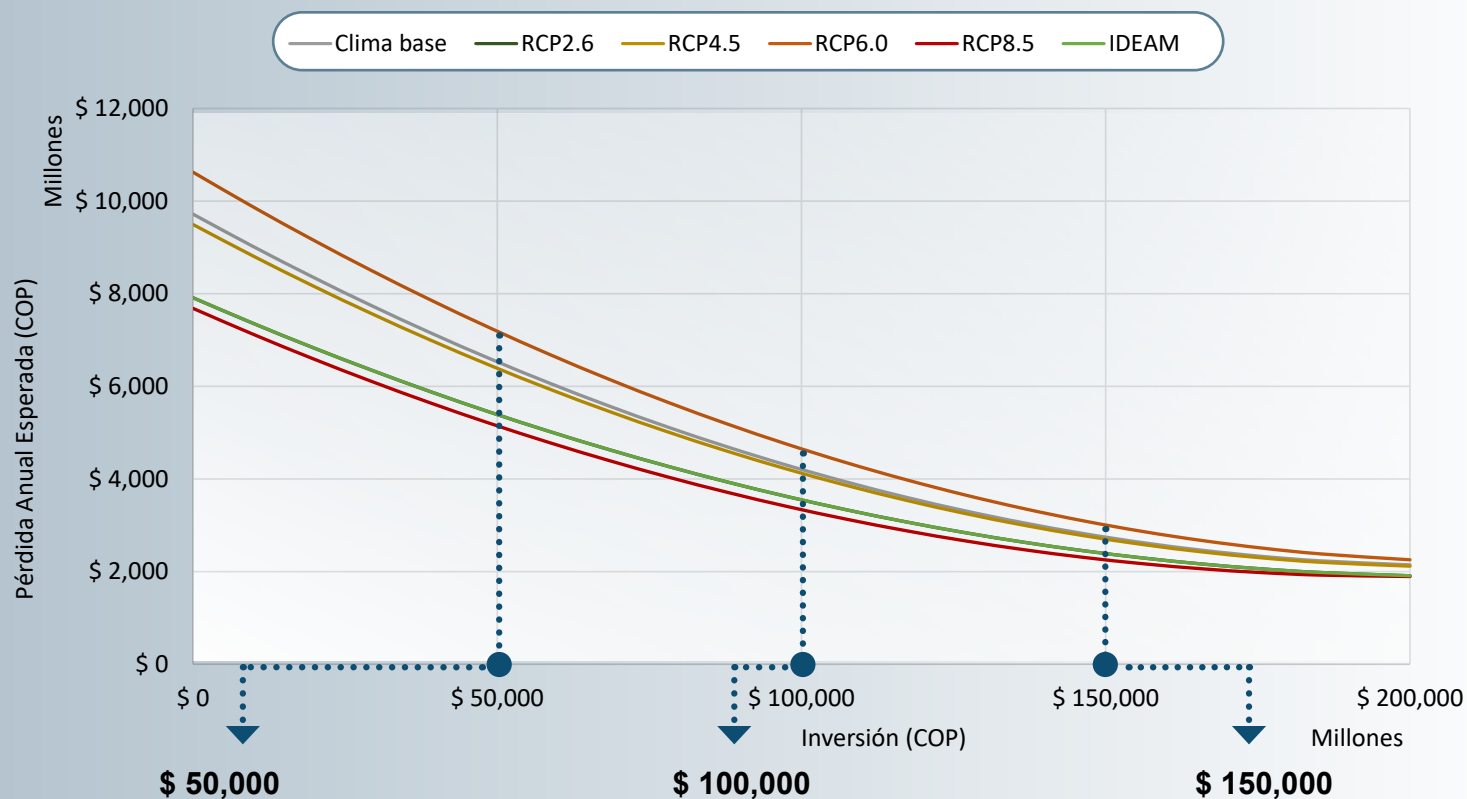
Espinal

Figura 32

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 2 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

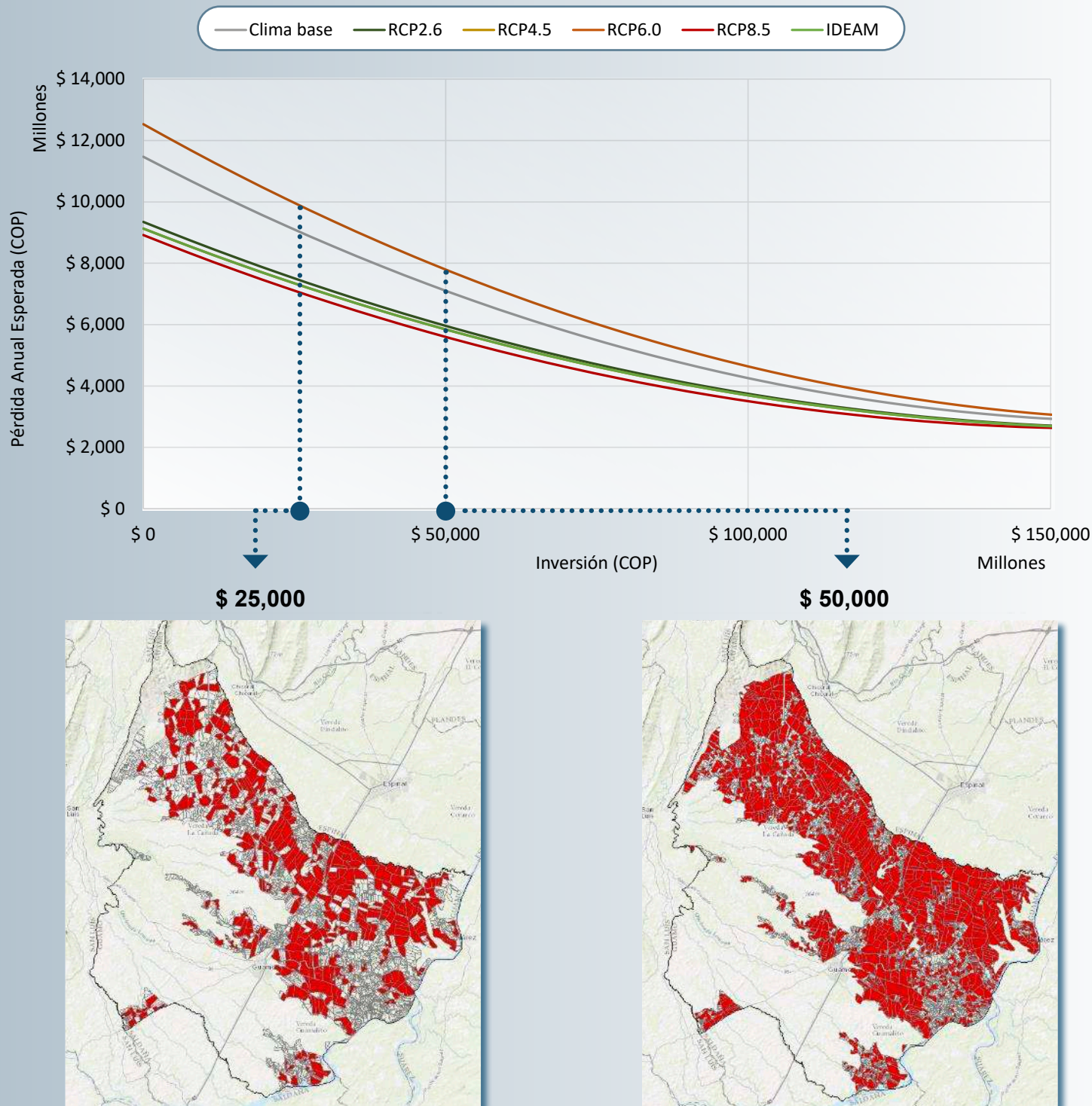
Guamo

Figura 33

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 2 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de áreas intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

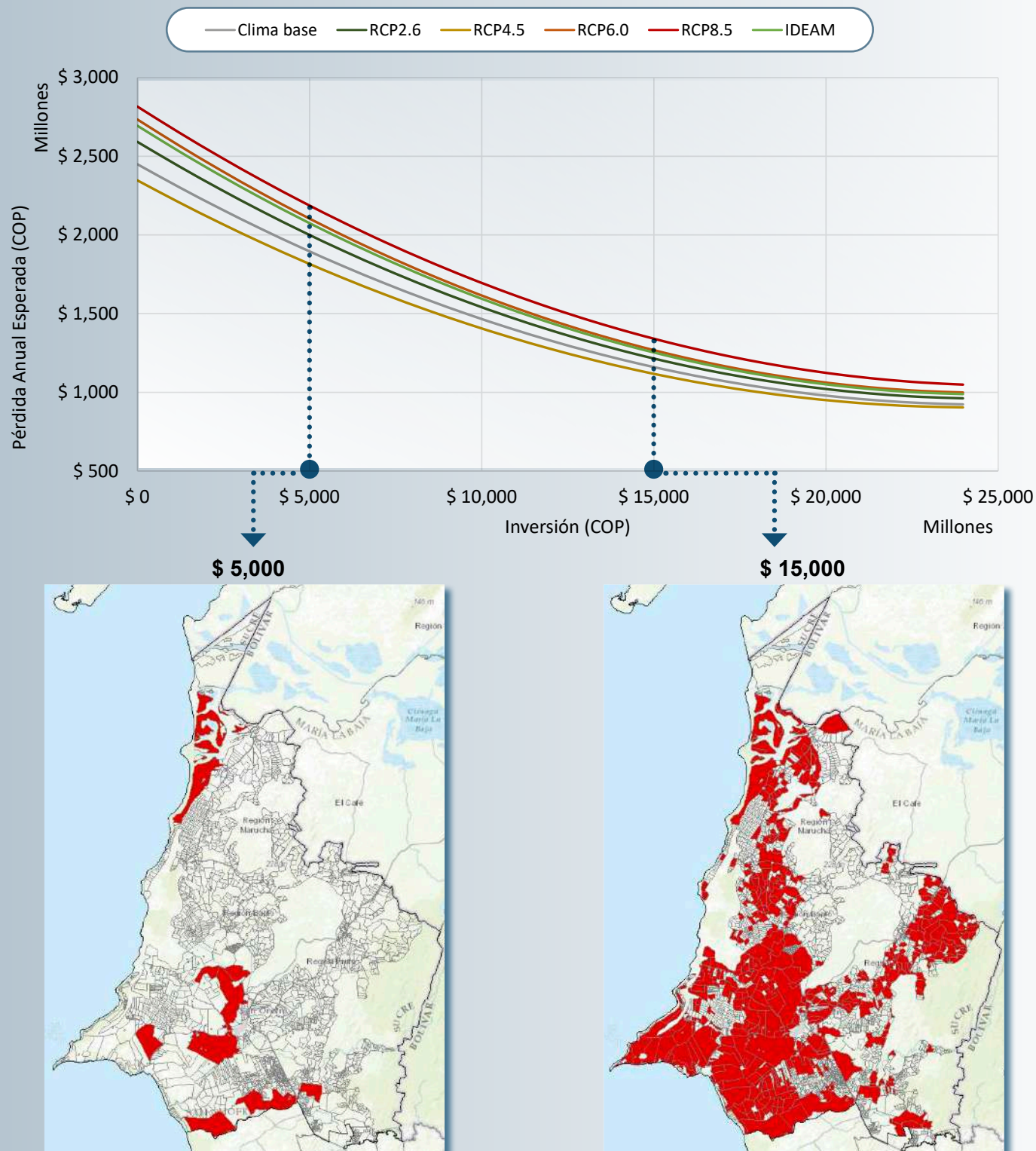
San Onofre

Figura 34

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de áreas intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

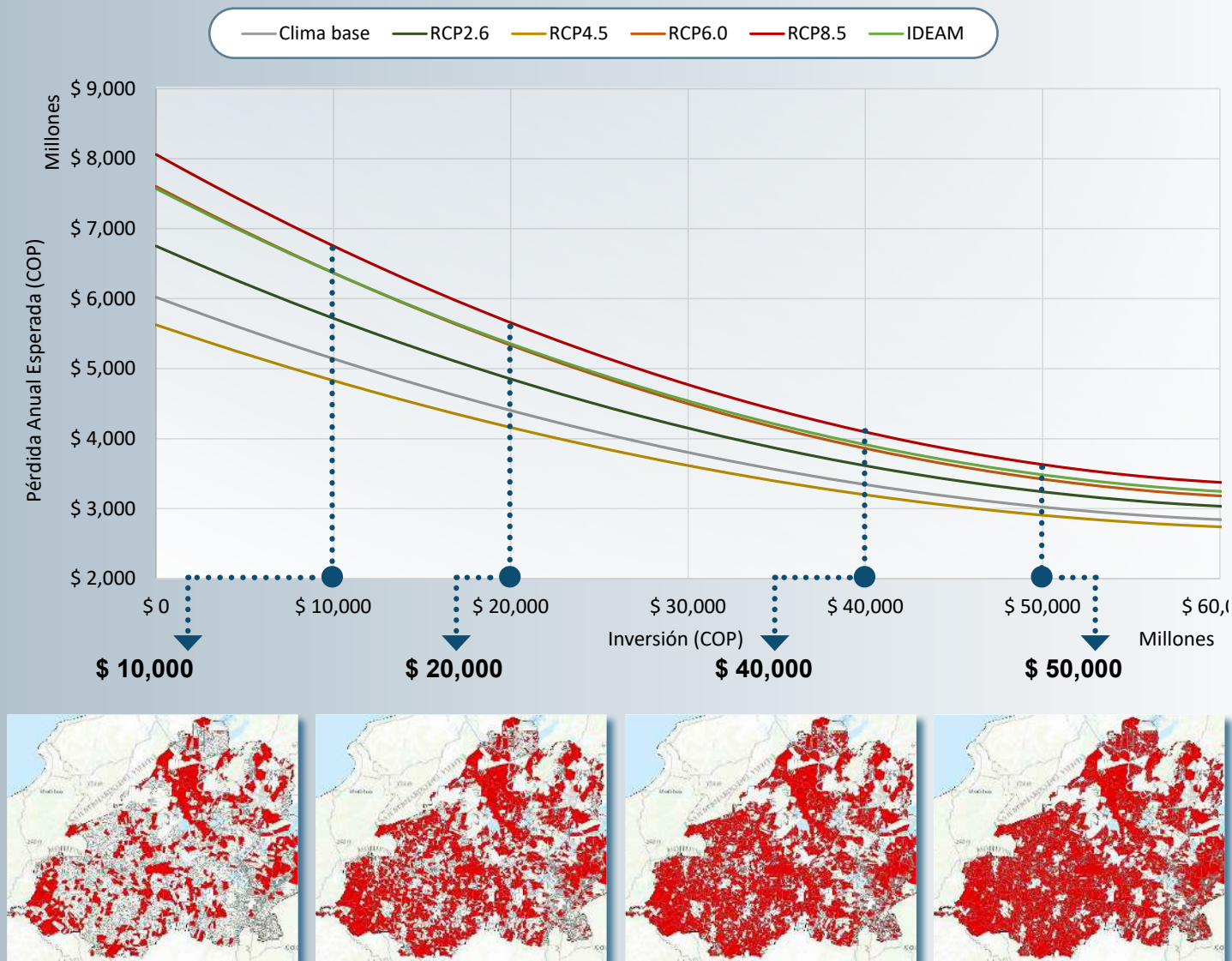
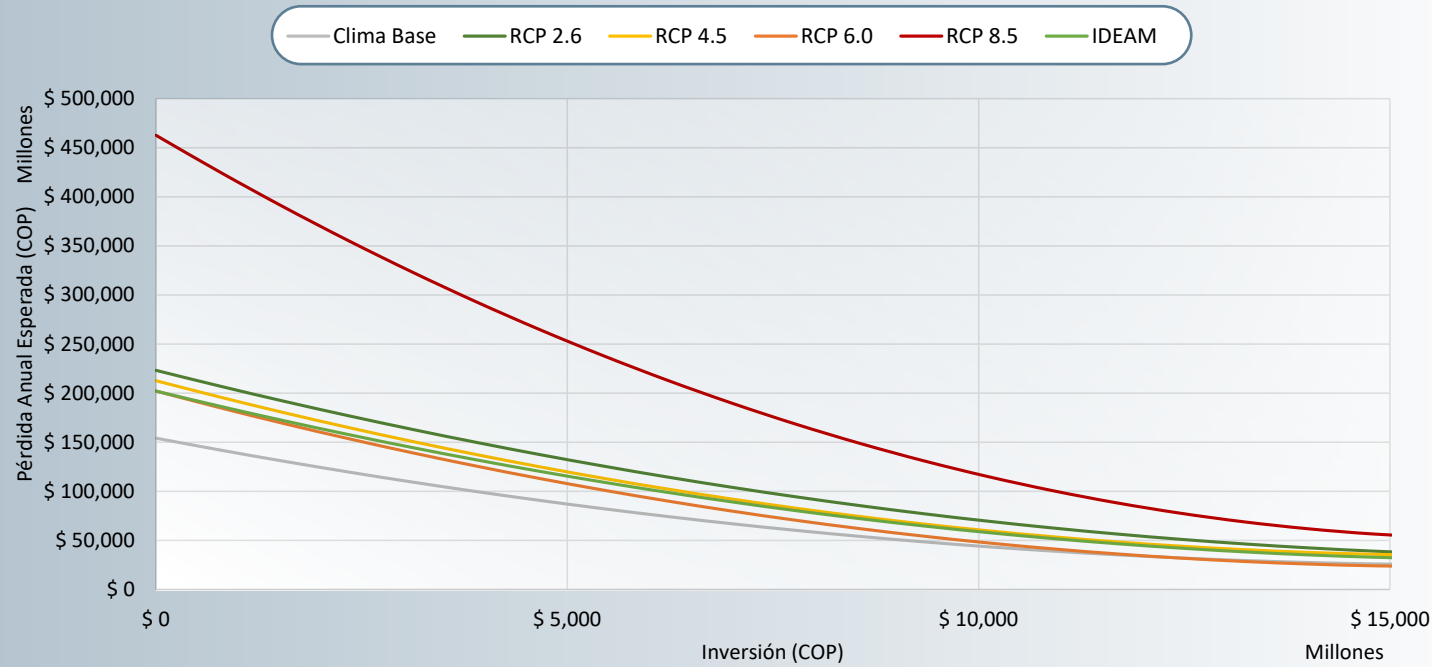
Lorica

Figura 35

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

San Vicente del Caguán

**Figura 36**

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

Palermo



Figura 37

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

Orocué



Figura 38

Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

Cumaribo



Anexo 2.

Tablas de indicadores seleccionados



Tabla 8 Conjunto de indicadores para medidas de adaptación - inundaciones

Cód. Medida	Indicador
XM1	Índice de educación
XE1	Porcentaje de aguas residuales tratadas
XE2	Índice de riesgo de la calidad del agua
XE3	Índice de cuidado ambiental
XE4	Índice de equidad e inclusión social
XE5	Índice de adaptabilidad y resiliencia
XP1	Índice de sostenibilidad
XP2	Gobernanza, participación e instituciones
XP3	Uso adecuado del suelo rural
XR1	Índice de ciencia y tecnología
XG1	Índice de fortaleza institucional
XG2	Índice de productividad, competitividad y complementariedad
XG3	Gestión del riesgo de desastres

Tabla 9 Conjunto de indicadores para medidas de adaptación - sequía

Cód. Medida	Indicador
XC1	Gobernanza, participación e instituciones
XC2	Índice de equidad e inclusión social
XC3	Conectividad física
XC4	Categoría de ruralidad
XC6	Índice de adaptabilidad y resiliencia
XC5	Valor agregado sin actividades extractivas como proporción del área municipal
XC7	Índice de educación
XC8	Índice de fortaleza institucional
XC9	Índice de productividad, competitividad y complementariedad
XS1	Gestión del riesgo de desastres
XS2	Créditos agropecuarios a pequeños productores
XS3	Índice de cuidado ambiental

Tabla 10 Conjunto de indicadores para medidas de adaptación – incendios forestales

Cód. Medida	Indicador
XE1	Índice de ciencia y tecnología
XE2	Analfabetismo
XE3	Índice de equidad e inclusión social
XE4	Índice de educación
XE5	Gobernanza, participación e instituciones
XE6	Acceso a internet
XE7	Índice de cuidado ambiental
XC1	Índice de adaptabilidad y resiliencia
XC2	Índice de fortaleza institucional
XC3	Índice de sostenibilidad
XA1	Índice de productividad, competitividad y complementariedad
XA2	Pertenece a esquemas asociativos
XP1	Tasa de grupos de investigación equivalentes a AI Colciencias
XP2	Gestión del Riesgo de Desastres
XP3	Índice de ecosistemas estratégicos

Tabla 11 Conjunto de indicadores para medidas de adaptación – huracanes

Cód. Medida	Indicador
XM1	Índice de ciencia y tecnología
XP3	Gobernanza, participación e instituciones
XR1	Índice de productividad, competitividad y complementariedad
XE1	Índice de equidad e inclusión social
XE2	Índice de educación
XE3	Índice de cuidado ambiental
XE4	Proporción de ecosistemas estratégicos, áreas de protección y áreas de bosque respecto al área municipal
XP2	Índice de fortaleza institucional
XP1	Gestión del Riesgo de Desastres

Tabla 12 Conjunto de indicadores para medidas de adaptación – deslizamientos

Cód. Medida	Indicadores
XE1	Inasistencia escolar
XE2	Gobernanza, participación e instituciones
XE3	Índice de equidad e inclusión social
XE4	Analfabetismo
XM1	Índice de educación
XM2	Índice de salud
XM3	Gestión del Riesgo de Desastres
XM4	Índice de pobreza multidimensional
XM5	Índice de adaptabilidad y resiliencia
XR1	Índice de ciencia y tecnología
XP1	índice de fortaleza institucional
XP2	Pertenece a esquemas asociativos
XP3	Índice de sostenibilidad

Anexo 3.

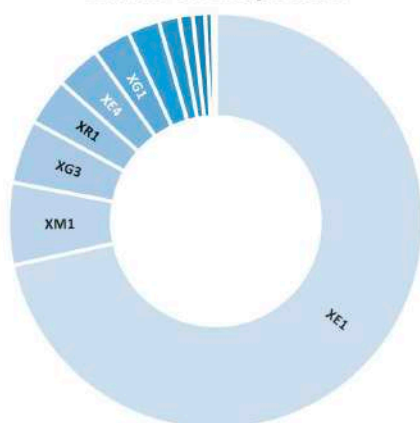
Gráficos agravamiento-esfuerzo para los territorios evaluados



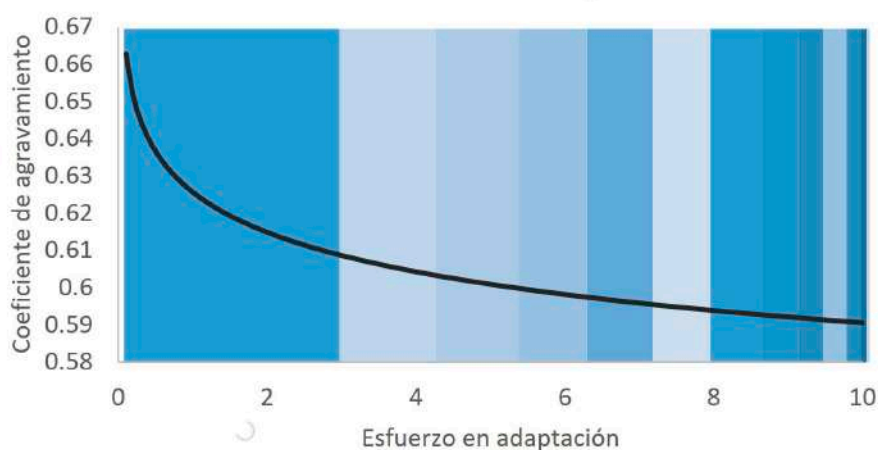
En ese anexo, se presentan los resultados de la simulación de adaptación basada en medidas de mitigación para de los municipios incluidos en el estudio. Estos resultados ofrecen una visión de cómo la focalización en los factores determinantes del agravamiento del riesgo puede disminuir el riesgo general. En resumen, se logra mejorar las condiciones del entorno que propician desastres y la acumulación de riesgos futuros. A continuación, se muestran los gráficos con los resultados por amenaza, siguiendo el enfoque propuesto para las medidas de adaptación del contexto.

Ayapel

Énfasis en adaptación



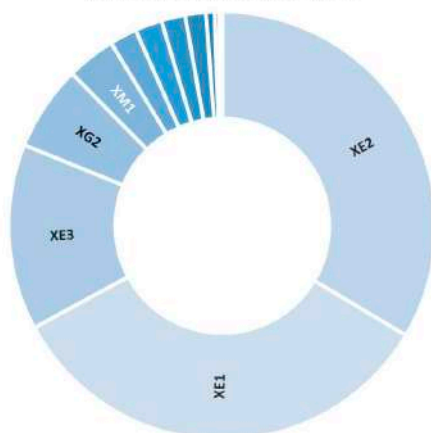
Esfuerzo vs. Coeficiente de agravamiento



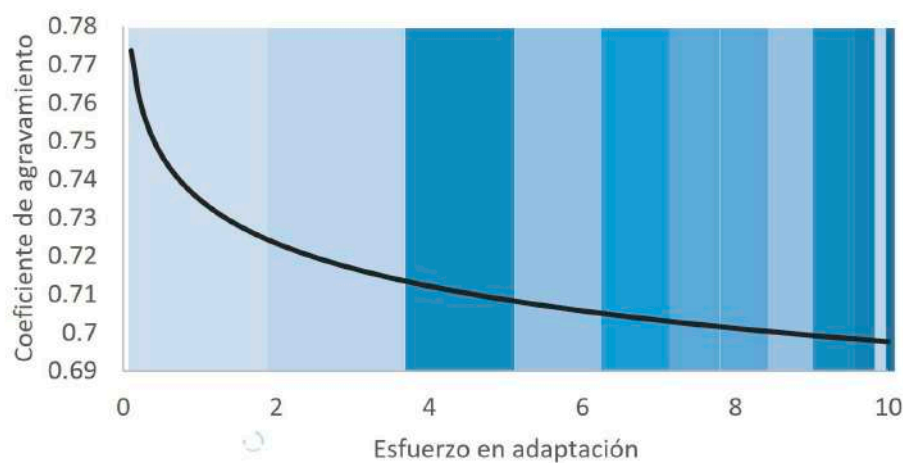
■ XE1 ■ XM1 ■ XG3 ■ XR1 ■ XE4 ■ XG1 ■ XG2

Guaranda

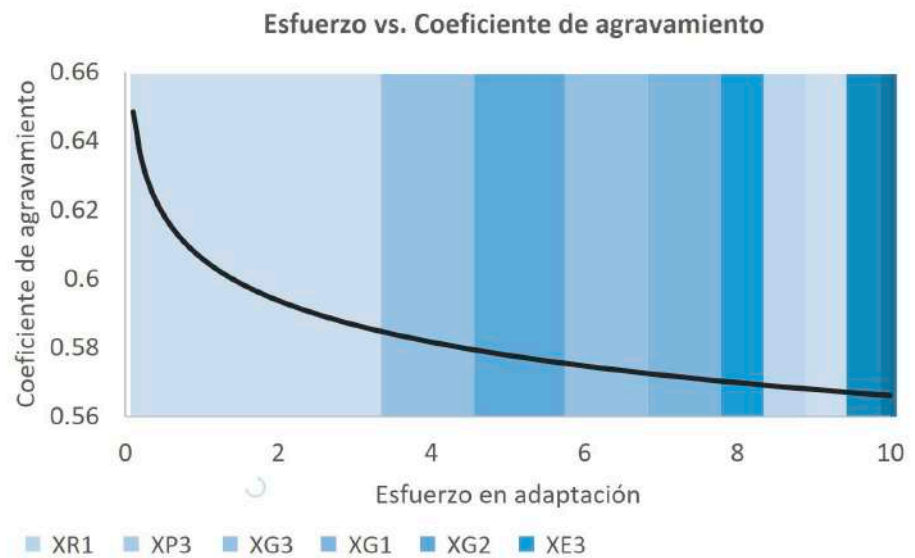
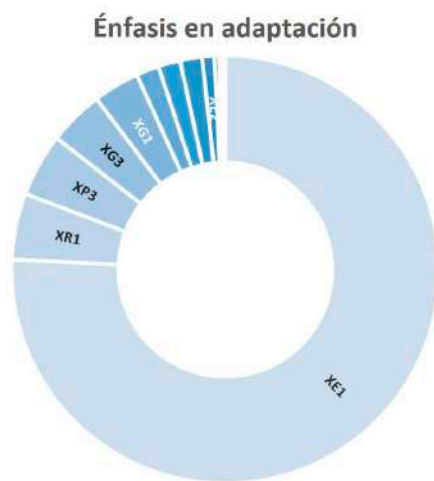
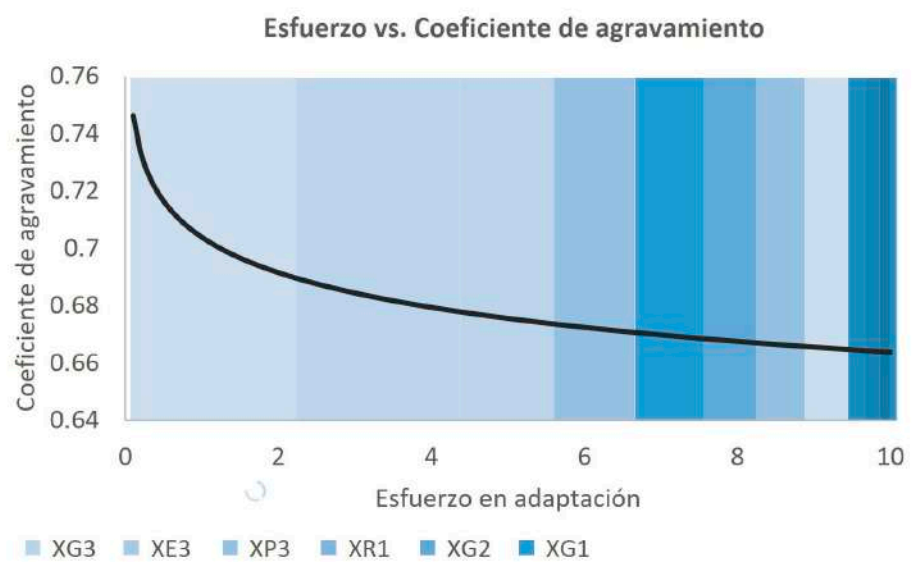
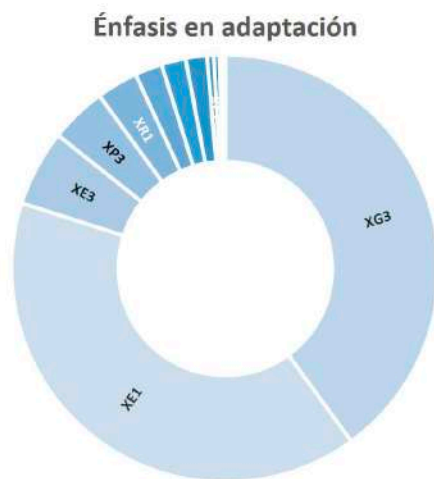
Énfasis en adaptación



Esfuerzo vs. Coeficiente de agravamiento

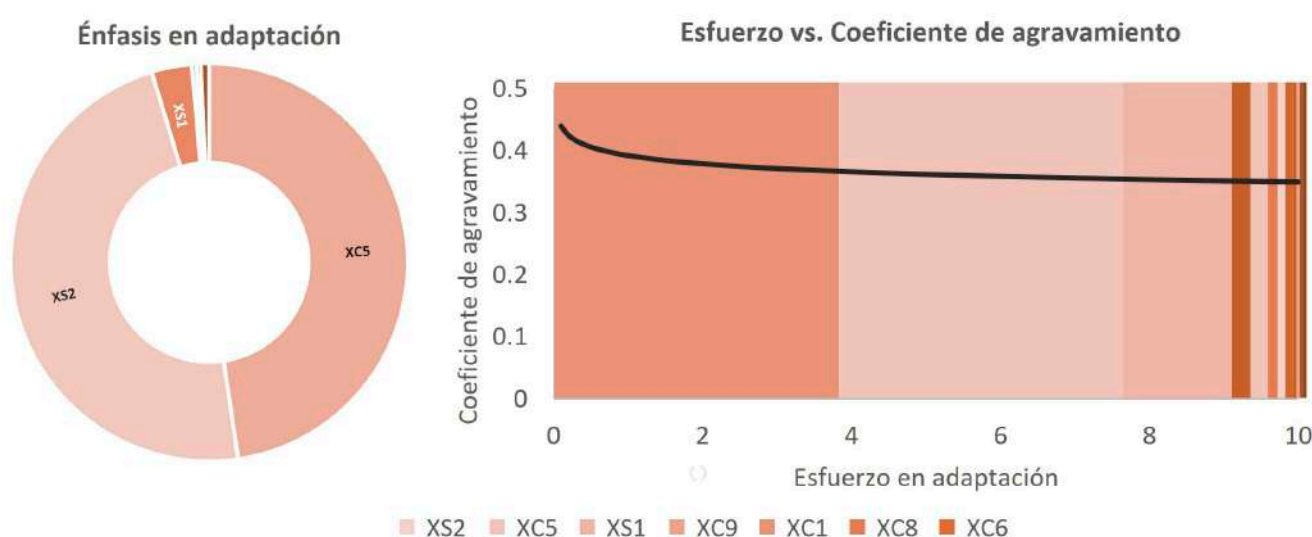


■ XE1 ■ XE2 ■ XE3 ■ XG2 ■ XM1 ■ XP2 ■ XR1

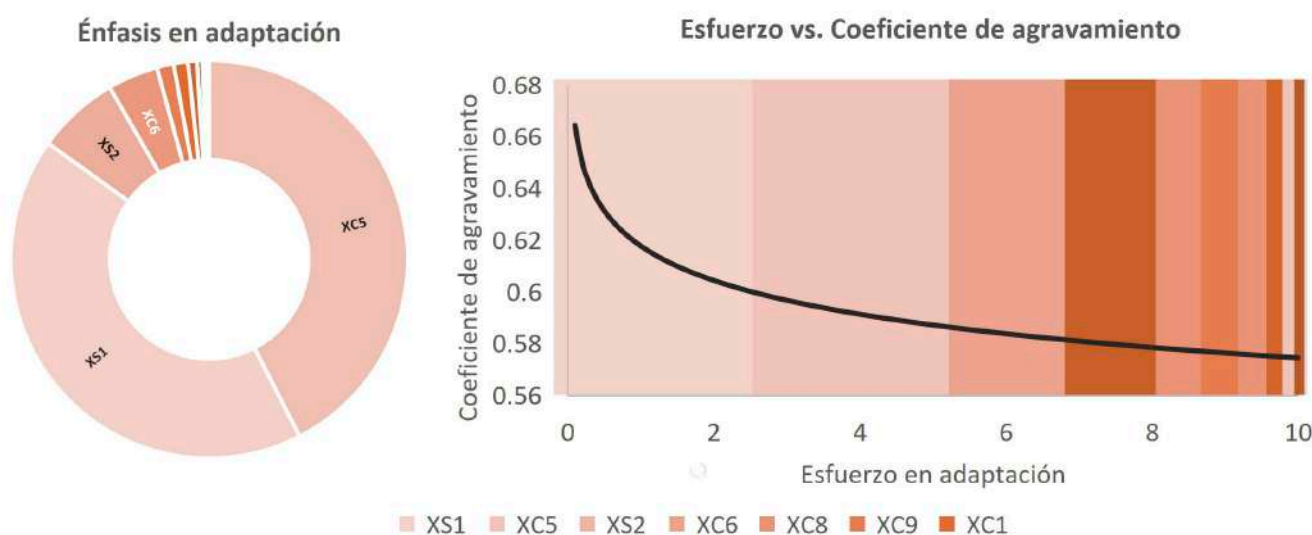
Magangué**San Marcos**

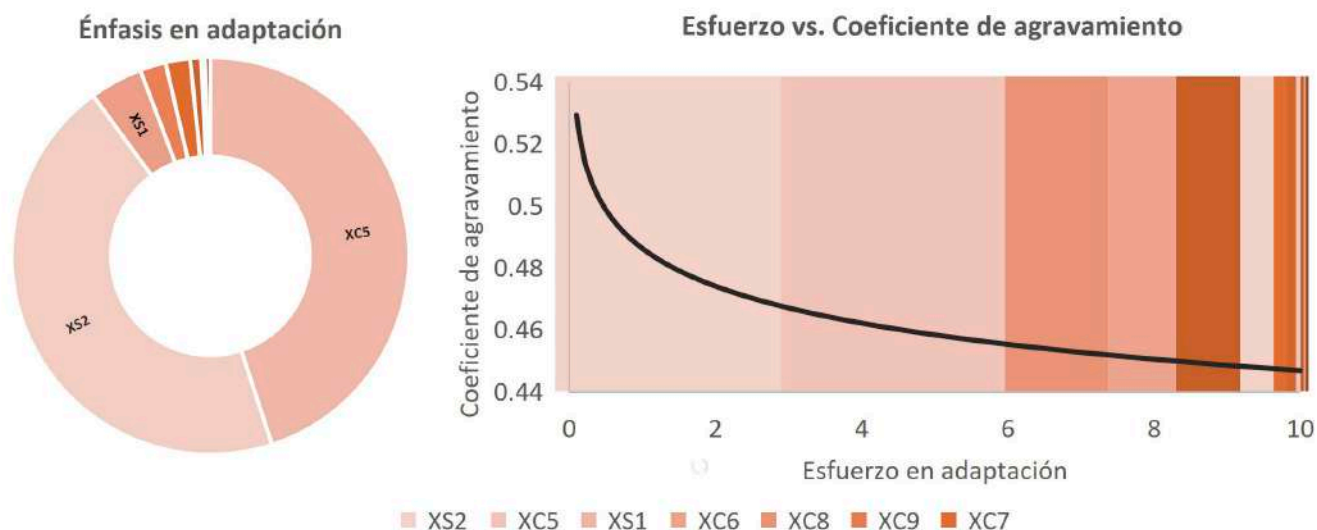
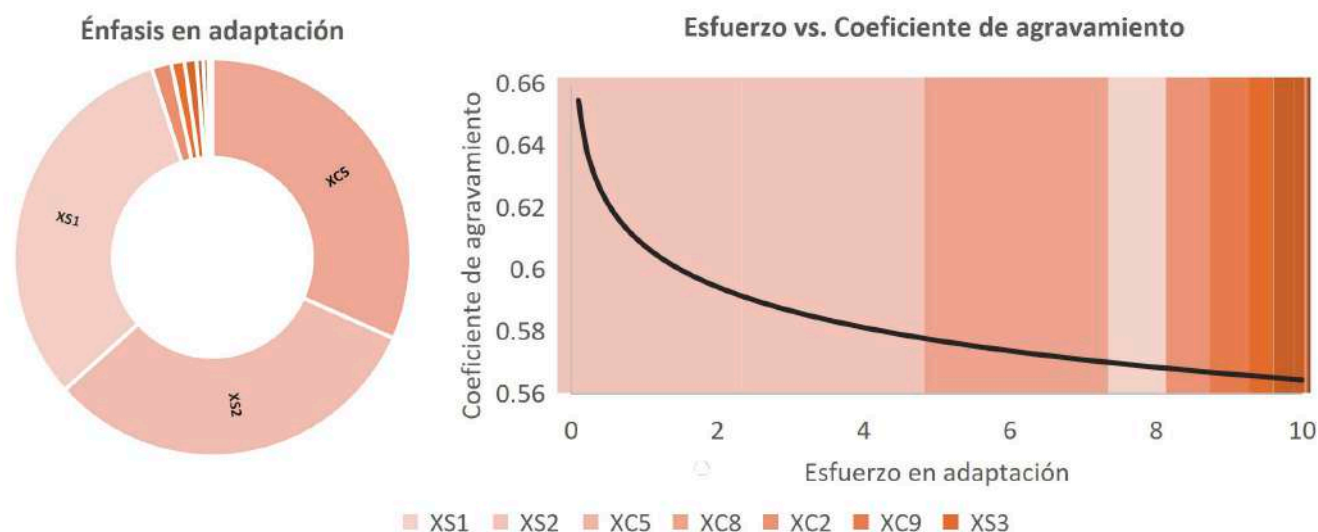
Según los resultados obtenidos, los cuatro municipios evaluados ante inundaciones deben enfocarse en estrategias de restauración de humedales y manglares. Es crucial fortalecer la reducción del riesgo basada en ecosistemas, aprovechando la biodiversidad y los servicios ecosistémicos disponibles para mitigar el impacto de las inundaciones en la región. En particular, para el caso de San Marcos, los resultados indican igualmente la necesidad de enfocarse en el fortalecimiento de la gestión del riesgo de desastres. Se requiere una mayor atención en la implementación de estrategias financieras de protección y en la consolidación de la institucionalización de políticas ambientales

Espinal



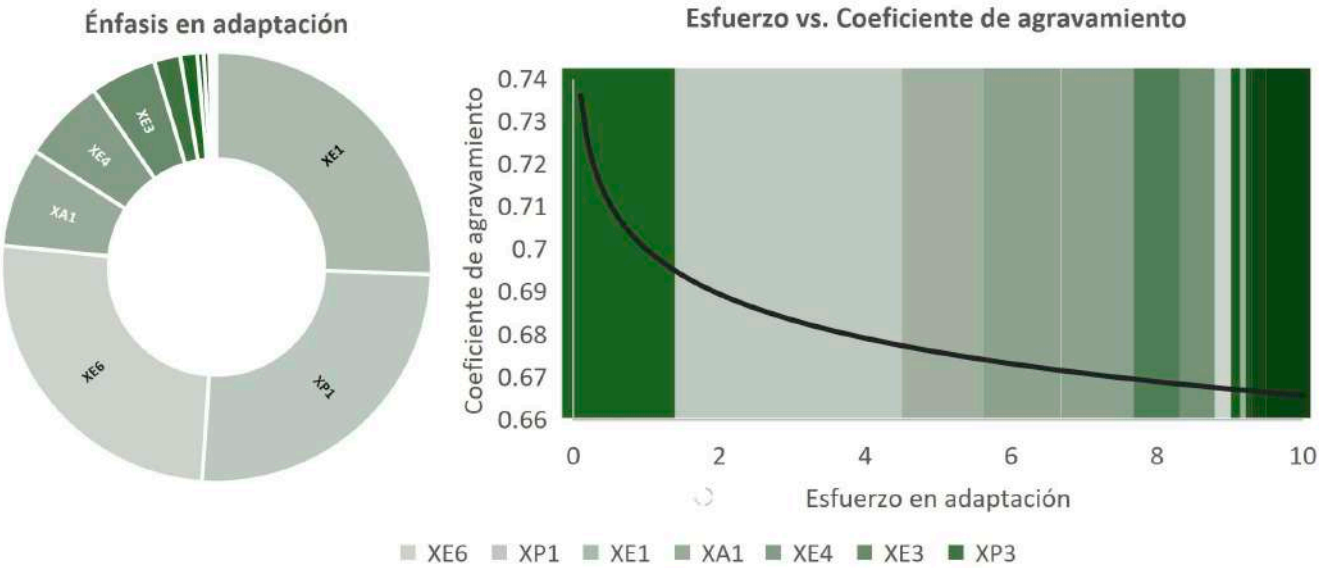
Guamo



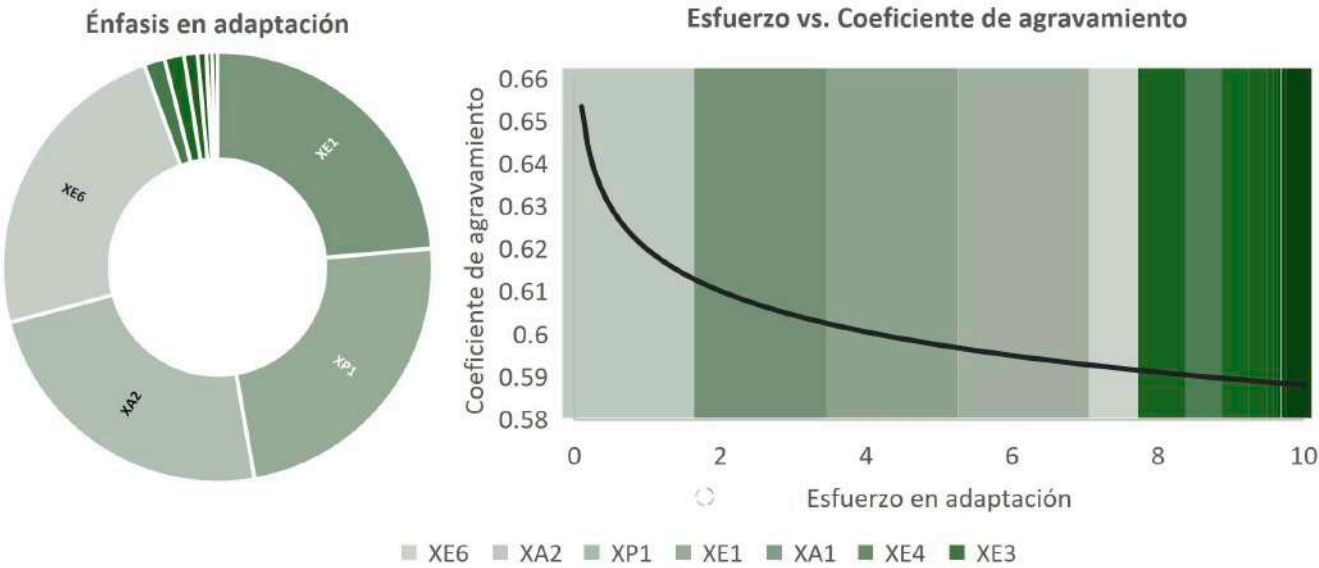
Lorica**San Onofre**

En cuanto a las sequías, los resultados muestran que tres de los cuatro municipios evaluados (Guamo, Lorica y San Onofre) necesitan priorizar el fortalecimiento de la gestión del riesgo. Esto implica la implementación de sistemas de alerta agroclimática y programas para mejorar las capacidades en el manejo de información agroclimática, con el fin de establecer sistemas de alerta temprana participativos. Además, en el municipio de Lorica, se observa la necesidad de promover programas de diversificación de la producción agrícola. Esto contribuirá a fortalecer la resiliencia del sector agrícola frente a las sequías y otros riesgos climáticos.

Cumaribo



Orocué

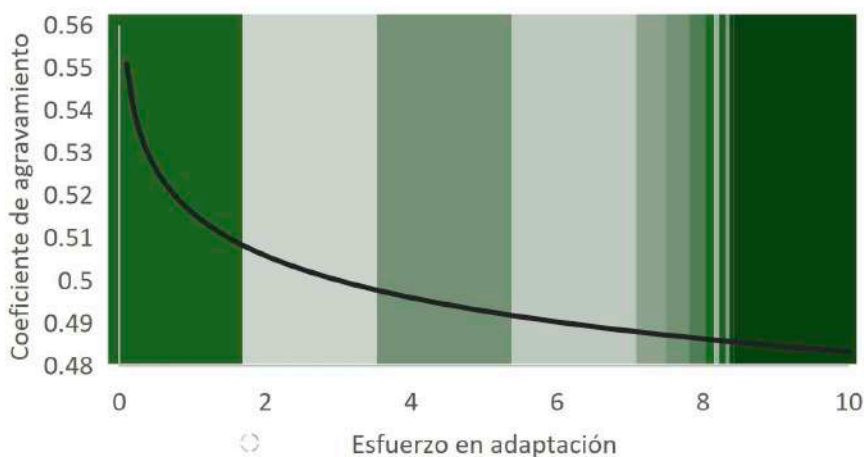


Palermo

Énfasis en adaptación



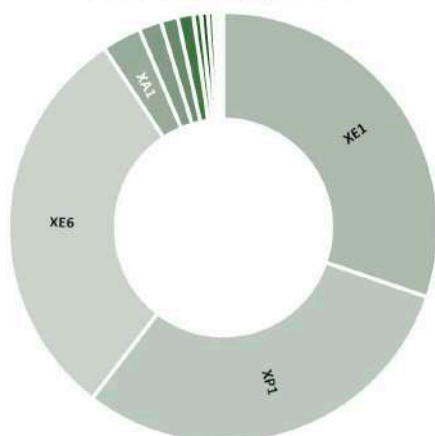
Esfuerzo vs. Coeficiente de agravamiento



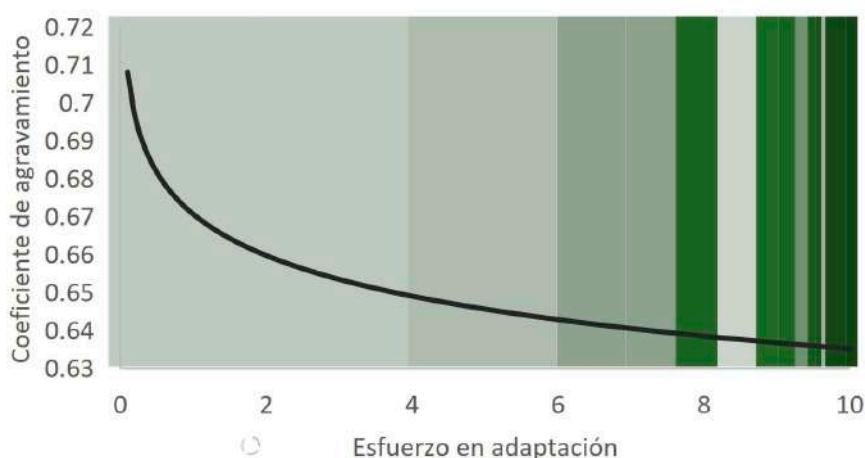
XE6 XA2 XP1 XE1 XC2 XA1 XE3

San Vicente del Caguán

Énfasis en adaptación



Esfuerzo vs. Coeficiente de agravamiento

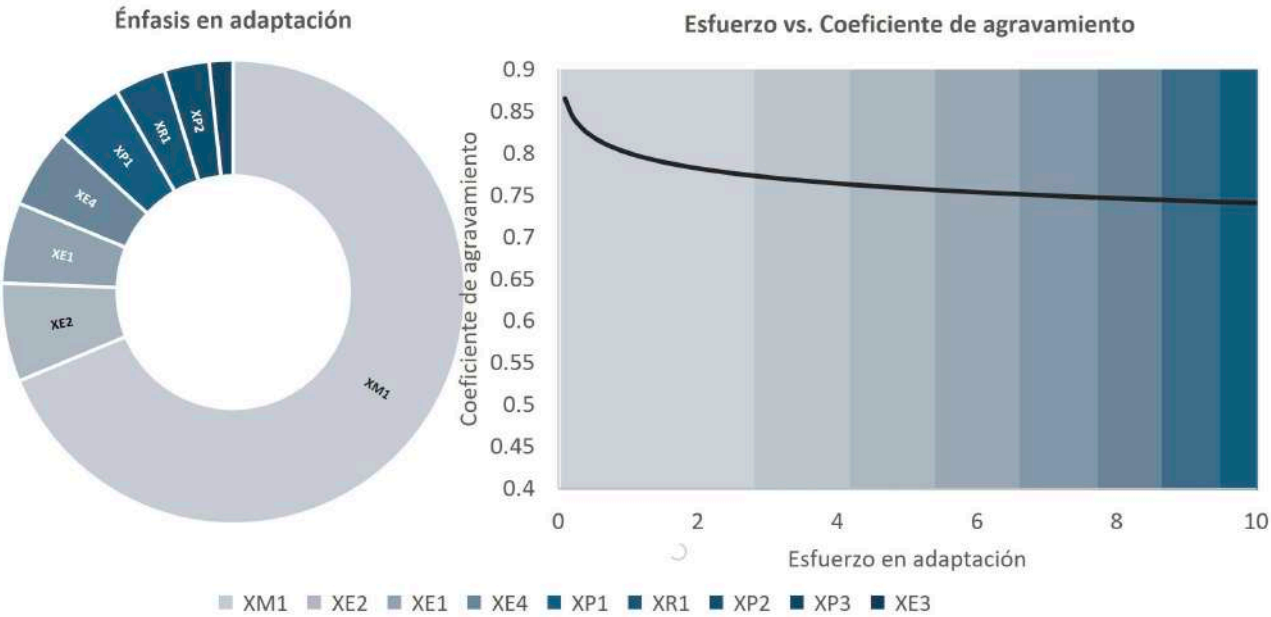


XE6 XP1 XE1 XA1 XE4 XC2 XP3

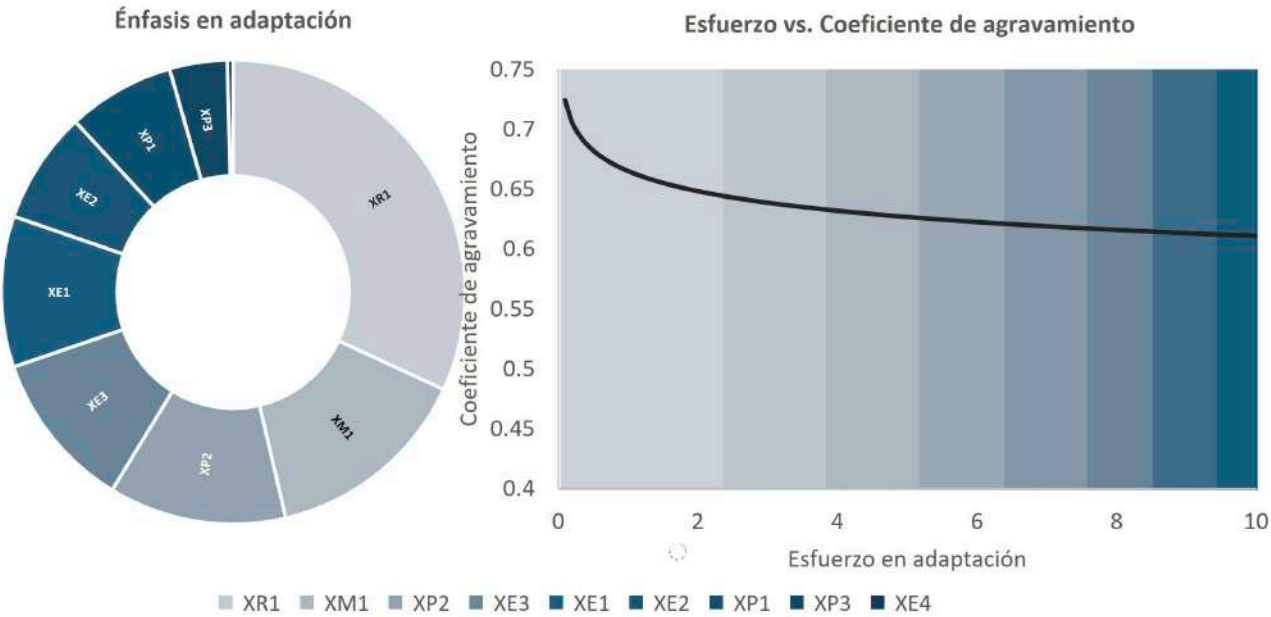
En el caso de los incendios forestales, es notable cómo los resultados resaltan la necesidad de priorizar el fortalecimiento de la implementación de la Estrategia Nacional del Ministerio de Ambiente para la educación, formación y sensibilización de diversos públicos sobre el cambio climático. Esto cobra una relevancia significativa dado que la mayoría de los incendios forestales en el país son de origen antrópico.

Además, es crucial en los cuatro municipios trabajar en la articulación e implementación de estrategias destinadas a alcanzar los objetivos de las políticas públicas para la prevención y respuesta ante incendios forestales. Este enfoque estratégico es esencial para mitigar los riesgos y los impactos de los incendios forestales, así como para promover una gestión más efectiva de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.

Manaure



Providencia

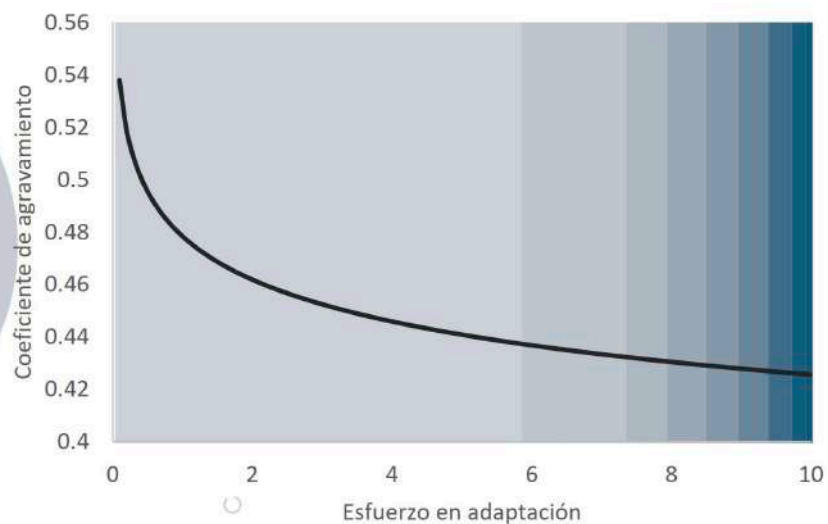


Riohacha

Énfasis en adaptación



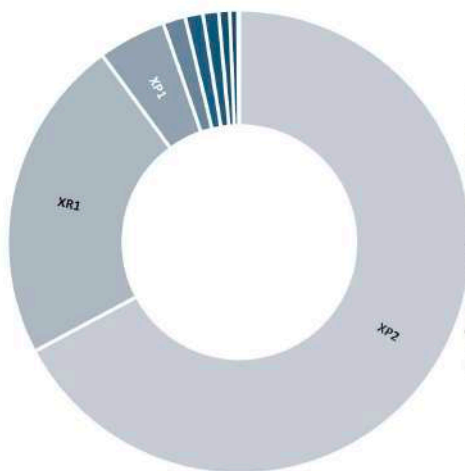
Esfuerzo vs. Coeficiente de agravamiento



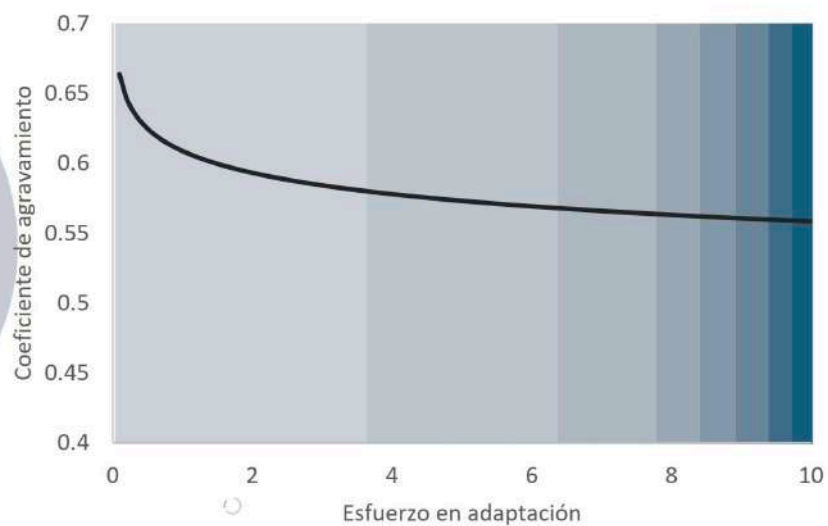
XP1 XP2 XP4 XP3 XR1 XE1 XE2 XM1 XE3

San Andrés

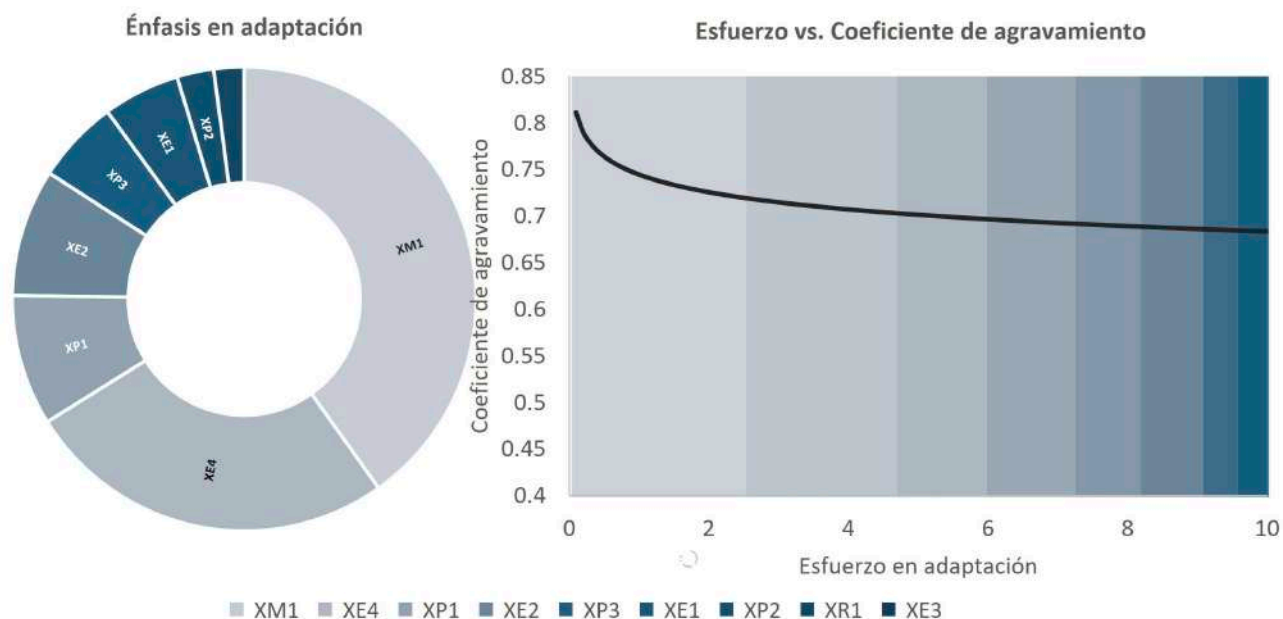
Énfasis en adaptación



Esfuerzo vs. Coeficiente de agravamiento

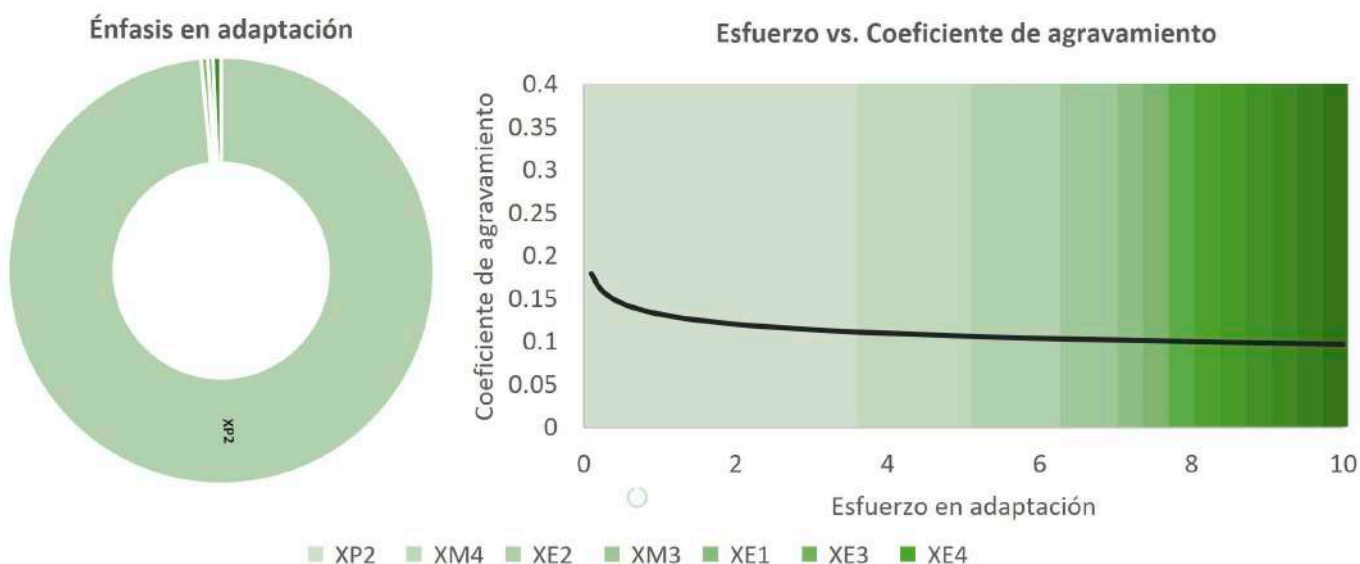


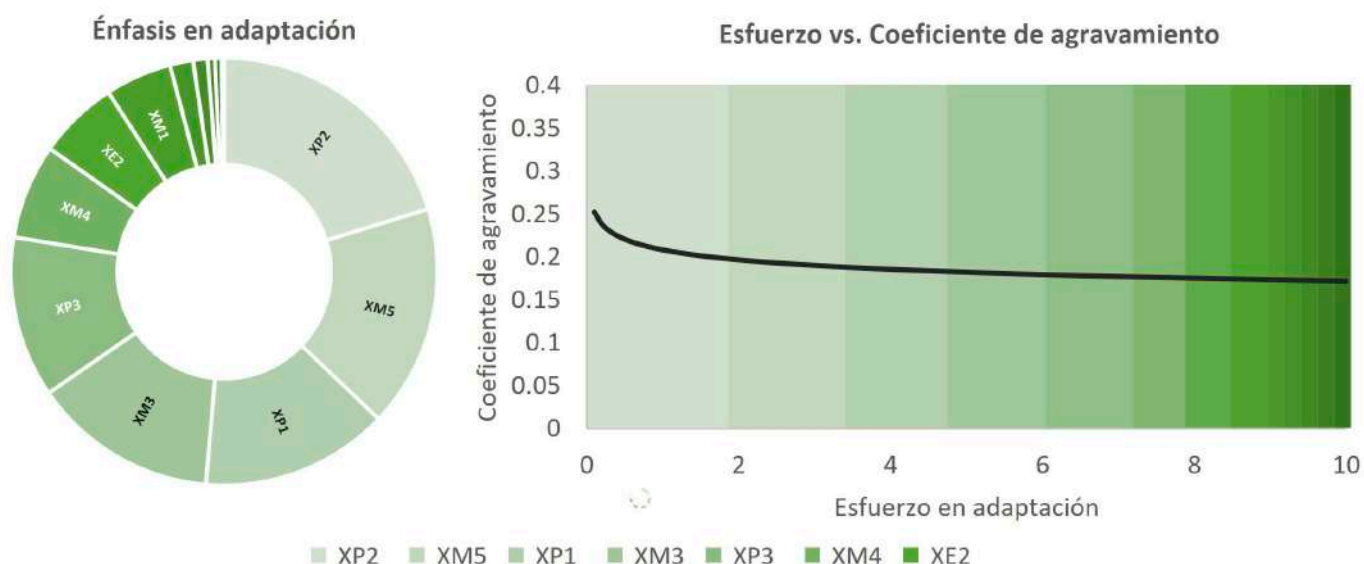
XP2 XR1 XP1 XM1 XE1 XE3 XE2 XP3 XE4

Uribe

En el caso de los huracanes, destaca la situación en Riohacha, donde un solo indicador contribuye significativamente al agravamiento del riesgo. Este hallazgo subraya la necesidad de mejorar la gestión del riesgo en el municipio y de realizar una planificación territorial más efectiva para mitigar la exposición y la vulnerabilidad frente a los daños causados por huracanes.

Asimismo, los resultados obtenidos en San Andrés señalan una necesidad de fortalecer las instituciones encargadas del desarrollo e implementación de medidas adecuadas y oportunas para la reducción del riesgo. Es esencial enforzar el uso de los instrumentos nacionales disponibles con este propósito, como las normativas para el diseño estructural resistente a huracanes en San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Bogotá

Manizales

Para la amenaza por deslizamientos, nótese como en Bogotá, el énfasis en medidas de integración y colaboración intermunicipal para el control de la expansión urbana y de la frontera agrícola y minera y el modelo de ocupación del suelo, tiene un alto impacto en la reducción del coeficiente de agravamiento del riesgo. Por otro lado, en Popayán y Manizales, los resultados sugieren, al igual que en Bogotá, un énfasis en medidas de integración y colaboración intermunicipal, sin embargo, en Popayán resalta la necesidad de fortalecer la gestión del riesgo para apoyar acciones de diseños de vías adaptados al clima y construcción de obras de reducción del riesgo vial.

