

Estudio de Riesgo Climático para la implementación de la E2050 de Colombia - Fase 2

CO-T3812-002

**Informe técnico con los resultados del
análisis de riesgo en el marco de RDM**

(Entregable 3)

Preparado para:



Ambiente



Mayo de 2024

Consultor

INGENIAR CAD/CAE Ltda.
Carrera 19A # 84-14 OF 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C., Colombia
www.ingeniar-risk.com



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	5
2	TOMA DE DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE PROFUNDA	6
2.1	INGENIERÍA DE CONTROL DEL RIESGO (RCE)	6
3	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN FÍSICA CONSIDERADAS	11
3.1	RIESGO POR INUNDACIÓN	12
3.1.1	EDIFICACIONES PALAFÍTICAS	13
3.1.2	REUBICACIÓN DE EDIFICACIÓN	15
3.2	RIESGO POR HURACÁN	16
3.2.1	REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL (FUERZAS DE VIENTO)	17
3.2.2	EDIFICACIONES PALAFÍTICAS	20
3.3	RIESGO POR DESLIZAMIENTOS	21
3.4	RIESGO POR SEQUÍA	23
3.4.1	INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO	25
3.4.2	MULCHING (MAÍZ Y YUCA)	25
3.4.3	TRANSICIÓN DEL SISTEMA TRADICIONAL AL TECNIFICADO (MAÍZ)	25
3.4.4	TRANSICIÓN DEL SISTEMA MANUAL AL MECANIZADO (ARROZ)	25
3.4.5	IMPLEMENTACIÓN DE VARIEDADES RESISTENTES	26
3.5	RIESGO POR INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL	26
4	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	29
4.1	INUNDACIÓN	29
4.1.1	MAGANGUÉ	29
4.1.2	AYAPEL	30
4.1.3	SAN MARCOS	31
4.1.4	GUARANDA	32
4.2	HURACÁN	33
4.2.1	SAN ANDRÉS	34
4.2.2	PROVIDENCIA	35
4.2.3	MANAURE	36
4.2.4	URIBIA	37
4.2.5	RIOHACHA	38
4.3	DESLIZAMIENTOS	39
4.3.1	BOGOTÁ	40
4.3.2	MANIZALES	41

4.3.3	CALDAS	42
4.3.4	CAUCA	43
4.4	SEQUÍA.....	44
4.4.1	ESPINAL	45
4.4.2	GUAMO	46
4.4.3	SAN ONOFRE	47
4.4.4	LORICA.....	48
4.5	INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL	48
4.5.1	SAN VICENTE DEL CAGUÁN	49
4.5.2	PALERMO	49
4.5.3	OROCUÉ.....	50
4.5.4	CUMARIBO	51
5	<u>INCORPORACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DEL CONTEXTO</u>	<u>52</u>
5.1	TIPOS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	52
5.1.1	INUNDACIONES.....	52
5.1.2	SEQUÍA	54
5.1.3	INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL.....	56
5.1.4	HURACANES.....	57
5.1.5	DESLIZAMIENTOS	59
5.2	PROCEDIMIENTO PARA PRIORIZAR MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	60
5.2.1	SELECCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE INDICADORES	61
5.2.2	RESULTADO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DEL CONTEXTO	79
6	<u>REFERENCIAS.....</u>	<u>92</u>
	<u>ANEXO 1. RESULTADOS DE ADAPTACIÓN DEL CONTEXTO PARA CALDAS Y CAUCA.....</u>	<u>95</u>
	MUNICIPIOS DE CALDAS	95
	MUNICIPIOS DE CAUCA	108

1 INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta el resultado de la evaluación probabilista del riesgo derivado del clima incorporando las medidas de adaptación seleccionadas. Se presenta el marco conceptual metodológico aplicado en este trabajo para la selección de las medidas óptimas de adaptación, dentro de un enfoque de toma robusta de decisiones. El problema de riesgo de desastres con cambio climático y la manera como las posibles intervenciones son más o menos efectivas para reducirlo, es abordado mediante ingeniería de control del riesgo, en donde es posible operar con la profunda incertidumbre inherente al problema, y buscar estrategias de adaptación que sean óptimas ante el total desconocimiento de las condiciones reales del riesgo y clima futuros.

Se definen medidas de adaptación a ser evaluadas, seleccionadas a partir del desarrollo de Talleres participativos en donde se convocaron múltiples instituciones colombianas del orden nacional con el fin de determinar la colección de acciones, tanto físicas como de contexto, a ser consideradas como medidas de adaptación. La manera como dichas medidas se combinan en estrategias de adaptación es también evaluada, derivando en una colección de posibles estrategias que, apelando al principio de gradualidad, permitan a los municipios de estudio, con el apoyo del gobierno de Colombia, decidir sobre qué nivel de adaptación es aceptable, o cuanta adaptación es suficiente, en función de la urgencia de las necesidades, los recursos disponibles y la factibilidad política dentro de la agenda de desarrollo del país.

La evaluación es realizada para todos los casos presentados en la Tabla 1, en la que se resumen la amenaza, portafolio de exposición y municipios de cálculo que hacen parte del alcance del estudio.

Tabla 1. Alcance de la consultoría

Amenaza	Sector	Portafolios	Ubicación (municipio)			
Huracán	Construcciones	Residencial, educación, salud, comercial, industrial, institucional	Archipiélago de San Andrés,		La Guajira	
			San Andrés	Providencia	Manaure	Uribia
					Riohacha	
Incendios forestales	Servicios ecosistémicos	Bosques de frontera agrícola	Huila	Casanare	Caquetá	Vichada
			Palermo	Orocué	San Vicente	Cumaribo
Deslizamientos	Infraestructura	Red vial primaria, secundaria, terciaria y local	Bogotá D.C.	Caldas	Caldas <small>(27 municipios)</small>	Cauca <small>(42 municipios)</small>
			Bogotá	Manizales		
Sequía	Agrícola	Maíz amarillo, maíz blanco, arroz de secano, arroz de riesgo, 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

2 TOMA DE DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE PROFUNDA

Tanto el riesgo catastrófico asociado al cambio climático como la manera como las medidas de adaptación modifican sus impactos, son estados hipotéticos cuya cuantificación exacta es imposible. Esto implica que la modelación del riesgo derivado del clima requiere de una cuantificación rigurosa de la incertidumbre, de lo contrario, no se está hablando de riesgo de desastres. Del mismo modo, la incorporación de medidas de adaptación que intervienen las condiciones que conducen a la existencia de riesgo, debe seguir un enfoque que permita conocer todas las posibles variaciones de la forma en que puede darse la intervención. No solo se trata de un problema fuertemente no lineal, sino profundamente incierto. A esto se le conoce como *incertidumbre profunda*.

Hacer frente a la incertidumbre profunda requiere de enfoques novedosos que faciliten el proceso de toma de decisiones, llevándolo más allá de la visión clásica determinista (incompleta e insuficiente) en la que el problema y su solución pueden ser perfectamente determinados, a una visión centrada en la incertidumbre, basada en los planteamientos de la conocida como ciencia postnormal, en donde se reconoce el vasto dominio de posibilidades como puede desarrollarse el problema, y se busca una solución que sea efectiva en la mayoría de futuros inciertos.

Recientemente varios autores han propuesto enfoques para abordar problemas con incertidumbre profunda y orientar la toma de decisiones (ver, por ejemplo, la recopilación dada en Marcahu et al. 2019). 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 métricas 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.

2.1 Ingeniería de Control del Riesgo (RCE)

Siguiendo los metaconceptos de la teoría de control, Bernal et al. (2021) plantean los lineamientos de la Ingeniería de Control de Riesgo (Risk Control Engineering – RCE), como metodología para la cuantificación de las posibles maneras como puede controlarse el riesgo de desastres a partir de diferentes tipos de intervención. 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. La 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.

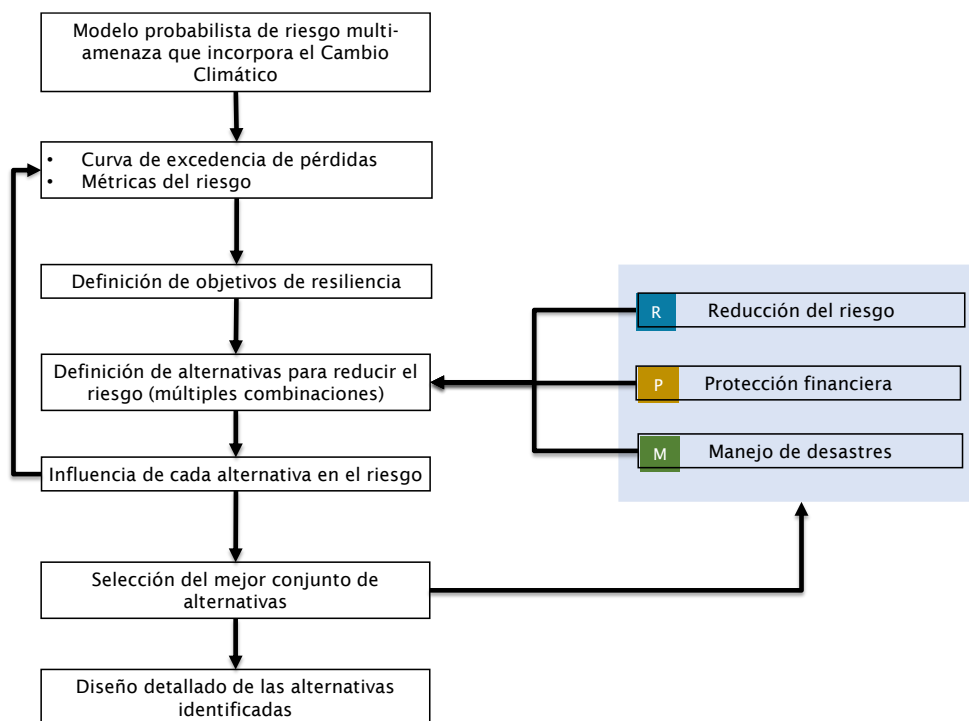


Figura 1. Proceso de Ingeniería de Control del Riesgo (RCE)

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). Esta métrica no se encuentra explícitamente indicada en el producto 2 de esta consultoría, dado que su interpretación es más compleja que otras métricas (como la PAE o la PML). No obstante, todas las métricas del riesgo se basan en el cálculo de la 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.

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.

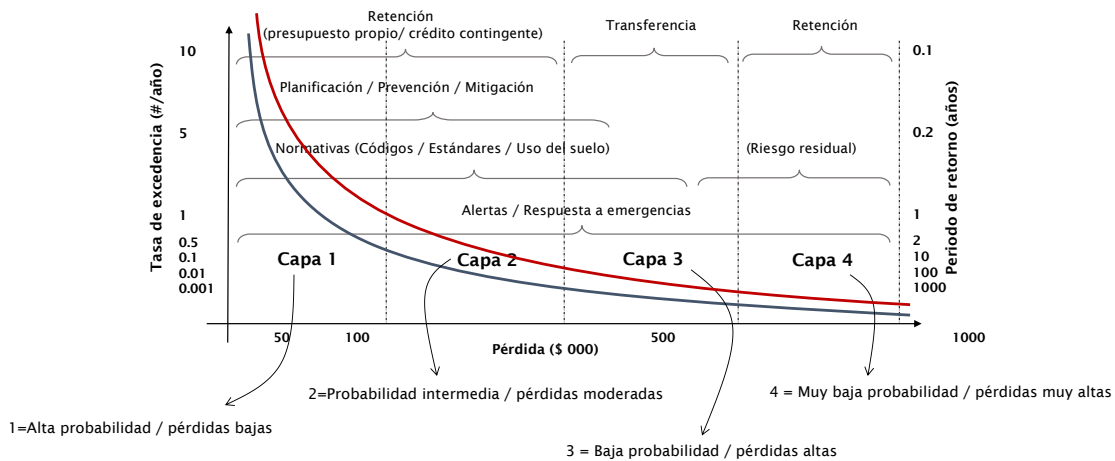


Figura 2. Ilustración de la estratificación de una CEP en un estado sin intervenir (curva roja) y el efecto en reducción del riesgo aplicando las acciones indicadas por estrato (curva azul).

La metodología RCE considera tres tipos de acciones o medidas de adaptación que pueden ser incorporadas en la modelación con el fin de medir su efectividad. Primero, acciones de *reducción del riesgo*, las cuales buscan disminuir la exposición y la vulnerabilidad, y en algunos casos especiales la amenaza. Estas son acciones de mitigación, prevención y planificación que concretamente corrigen la exposición o la vulnerabilidad creadas, o evitan la configuración de nueva exposición y vulnerabilidad, y en consecuencia reducen directamente la curva de excedencia de pérdidas.

Se consideran también medidas de *protección financiera*, las cuales buscan brindar los mecanismos necesarios para garantizar la liquidez y disponibilidad de recursos con los cuales puedan sufragarse los costos de los desastres. En estos mecanismos es usual transferir parte del riesgo a un tercero, que tiene la responsabilidad, a cambio de una compensación económica, de cubrir parte de las pérdidas con sus propios recursos. Si bien estas medidas no inciden directamente en la pérdida directa, si reducen la pérdida neta del responsable del riesgo.

Finalmente, las acciones de *manejo de desastres* permiten limitar los impactos totales una vez ha ocurrido el desastre. Los procesos de atención inmediata, así como la reconstrucción, recuperación y restitución de servicios esenciales, deben ser definidos en base al modelo de riesgo y tienen una incidencia importante en la reinstalación o no de las condiciones de exposición y vulnerabilidad preexistentes, de cara a eventos futuros.

Como se mencionó anteriormente, una estrategia de adaptación consiste en la combinación de múltiples medidas de adaptación. Puede definirse en términos de: i) las medidas que la componen; ii) la capacidad de reducción del riesgo de cada medida; y iii) el costo de implementación de cada medida. La incorporación de las medidas de adaptación en el modelo de riesgo se realiza modificando los aspectos que se espera sean modificados por la medida, por ejemplo:

- El reforzamiento estructural modifica la vulnerabilidad de las construcciones e infraestructura expuestas, reduciendo la potencial pérdida una vez ocurren los eventos de amenaza.

- Un proceso de reubicación cambia directamente la exposición, reduciendo el valor expuesto al evento. Los elementos son trasladados a otra ubicación, con exposición y vulnerabilidad diferentes a los originales.
- Un mecanismo de protección financiera reduce la pérdida para el responsable del riesgo, limitando las pérdidas netas como máximo a las porciones en retención.

La reducción del riesgo a un nivel aceptable puede lograrse por medio de una enorme cantidad de combinaciones de medidas de adaptación. La mejor combinación de medidas es usualmente muy difícil de establecer sin arbitrariedad. Por esta razón, en la RCE se establecen de forma estocástica múltiples posibles estrategias de adaptación con el fin de probar la efectividad de todas dentro del modelo de riesgo. Dado que la búsqueda aleatoria de la combinación óptima puede ser demasiado extensa, se emplea computación evolutiva con el fin de aproximarse a la estrategia o combinación de medidas que permitan reducir el riesgo a menor costo. A continuación, se resume el algoritmo genético de optimización implementado dentro de la RCE:

1. Se crean al azar un gran número de combinaciones de medidas de adaptación para poblar una primera generación de estrategias. Cada estrategia se considera un individuo. El genotipo de un individuo es el conjunto de medidas de adaptación que lo componen (ver Figura 3). Cada individuo tiene una capacidad diferente de reducir el riesgo. Aquel que reduzca el riesgo a un menor costo se considera el *Campeón* de la primera generación.

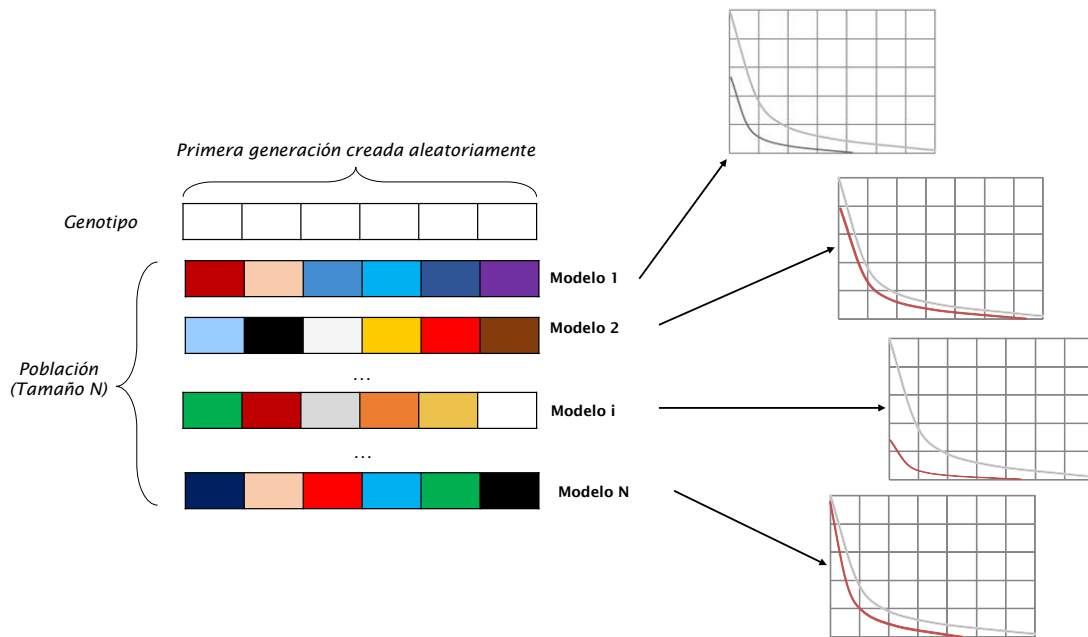


Figura 3. Ilustración de la creación de una primera generación de estrategias de adaptación. Los colores en los cuadros son para ilustrar las diferentes características dentro de cada medida.

2. El proceso evolutivo comienza de manera que se crean aleatoriamente nuevas combinaciones de alternativas como resultado del cruce y mutación de los individuos de la generación anterior. El proceso se repite por un cierto número de generaciones. El Campeón de la última generación tiene

la combinación óptima de medidas de adaptación. Esta combinación es un fuerte candidato para convertirse en la estrategia de adaptación a llevar a cabo.

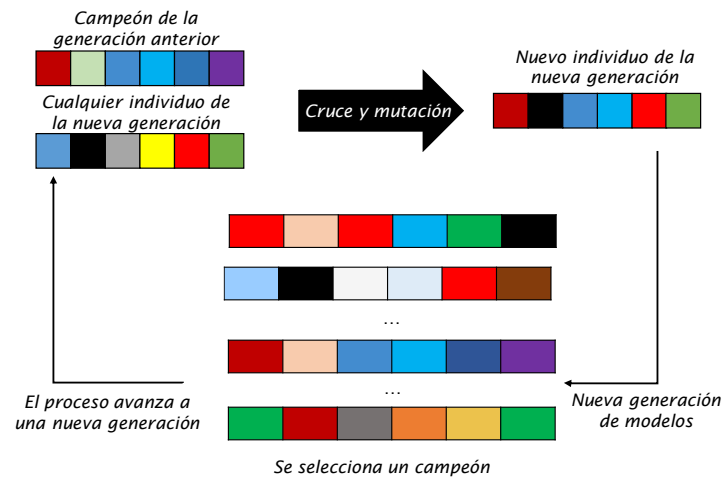


Figura 4. Ilustración del proceso evolutivo para la optimización de combinación de medidas de adaptación

Dado que se trata de un enfoque basado en optimización de búsqueda aleatoria, las estrategias de adaptación obtenidas del proceso pueden variar si se ejecuta varias veces. Es posible entonces definir un grupo de posibles estrategias de adaptación, que cumplen con los criterios de optimización u otros criterios restrictivos (como por ejemplo un determinado presupuesto máximo de inversión), con el fin de presentar un conjunto de posibles estrategias al tomador de decisiones. Es decir que, en un proceso de toma de decisiones robustas, la optimización es simplemente una herramienta de ayuda a la preselección de estrategias de adaptación dentro del vasto dominio de posibilidades.

3 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN FÍSICA CONSIDERADAS

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, el medio ambiente y el ambiente construido. Como resulta evidente de la evaluación de riesgo realizada para Colombia en este estudio (ver Producto 2 de esta consultoría), el riesgo de desastres, incluso bajo condiciones climáticas futuras desfavorables, depende en gran medida de las condiciones socioeconómicas del entorno en el cual ocurren los desastres, que se han ido configurando progresivamente mediante un proceso acumulativo que deriva inevitablemente en las actuales condiciones de exposición y vulnerabilidad. Es decir, el riesgo existente se ha conformado de manera totalmente independiente al calentamiento global y el cambio climático. Este último constituye un agravante que llegará a materializarse en el futuro una vez sean ciertas las modificaciones que las emisiones de gases de efecto invernadero causen al clima global.

Por lo tanto, y desde un punto de vista netamente práctico, es posible romper la tensión existente a nivel ontológico entre adaptación al cambio climático y gestión del riesgo de desastres, toda vez que las acciones resultantes de ambos buscan intervenir las causas que llevan a la existencia del riesgo y su efectividad puede ser medida en términos de la reducción del riesgo (Cardona, 2012). De esta manera es posible interpretar las métricas probabilistas del riesgo como indicadores intermedios en una cuantificación de mayor alcance, en la cual participan diferentes medidas de adaptación que impondrán condiciones para reducir en mayor o menor medida el riesgo en los portafolios evaluados. El nivel de reducción alcanzado se cuantifica en términos de una reducción en las métricas de riesgo.

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 trabajo, 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.

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. La Tabla 2 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.

Los costos de implementación de las diferentes medidas de adaptación, presentados en las secciones siguientes, 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 valores reales en un proyecto específico de adaptación, sino como costos indicativos a nivel de prefactibilidad.

Tabla 2. 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	<i>Reforzamiento estructural</i>
			<i>Edificaciones palafíticas (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 m)</i>
Incendios forestales	Servicios ecosistémicos	Bosques de frontera agrícola	<i>Mejoramiento de la capacidad para combatir el fuego</i>
Deslizamientos	Infraestructura	Red vial primaria, secundaria, terciaria y local	<i>Reducción de la susceptibilidad por tramo</i>
Sequía	Agrícola	Maíz amarillo, maíz blanco, arroz de secano, arroz de riesgo, yuca	<i>Mulching</i>
			<i>Instalación de sistemas de riego</i>
			<i>Transición de sistema tradicional a tecnificado</i>
			<i>Transición de sistema manual al mecanizado</i>
Inundación	Construcciones	Residencial, educación, salud, comercial, industrial, institucional	<i>Implementación de variedades resistentes</i>
			<i>Edificaciones palafíticas (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 m)</i>
			<i>Reubicación de edificación</i>

Apelando al principio de gradualidad, como principio orientador de la gestión del riesgo de desastres, no se considera factible que los procesos de adaptación que se deriven de la selección de una estrategia óptima puedan ser plasmados directamente en un plan de acción debido a la capacidad de ejecución financiera y técnica de las instituciones colombianas. En este sentido, se han establecido diferentes niveles de adaptación, con el fin de proveer al Gobierno de Colombia de una cuantificación de las implicaciones de una mayor o menor adaptación sobre el riesgo derivado del clima, pero dejando abierta la posibilidad a intervenciones graduales que, en el largo plazo, lleven al país a un nivel de riesgo aceptable. Por esta razón, en el proceso de encontrar un óptimo en la combinación de medidas de adaptación, se incluye siempre la posibilidad de no implementar ninguna medida.

3.1 Riesgo por inundación

En este caso, la evaluación de medidas de adaptación se hizo en los municipios de Magangué (Bolívar), Ayapel (Córdoba), San Marcos y Guaranda (Sucre), que pertenecen al sector conocido como la Mojana, al norte de Colombia. Se seleccionó el portafolio de las edificaciones de estos 4 municipios, las cuales pertenecen a los sectores: residencial, salud, educación, comercial, industrial e institucional, cubriendo las zonas urbanas y rurales en toda el área de los municipios.

Sobre este portafolio se evalúan dos medidas de adaptación: vivienda palafítica y reubicación de vivienda. En este caso, todas las medidas consideradas son de reducción del riesgo. La Tabla 3 describe cada medida de adaptación, los parámetros que la caracterizan y el costo asumido de implementación. Cada medida de adaptación considerada afectará de diferente forma el resultado de riesgo. Esto depende de la manera como se incorpora el efecto de la medida en el modelo. En las siguientes secciones se detallan los supuestos de modelación para incorporar estas medidas en el modelo probabilista de riesgo.

Tabla 3. Medidas de adaptación a ser evaluadas para inundación.

Medida de adaptación	Descripción	Parámetros	Costo
Edificación palafítica	Edificaciones construidas sobre una estructura de palafitos, de tal manera que el nivel de piso de la edificación se encuentra a una cierta altura sobre el nivel del terreno natural.	Alturas de palafito de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 metros. La altura adecuada se establece en función de la ubicación de cada edificación en el área de estudio.	\$ 61 COP millones / vivienda El costo se estableció en 47 SMMLV (Cardona, 2016), que corresponde aproximadamente al costo de una edificación palafítica nueva de interés prioritario.
Reubicación de edificación	Edificaciones en zona de alto riesgo por inundación, que son reubicadas en un lote cercano, con una baja o nula amenaza de inundación.	Se asume que las edificaciones son trasladadas a una ubicación con baja o nula amenaza por inundación	\$ 122 COP millones / vivienda El costo se estableció en aproximadamente el doble de una edificación palafítica nueva de interés prioritario, con el fin de considerar otros costos asociados a la reubicación como lote, servicios, urbanismo, etc. (DNP, MinAgricultura, Banco Agrario, 2017)

3.1.1 Edificaciones palafíticas

El uso de edificaciones palafíticas es una de las medidas de adaptación más usadas a nivel mundial en regiones propensas a inundaciones. Se habilita el terreno para la construcción permitiendo la ocurrencia de inundaciones sin afectación a sus ocupantes y sus contenidos. Desde el punto de la modelación, una edificación a nivel del terreno pasa a ser palafítica mediante la asignación de una función de vulnerabilidad diferente. Es posible que ambas edificaciones sufran daños similares una vez el nivel de agua alcance el nivel de piso, pero en la edificación palafítica ese nivel de piso es mucho más difícil de alcanzar. La Figura 5 ilustra esta diferencia entre una edificación a nivel del terreno y una palafítica.

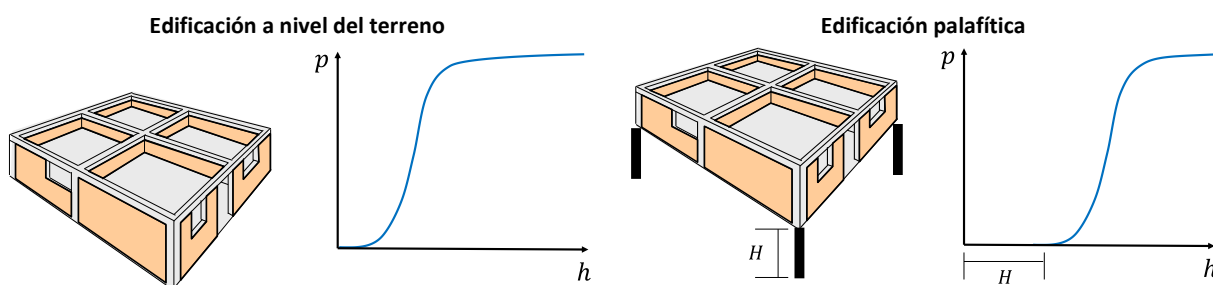


Figura 5. Ilustración de la diferencia en la modelación de la vulnerabilidad entre una edificación a nivel del terreno y una palafítica con altura de palafitos H .

Como se ilustra en la Figura 5, una edificación de determinado sistema constructivo, que sea palafítica, tendrá esencialmente la misma función de vulnerabilidad de una edificación del mismo sistema a nivel del terreno, pero desplazada una distancia H hacia la derecha, en donde H corresponde a la altura de los palafitos. Esta medida protege a la edificación de las inundaciones hasta máximo una altura H , de tal manera que si la inundación supera este valor (i.e. $h \geq H$) empezarán a ocurrir daños y pérdidas en la edificación. La

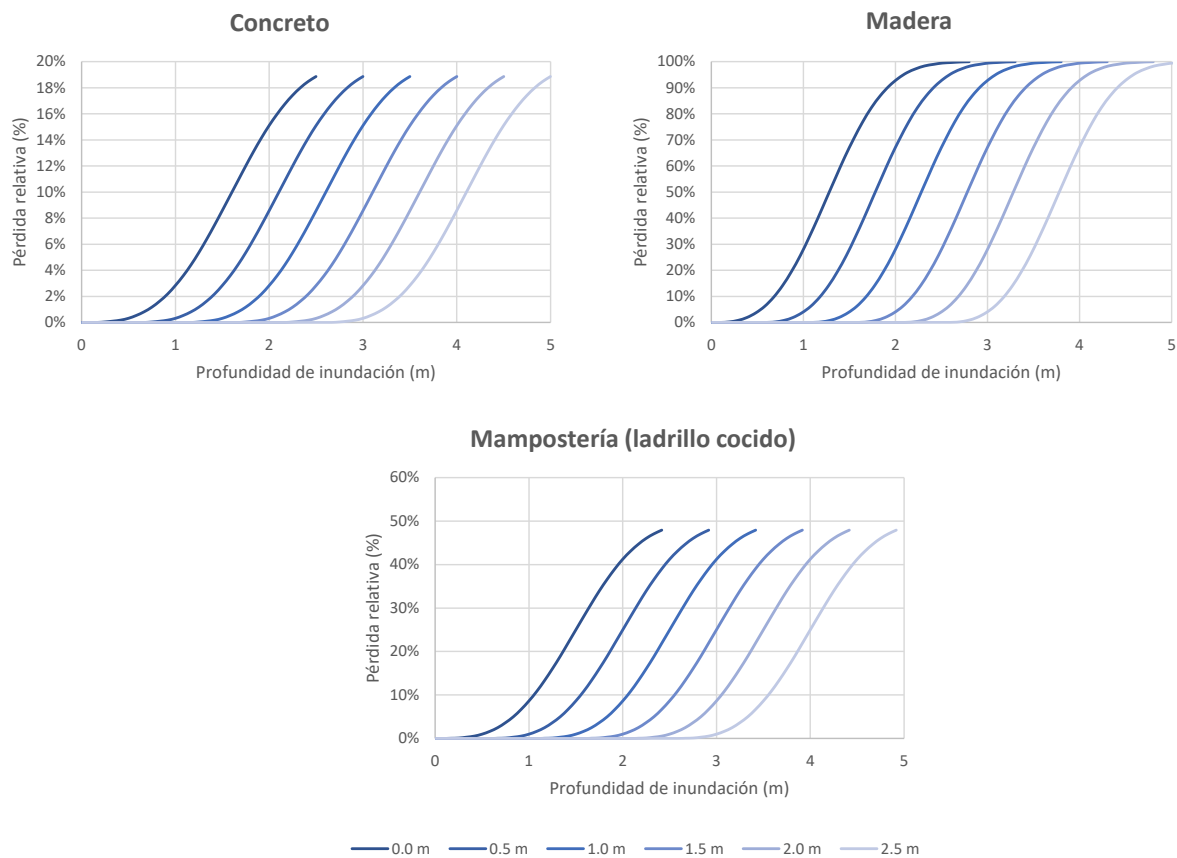
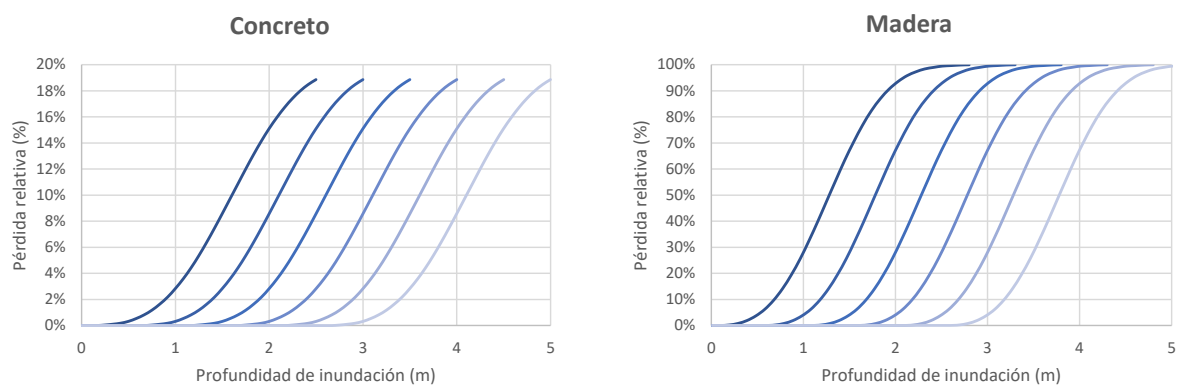


Figura 6. muestra la colección de funciones de vulnerabilidad para edificación palafítica que se emplearon en la modelación. Se consideraron diferentes alturas de palafitos: 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 metros sobre el nivel del terreno.



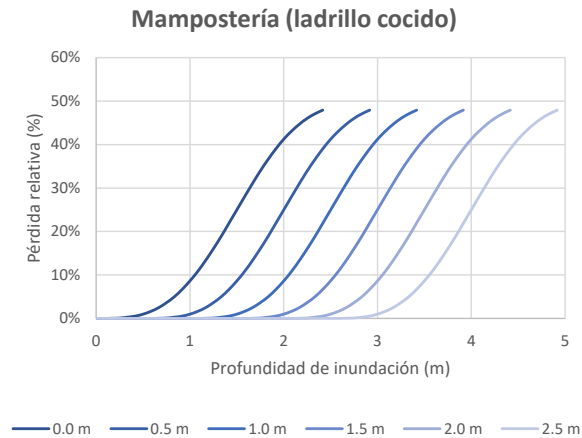


Figura 6. Funciones de vulnerabilidad para edificación palafítica con diferentes alturas de palafitos, según el material de la superestructura.

Siguiendo los lineamientos dados por la guía “Lineamientos para la Construcción de Vivienda Palafítica” (DNP, 2016), la edificación palafítica se considera con subestructura (palafitos) en madera o concreto sobre cimentación superficial de zapatas. A nivel de superestructura se consideran edificaciones en concreto, muros de mampostería (ladrillo cocido) y madera. Se asume que los sistemas estructurales basados en mampostería de tierra o material de desecho que sean intervenidos como edificación palafítica pasan a ser de mampostería de ladrillo cocido o de madera, respectivamente. No se realizaron consideraciones especiales para edificaciones con valor patrimonial.

Las alturas de los palafitos que se asignan a cada elemento expuesto durante la modelación se establecen a partir del valor de altura de inundación para 500 años de periodo de retorno en el sitio del elemento. Esto determina un nivel de diseño operativo para los palafitos, por lo que solo los eventos que superen la altura de inundación de 500 años causarán pérdidas en las edificaciones.

3.1.2 Reubicación de edificación

Los procesos de reubicación son difíciles de implementar y tienen usualmente una tasa de éxito muy baja, debido al impacto que causa en la población el cambio en sus condiciones de vida. No obstante, es una medida efectiva en reducir la pérdida para edificaciones en zonas de alto riesgo. El efecto de una reubicación se simula mediante el traslado de las edificaciones reubicables a zonas de amenaza baja o nula dentro del mismo municipio. La factibilidad o no de usar el terreno al cual son hipotéticamente reubicadas no se verifica en esta modelación. Una vez reubicadas, las edificaciones pasan a tener una condición de amenaza diferente a la original, reduciendo así las pérdidas.

La incorporación de la reubicación de edificaciones en el modelo de riesgo se implementa mediante las siguientes reglas:

- Las edificaciones reubicables se definen como edificaciones en zonas de amenaza donde la altura de inundación de 500 años de periodo de retorno supere 2 metros.

- Se deben acumular un número mínimo de 50 edificaciones reubicables en un municipio para proceder a su reubicación. En caso contrario, las edificaciones se tratan como palafíticas a máximo 2 metros.
- La reubicación se restringe a los límites geográficos del municipio en el cual se encuentran las edificaciones reubicables.
- El lote de reubicación se establece dentro de las áreas de amenaza nula o baja (menor a 0.5 metros para 500 años) del municipio. El lote debe tener un área de mínimo 2 veces el área total estimada de las edificaciones a reubicar.
- En caso de no encontrar un lote con las características indicadas, progresivamente se evalúan terrenos con mayores niveles de amenaza, sin sobrepasar los 2 metros para 500 años.
- No se hace ninguna consideración con respecto a las características del lote, facilidad de acceso, factibilidad técnica, actuales propietarios, etc.

Siguiendo estos criterios generales, las edificaciones se reubican y se define su altura final de palafitos de la misma forma como se indica en la sección 3.1.1.

3.2 Riesgo por huracán

Se seleccionó el portafolio 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. Sobre este portafolio se evalúan tres medidas de adaptación: reforzamiento estructural ante fuerzas de viento, edificaciones palafíticas (sobre plataformas) y la reconstrucción de Providencia con transformación (evitando reconstruir la vulnerabilidad preexistente). En este caso, las dos primeras medidas son de reducción del riesgo, mientras que la tercera es de manejo de desastres, asociada al desastre por el paso del huracán Iota en 2020 específicamente. La Tabla 4 describe cada medida de adaptación, los parámetros que la caracterizan y el costo asumido de implementación.

Tabla 4. Medidas de adaptación a ser evaluadas para huracán.

Medida de adaptación	Descripción	Parámetros	Costo
Reforzamiento estructural	Reforzamiento de edificaciones que permitan el cumplimiento de diseño estructural resistente a huracanes.	Transición de lo especificado en la NSR 10 a lo indicado en el ASCE 7-16, usando las velocidades de diseño propuestas en esta consultoría.	55% del valor de reposición de cada edificación¹ Los valores de reposición fueron estimados en la modelación del riesgo presentada en el Producto 2 de esta consultoría. Se estima que el reforzamiento puede costar del orden del 55% del valor original del inmueble.
Edificaciones palafíticas (plataformas)	Edificaciones sobre una estructura palafítica, de tal manera que exista una altura libre entre la rasante del terreno y el primer nivel de la edificación, para disminuir las pérdidas por marea de tormenta.	Se establecen plataformas con alturas de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 metros respecto a la rasante del terreno, para las edificaciones expuestas a la marea de tormenta.	Para: Altura de 0.5 metros = 27% del valor de reposición de cada edificación Altura de 1.0 metros = 30% del valor de reposición de cada edificación

¹ Es usual en ingeniería estructural asociar niveles de daño de entre el 40% y 60% con una pérdida total o una alta probabilidad al colapso, por lo cual se asume un 55% como límite máximo de costo para el cual se justifica un reforzamiento.

			<p>Altura de 1.5 metros = 33% del valor de reposición de cada edificación</p> <p>Altura de 2.0 metros = 36% del valor de reposición de cada edificación</p> <p>Los valores de reposición fueron estimados en la modelación del riesgo presentada en el Producto 2 de esta consultoría. Se estima que la construcción de las plataformas puede costar entre el 27% al 36% para alturas de palafito de 0.5 metros a 2.0 metros.</p>
Reconstrucción con transformación	Reconstrucción de las edificaciones bajo la premisa de la reducción de la vulnerabilidad existente, ante viento (reforzadas) y marea de tormenta (plataformas)	Para la reconstrucción, se consideran los parámetros de las medidas de reforzamiento y de plataformas.	<p>125% del valor de reposición de cada edificación</p> <p>Los valores de reposición fueron estimados en la modelación del riesgo presentada en el Producto 2 de esta consultoría. Se estima que el costo de diseñar y construir vivienda resistente a huracanes supera moderadamente el costo que implicó su construcción original, dado que se considera el costo adicional de reducir la vulnerabilidad ante viento y marea de tormenta.</p>

3.2.1 Reforzamiento estructural (fuerzas de viento)

Las fuerzas de viento imponen una condición de presiones especial a las edificaciones, causando tanto presiones positivas como negativas (succión), siendo usualmente las presiones negativas las más dañinas para el inmueble. Desde el punto de vista estructural, las presiones asociadas al campo de viento deben ser cuantificadas de forma apropiada para establecer las condiciones necesarias de resistencia del sistema estructural principal. Las fuerzas de diseño se determinan en Colombia según lo establecido en la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR 10 (AIS, 2010) la cual establece los requisitos mínimos de diseño y construcción con el fin de lograr un mismo nivel de seguridad a todas las edificaciones del país. Si bien la NSR 10 se centra en los efectos de los terremotos en las edificaciones, el capítulo B.6 provee una metodología de cuantificación de fuerzas de viento. Lamentablemente, la NSR 10 subestima de manera importante la velocidad de viento de diseño, especialmente en el archipiélago de San Andrés y Providencia, pero también en la zona norte del departamento de la Guajira. La Figura 7 muestra las velocidades de viento de diseño exigidas (para ráfagas de 3 segundos) por la NSR 10 en el territorio nacional. San Andrés y Providencia se clasifica en zona 5 de amenaza eólica, con una velocidad básica de diseño de 130 km/h y la parte norte de la Guajira se clasifica en zona 3 de amenaza eólica, con una velocidad básica de diseño de 100 km/h.

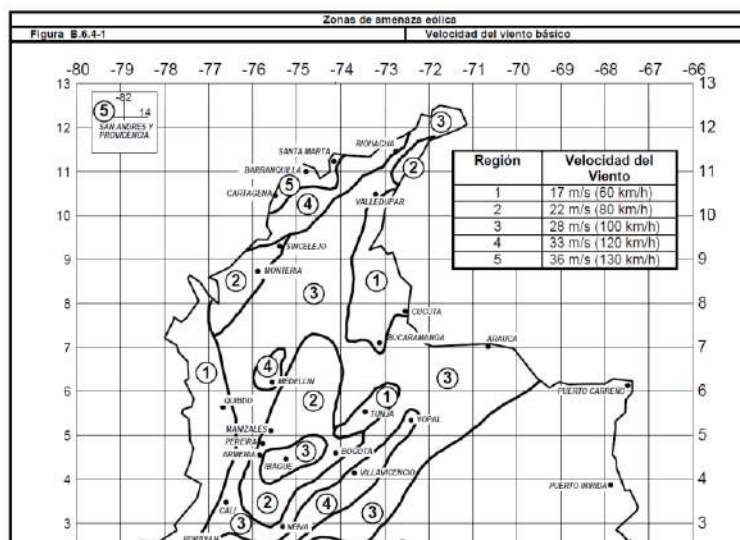


Figura 7. Mapa de amenaza eólica de la NSR 10.

Una velocidad de diseño en ráfaga de 3 segundos de 130 Km/h es muy inferior a lo que pueden causar los huracanes en el archipiélago, y que se evidenció durante el paso del huracán Iota. Es por esta razón que, como parte del producto 2 de esta consultoría, se definieron velocidades de viento para diseño estructural resistente a huracanes para San Andrés, Providencia y Santa Catalina, siguiendo lo exigido por el estándar ASCE 7/16, el cual reglamenta el diseño y construcción de edificaciones en zonas propensas a huracanes en los Estados Unidos, y es la base de múltiples códigos de construcción usados por países en la región Caribe (CUBiC, OECS, IBC, etc.). La Figura 8 muestra el mapa de velocidades del viento de diseño calculado en el producto 2 de esta consultoría, para la categoría de riesgo II del ASCE 7/16 (que corresponde a edificaciones residenciales), el cual indica los valores de viento para 700 años de periodo de retorno. Cabe anotar que las velocidades indicadas incorporan el efecto del cambio climático.

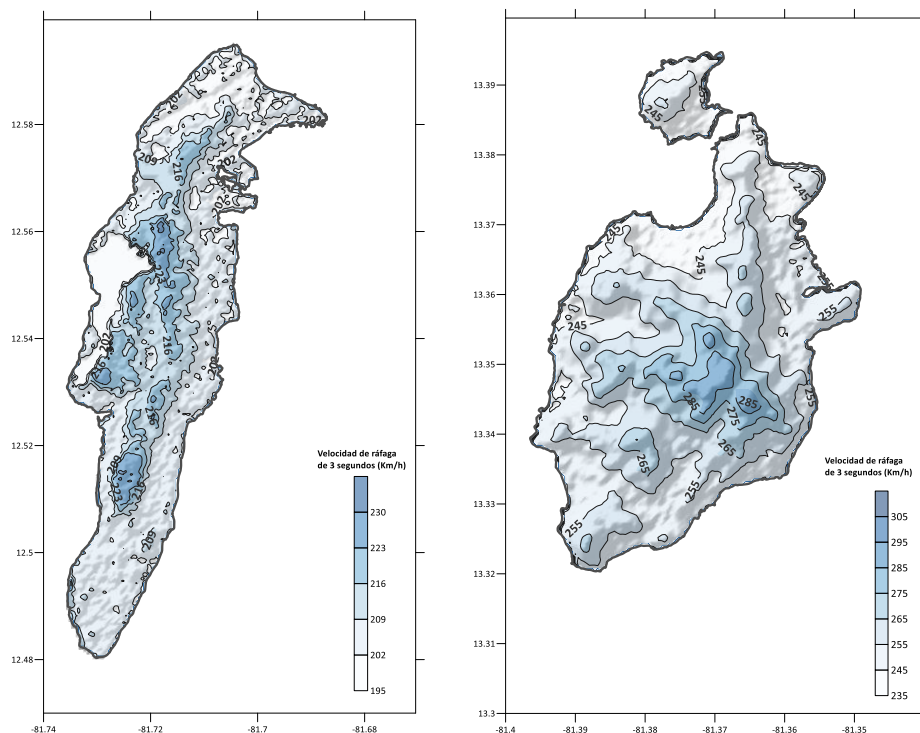


Figura 8. Velocidades de viento de diseño para San Andrés, Providencia y Santa Catalina

Un reforzamiento estructural, como medida de adaptación, implica considerar mayores solicitaciones a las originales de diseño de un inmueble y la aplicación de los cambios requeridos en la estructura para incrementar su seguridad ante estas nuevas cargas superiores a las originales. Esto significa que una edificación de un sistema estructural definido tendrá una mayor resistencia al viento si es “diseñada” usando las velocidades dadas en la Figura 8 que si se diseña con la velocidad dada por la NSR 10.

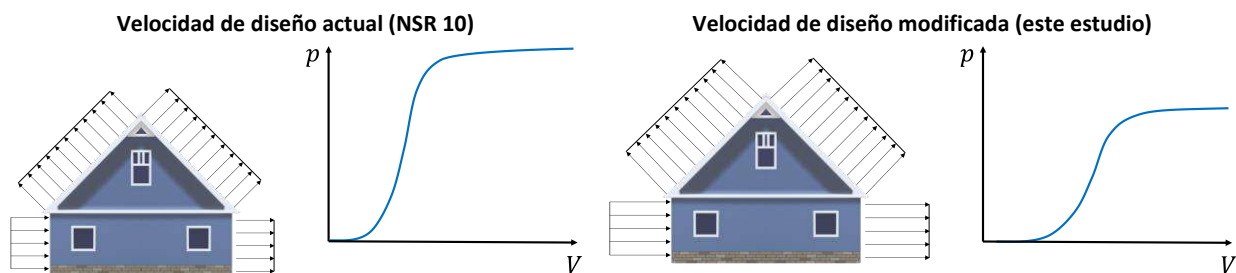
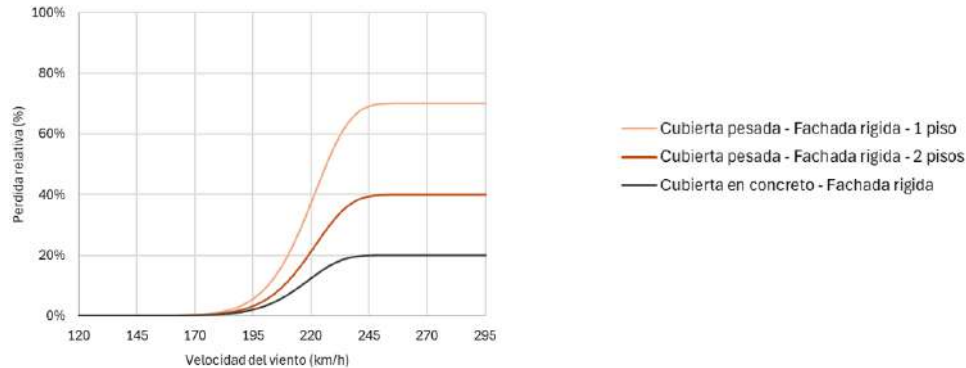


Figura 9. Ilustración de la diferencia en la vulnerabilidad de una vivienda diseñada con dos velocidades de viento diferentes

La Figura 10 muestra las funciones de vulnerabilidad empleadas para considerar el reforzamiento estructural en el portafolio de edificaciones. La curva indicada como “Cubierta pesada – Fachada rígida” se aplica principalmente en edificaciones de altura intermedia o gran altura, como hoteles, y considera una cubierta en placa de concreto reforzado y materiales rígidos de fachada. Este sistema en particular tiene un comportamiento muy similar al ser diseñado para velocidades de viento menores, pues en su diseño priman las deformaciones laterales por la relativa alta flexibilidad del sistema estructural, lo que implica la incorporación de medidas estructurales de rigidización, independientemente de la demanda por

fuerzas de viento. El efecto dinámico para estructuras flexibles es también considerado. Los sistemas de “Cubierta ligera – Fachada flexible” y “Cubierta ligera – Fachada rígida” agrupan el comportamiento de las edificaciones más tradicionales, de poca altura. En estos casos, el efecto de una mayor velocidad de diseño les brinda un mejor comportamiento estructural.

Cubiertas pesadas – Fachadas rígidas (no sujetas a reforzamiento)



Cubiertas ligeras / Fachadas flexibles y fachadas rígidas (sujetas a reforzamiento)

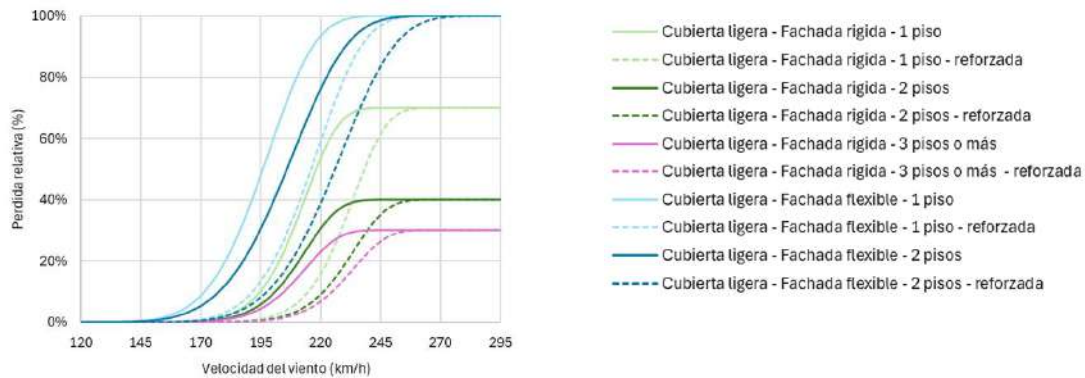


Figura 10. Funciones de vulnerabilidad para edificaciones reforzadas ante fuerzas de viento

3.2.2 Edificaciones palafíticas

La manera de considerar edificaciones palafíticas es equivalente a la ya presentada en la sección 3.1.1. En este caso, se consideran edificaciones en plataformas, con el fin de no causar condiciones inusuales de viento debido a los palafitos. Se usan alturas de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 metros sobre el terreno natural. Para el archipiélago, se considera subestructura en madera (plataforma palafítica) y superestructura en madera o mampostería confinada. Las edificaciones de concreto de más de 3 pisos de altura no se incluyen dentro de los inmuebles que pueden ser intervenidos con palafitos. No se realizaron consideraciones especiales para edificaciones con valor patrimonial. La Figura 11 muestra las funciones de vulnerabilidad usadas para edificaciones palafíticas ante marea de tormenta en este estudio.

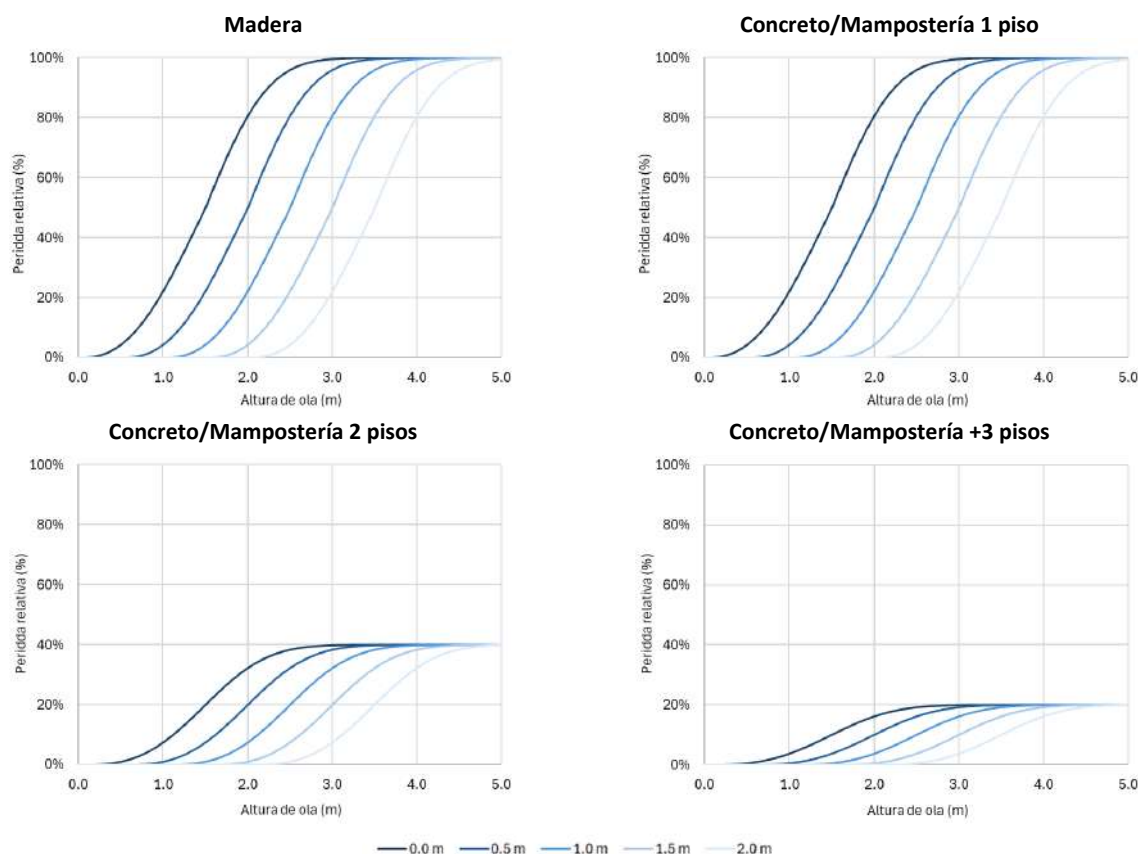


Figura 11. Funciones de vulnerabilidad para edificaciones palafíticas ante marea de tormenta, para diferentes alturas de palafitos, según el material de la superestructura

3.3 Riesgo por deslizamientos

Los deslizamientos son un fenómeno propio de la geodinámica terrestre, de muy alta recurrencia, especialmente en territorios como el colombiano, en donde la particular topografía y condiciones geológicas implican una alta susceptibilidad a su ocurrencia. Si bien existen diferentes tipos de movimientos en masa que pueden clasificarse como deslizamientos, en el modelo empleado no es posible capturar las notables diferencias entre uno y otro, sino únicamente la probabilidad que una ubicación específica en el terreno presente un deslizamiento de tierra por cuenta de la susceptibilidad de la ladera y la ocurrencia de la lluvia detonante.

Se propone la implementación de una medida de adaptación orientada a reducir la susceptibilidad de las laderas adenañas a los diferentes tramos de la red vial. La evaluación se centra en la red vial del municipio de Manizales, en Caldas, y de la ciudad de Bogotá, como casos a escala de ciudad, pero adicionalmente se trabajan los departamentos de Caldas y Cauca completos, con el fin de considerar vías carreteras intermunicipales que son de muy alta importancia. La Tabla 5 describe la medida de adaptación.

Tabla 5. Medida de adaptación a ser evaluada para deslizamientos.

Medida de adaptación	Descripción	Parámetros	Costo
Reducción de la susceptibilidad por tramo	Mejoramiento de las condiciones del tramo y el terreno aledaño con el fin de reducir la susceptibilidad a los deslizamientos.	Se evalúan los tramos de manera gradual, de mayor a menor riesgo.	<p>Para:</p> <p>Vías primarias = del 90% al 150% del valor de reposición de cada tramo, según el nivel de susceptibilidad</p> <p>Vías secundarias = del 80% al 140% del valor de reposición de cada tramo, según el nivel de susceptibilidad</p> <p>Vías terciarias = del 90% al 130% del valor de reposición de cada tramo, según el nivel de susceptibilidad</p> <p>Vías locales = del 90% al 130% del valor de reposición de cada tramo, según el nivel de susceptibilidad</p> <p>Caminos Tipo 1 = del 70% al 110% del valor de reposición de cada tramo, según el nivel de susceptibilidad</p> <p>Caminos Tipo 2 = del 70% al 110% del valor de reposición de cada tramo, según el nivel de susceptibilidad</p> <p>Vías sin clasificar = del 70% al 110% del valor de reposición de cada tramo, según el nivel de susceptibilidad</p> <p>El valor se obtiene aplicando los factores de la Tabla 6 al costo estimado promedio de reposición del tramo de vía, según su clasificación y la susceptibilidad.</p>

Desde el punto de vista de la modelación, la reducción en la susceptibilidad a los deslizamientos de los tramos viales se incorpora modificando los factores de propensividad que conducen a la existencia de una susceptibilidad de las laderas. Estos factores son muy diversos y cubren desde aspectos naturales del terreno (como pendiente topográfica, cobertura vegetal, formación geológica superficial, tipo de suelo, aspecto y orientación de las laderas, nivel de insolación, etc.), pasando por condiciones de uso (como la existencia de asentamientos en la corona del talud, cercanía a vías, cercanía a redes de servicios, etc.), hasta condiciones de degradación (como nivel de erosión, nivel de intervención de la ladera). No obstante, en este trabajo se usó la “Zonificación de la Susceptibilidad General del Terreno a los Deslizamientos de Tierra” (IDEAM, 2012), la cual no puede ser directamente modificada por este consultor al no contarse con la información base para realizar el recalcuado necesario. A pesar de esto, y dada la experiencia del consultor en evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa, se propone un esquema simplificado de alteración de los valores de susceptibilidad, basado en diferentes niveles de intervención a los tramos de la red vial principal, según su nivel de riesgo actual.

Se definieron los factores que se presentan en la Tabla 6 para calcular el costo de reducir la susceptibilidad a deslizamientos de la vía. El factor considera la clasificación de las vías, teniendo en cuenta que

implementar las medidas de adaptación en las vías nacionales tendrá un mayor costo por que estas intervenciones tienden a ser más complejas y costosas debido a su mayor importancia estratégica y características específicas, como mayor tráfico y requerimientos técnicos más exigentes. Estos factores multiplican el costo estimado promedio de reposición del tramo de vía para determinar el valor final de implementar la medida de adaptación.

Tabla 6. Factores aplicados al costo del tramo de vía

Tipo vía	Susceptibilidad inicial	Susceptibilidad final				
		1	2	3	4	5
Camino Tipo 1	1	0	0	0	0	0
	2	0.7	0	0	0	0
	3	0.8	0.8	0	0	0
	4	0.9	0.9	0.8	0	0
	5	1.1	1	0.9	0.8	0
Camino Tipo 2	1	0	0	0	0	0
	2	0.7	0	0	0	0
	3	0.8	0.8	0	0	0
	4	0.9	0.9	0.8	0	0
	5	1.1	1	0.9	0.8	0
Local	1	0	0	0	0	0
	2	0.9	0	0	0	0
	3	1	0.9	0	0	0
	4	1.1	1	0.9	0	0
	5	1.3	1.2	1	0.9	0
Primaria	1	0	0	0	0	0
	2	0.9	0	0	0	0
	3	1.2	1	0	0	0
	4	1.3	1.2	1.1	0	0
	5	1.5	1.4	1.3	1.2	0
Secundaria	1	0	0	0	0	0
	2	0.8	0	0	0	0
	3	1	0.9	0	0	0
	4	1.2	1.1	1	0	0
	5	1.4	1.3	1.2	1.1	0
Sin Clasificación	1	0	0	0	0	0
	2	0.7	0	0	0	0
	3	0.8	0.8	0	0	0
	4	0.9	0.9	0.8	0	0
	5	1.1	1	0.9	0.8	0
Terciaria	1	0	0	0	0	0
	2	0.9	0	0	0	0
	3	1	0.9	0	0	0
	4	1.1	1	0.9	0	0
	5	1.3	1.2	1	0.9	0

El resultado de esta optimización puede entenderse como diferentes planes de intervención vial, con costos aproximados, que siguen una priorización basada en riesgo y que gradualmente incrementan su alcance.

3.4 Riesgo por sequía

La sequía es un evento cuya definición exacta es difícil de establecer, con fechas de inicio y fin, así como una extensión geográfica e intensidad, que dependen de criterios más o menos arbitrarios con los cuales se establezcan estos parámetros. Así mismo, es común diferenciar entre sequía meteorológica, agrícola e

hidrológica, en función sistema sobre el cual se mide del desbalance de agua, así como sus impactos. Este trabajo se centra en sequía agrícola sobre varios productos en diferentes ubicaciones, y en donde se aplica un enfoque que no requiere de una definición explícita de los eventos de sequía, sino de una simulación de sus impactos a la producción agrícola, lo cual reduce la arbitrariedad inherente a la definición de los eventos. Esta evaluación se realiza para los portafolios de cultivos, en los municipios de San Onofre (Sucre), Lorica (Córdoba), Espinal y Guamo (Tolima).

El riesgo climático puede reducirse de muchas maneras en el sector agrícola. Las medidas de adaptación usualmente empleadas están encaminadas a mantener o mejorar los rendimientos de los cultivos bajo condiciones de un clima perturbado por cambio climático, es decir, asumiendo mayores periodos posibles de estrés hídrico o térmico para la vegetación. En este caso, se asumieron diferentes medidas posibles según el producto considerado. La Tabla 7 describe cada medida de adaptación, los parámetros que la caracterizan y el costo asumido de implementación. En este caso, y dada la naturaleza de la pérdida modelada, los valores presentados son costos en base anual.

Tabla 7. Medidas de adaptación a ser evaluadas para sequía.

Cultivo	Medida de adaptación	Descripción	Parámetros	Costo
Todo sin arroz de riego	Instalación de sistemas de riego	Infraestructura de riego con el fin de proveer al cultivo la cantidad necesaria de agua evitando así el estrés hídrico.	Se asume un programa de riesgo correspondiente a proveer la humedad necesaria para mantener al cultivo en condiciones cercanas a las óptimas.	\$ 0.8 COP millones / ha El valor corresponde al promedio de diversos sistemas de riesgo (caudal reducido, aspersión o goteo), según lo reportado en la literatura. (Monje, 2017; Álvarez et al., 2018; López, 2019; Fedepalma, 2024)
Maíz y yuca	Mulching	Cobertura del suelo del cultivo con el fin de evitar la erosión, controlar malezas y limitar la pérdida de humedad por evaporación.	Se asume una cobertura de la totalidad del suelo por hectárea de cultivo, usando plástico o biomasa remanente del ciclo anterior.	\$ 1.5 COP millones / ha Se supone un precio por hectárea de acuerdo con lo reportado en la literatura para cubrir el suelo del cultivo con restos vegetales (cáscaras, trozos de madera, residuos de maíz, etc.) o material sintético (plástico). (Luarte et al., 2013; Barajas-Guzmán et al., 2013; Frutos, 2015; Tencio, 2018; CALYPSO, 2024)
Maíz	Transición de sistema tradicional a tecnificado	Transición al sistema tecnificado de los productores actualmente en sistema tradicional.	La transición al sistema tecnificado consiste en el uso de semillas certificadas, aplicación de agroquímicos y fertilizantes	\$ 3.0 COP millones / ha Valor calculado a partir del costo de usar semillas certificadas, agroquímicos y fertilizantes. (DANE, 2005; Perfetti et al., 2012; Paz et al., 2015).
Arroz	Transición de sistema manual al mecanizado	Transición al sistema mecanizado de los productores actualmente en sistema manual.	La transición al sistema mecanizado consiste en usar maquinaria de siembra para limitar el desperdicio de semillas.	\$ 1.5 COP millones / ha Valor calculado a partir del alquiler de la maquinaria necesaria para la siembra en el sistema mecanizado. (DANE, 2017; Martínez, 2013; Nieto, 2019).
Todo	Implementación de variedades resistentes	Semillas modificadas, capaces de resistir mejor los cambios en las variables climáticas con mínima afectación en su rendimiento.	Compra de semillas certificadas y variedades resistentes a plagas, sequías e inundaciones.	\$ 0.5 COP millones / ha Valor calculado a partir del costo extra de semillas resistentes frente a semillas no resistentes. (Agroactivo, 2024; Agrosavia, 2024; El establo, 2024; El semillero, 2024; Sgasemillas, 2024; Yaxa, 2024).

El modelo de respuesta al agua de cultivos implementado en esta modelación permite simular condiciones de manejo y cambios en los sistemas productivos, de tal manera que es posible incorporar estas medidas de adaptación de forma muy cercana a la realidad. Por supuesto, cada medida de adaptación puede tener diferentes variaciones alrededor del mismo objetivo, resultado de las decisiones que tome cada agricultor, por lo cual es necesario generalizar y hacer supuestos sobre los parámetros que definen las condiciones de adaptación. La incorporación de estas medidas en el modelo se describe a continuación.

3.4.1 Instalación de sistemas de riego

Los sistemas de riego permiten proveer al cultivo con la cantidad necesaria de agua para su desarrollo. En el modelo de riesgo, se calculan previamente los requerimientos de agua para lograr un desarrollo óptimo del cultivo (máximo rendimiento). Luego, para cada evento climático simulado, se determina la necesidad adicional de agua según las condiciones simuladas de precipitación y temperatura, y se establece un plan de riego que compensa las deficiencias encontradas. De esta manera, se define, a nivel del modelo, un sistema de riego que opera de manera óptima en cada unidad cultivada. Se aplica a todos los cultivos con excepción del arroz de riego.

3.4.2 Mulching (Maíz y yuca)

El mulching consiste en cubrir el suelo con materiales de desecho del ciclo anterior (como hojas, tallos, etc.) o con material plástico, con el fin de protegerlo de la erosión, maleza y reducir o limitar la evaporación. En el modelo, se define el mulching por medio de la reducción del flujo de evaporación en el suelo, a máximo el 10% de la evaporación para el mismo suelo sin cobertura. Esto permite mantener por más tiempo unas condiciones de humedad, que, si bien no son necesariamente las óptimas, le dan la oportunidad al cultivo de continuar su desarrollo mientras se aporta nueva humedad al suelo por precipitación.

3.4.3 Transición del sistema tradicional al tecnificado (Maíz)

La transición del sistema tradicional al tecnificado consiste en el uso de semillas certificadas, aplicación de agroquímicos y fertilizantes. En el caso de la modelación, estos parámetros modifican el modelo de cultivo empleado. En particular se modifican las funciones de desarrollo de la cobertura verde (canopy), y la función del índice de cosecha. De esta manera, se simula un sistema que presenta mayores rendimientos.

3.4.4 Transición del sistema manual al mecanizado (Arroz)

La transición del sistema manual al mecanizado consiste en el uso de maquinaria de siembra para limitar el desperdicio de semillas. En el caso de la modelación, se modifica principalmente el número de plantas sembradas por hectárea, para simular un proceso eficiente de siembra. La modificación de este parámetro induce cambios en el rendimiento final al distribuirse los recursos (humedad y nutrientes) del suelo dentro de un número diferente de plantas.

3.4.5 Implementación de variedades resistentes

Esta medida consiste en seleccionar semillas modificadas, capaces de resistir mejor los cambios en las variables climáticas con mínima afectación en su rendimiento. Para modelar esta medida, se ajustan parámetros como los límites de temperatura donde se empieza a ver afectado el desarrollo del cultivo por estrés térmico y por estrés hídrico, la eficiencia en el uso del agua, la tasa de transpiración, la profundidad de las raíces y tasa de crecimiento.

3.5 Riesgo por incendios de cobertura vegetal

Como se mostró en el producto 2 de esta consultoría en Colombia existen condiciones que favorecen la generación y el avance de los incendios y que están fuertemente ligados a la actividad agrícola. El rápido avance de la frontera agrícola muestra que el país requiere de medidas contundentes que permitan un equilibrio entre la actividad agropecuaria y la conservación de los bosques. Los bosques principalmente afectados se componen de tipos de vegetación que, dadas las condiciones normales de humedad, difícilmente pueden verse sometidas a igniciones espontáneas. Esto significa que en su absoluta mayoría los incendios forestales en Colombia tienen una fuerte influencia antrópica. Mientras no sea posible evitar la ocurrencia de incendios, estos seguirán siendo recurrentes en el país.

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 indicada en la Tabla 8, que corresponde a 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.

Para la medida de adaptación planteada, se considera fundamental el papel de los cuerpos de bomberos y los brigadistas en la provisión de personal y kits contra incendios. La Tabla 8 describe la medida de adaptación, que corresponde a una medida de manejo de desastres. Esta evaluación se centra en los municipios de Palermo (Huila), Orocué (Casanare), San Vicente del Caguán (Caquetá) y Cumaribo (Vichada).

Tabla 8. Medida de adaptación a ser evaluada para incendios forestales.

Medida de adaptación	Descripción	Parámetros	Costo
Mejoramiento de la capacidad de combatir el fuego	Mejoramiento de las capacidades existentes (particularmente en equipos e insumos) para combatir el fuego	Adquisición de kits contra incendios	<p>\$ 37,500,000 COP / kit</p> <p>Costo de adquisición de un kit contra incendios</p>

Las acciones de respuesta contra incendios, que pueden variar considerablemente, se pueden clasificar en dos categorías principales:

- Incrementar la humedad de la vegetación hasta alcanzar niveles de humedad que faciliten la extinción.
- Restringir la propagación del fuego cortando el suministro de combustible.

De estas dos maneras de combatir el fuego, se asume como factible, dentro de la generalización necesaria dada la resolución del modelo, la primera, es decir, aumentar la humedad de la vegetación hasta llevarla a la humedad extinción.

El proceso de respuesta sigue estos criterios:

- La respuesta a un incendio se da desde los centros poblados de cada municipio
- El modelo se desarrolla en base horaria. Todos los cambios suceden en intervalos de 1 hora. La dinámica intrahoraria del fuego o de las labores de respuesta no es modelada.
- El tiempo desde el inicio del incendio (ignición) al inicio de las labores de respuesta, o tiempo de detección de un incendio, es una variable aleatoria distribuida exponencial, con un valor mínimo de 1 hora.
- Se consideraron 5 intervalos de tiempo: el momento en el que inicia el incendio y se activa la alarma, el tiempo necesario para que el cuerpo de bomberos llegue al lugar a través de la vía (esto varía según el tipo de vía y la velocidad de tránsito), el tiempo empleado en acceder al lugar del incendio, el tiempo de combate contra el fuego y el tiempo que transcurre hasta que se completa la extinción del incendio.
- Se asignaron velocidades de tránsito a partir de la red vial del departamento, teniendo las vías principales, secundarias y terciarias una velocidad de 50km/h y las demás vías una velocidad de 20km/h.
- En Vichada se consideraron como ríos navegables el río Meta, Vichada y Orinoco y se asignaron velocidades de navegación de 7km/h.
- La velocidad considerada para llegar al incendio a pie es de 5km/h.
- Los kits considerados incluyen bombas y tanques de agua, mangueras, herramientas manuales y equipos de protección personal.
- Se estableció un factor de efectividad para los bomberos el cual está directamente relacionado con las herramientas disponibles y la cantidad de bomberos que cubren el perímetro del incendio. Si hay un bombero cada 550 metros, se asignó un factor de 0.5; para una distancia de 500 metros, el factor es 1; si la distancia es de 450 metros, el factor es de 1.5; para 400 metros, el factor es de 2.0; para 350 metros, el factor es de 2.5; para 300 metros, el factor es de 3.0; para 250 metros, el factor es de 3.5; para 200 metros, el factor es de 4.0; para 150 metros, el factor es de 4.5; y para 100 metros, el factor es de 5.0. Estos factores se determinaron de acuerdo con la experiencia propia del consultor.
- Si el tiempo total en el que se demoran los bomberos en llegar al incendio supera las 100 horas (aproximadamente 4.1 días), se asume que el incendio no pudo ser controlado por los cuerpos de bomberos terrestres debido a la distancia o el tamaño, necesitando apoyo aéreo para su extinción.

Los escenarios considerados en la evaluación se mencionan a continuación:

- **Escenario 1:** 1 bombero combatiendo el fuego por cada 550 metros lineales.
- **Escenario 2:** 1 bombero combatiendo el fuego por cada 500 metros lineales.
- **Escenario 3:** 1 bombero combatiendo el fuego por cada 450 metros lineales.
- **Escenario 4:** 1 bombero combatiendo el fuego por cada 400 metros lineales.
- **Escenario 5:** 1 bombero combatiendo el fuego por cada 350 metros lineales.
- **Escenario 6:** 1 bombero combatiendo el fuego por cada 300 metros lineales.
- **Escenario 7:** 1 bombero combatiendo el fuego por cada 250 metros lineales.

- **Escenario 8:** 1 bombero combatiendo el fuego por cada 200 metros lineales.
- **Escenario 9:** 1 bombero combatiendo el fuego por cada 150 metros lineales.
- **Escenario 10:** 1 bombero combatiendo el fuego por cada 100 metros lineales.

4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

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 (ver sección 2.1), 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.

4.1 Inundación

El caso de inundación se restringe, como se mencionó anteriormente, al portafolio de edificaciones de los municipios de Magangué, Ayapel, San Marcos y Guaranda, que están ubicados en región de La Mojana. La Tabla 9 muestra la PAE por cada clima considerado para el portafolio de edificaciones antes de aplicar alguna medida de adaptación. Esta es la condición base de riesgo en estos municipios para el escenario de clima actual y los escenarios de cambio climático considerados.

Tabla 9. PAE para el portafolio de edificaciones, para los 6 climas considerados

Municipio	Valor expuesto (COP Millones)	PAE (COP Millones)					
		Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	IDEAM
Magangué	\$ 4,371,819	\$ 29,728	\$ 27,980	\$ 31,040	\$ 27,542	\$ 28,854	\$ 29,728
Ayapel	\$ 1,852,744	\$ 8,893	\$ 8,523	\$ 9,449	\$ 8,708	\$ 8,708	\$ 9,078
San Marcos	\$ 2,000,700	\$ 20,807	\$ 19,807	\$ 21,808	\$ 19,607	\$ 20,407	\$ 21,007
Guaranda	\$ 610,962	\$ 367	\$ 312	\$ 379	\$ 299	\$ 373	\$ 373

Para cada uno de los municipios se establecen montos de inversión de manera creciente y se determinan las acciones a ser implementadas para cada monto que reducen de manera más efectiva la pérdida. Cada monto de inversión deriva entonces en una estrategia de adaptación diferente. A medida que el monto de inversión aumenta se intervienen más elementos, lo que implica una disminución en la PAE del portafolio estudiado. Por supuesto, el efecto de cada estrategia de adaptación será diferente para cada posible clima futuro.

4.1.1 Magangué

La Figura 12 muestra la variación en la PAE del portafolio de edificaciones del municipio de Magangué, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. A cada nivel de inversión le corresponde una cierta distribución de medidas de adaptación, obtenida de la optimización de sus efectos en reducción del riesgo y el costo requerido de implementación. En este caso se muestran 3 ejemplos de dichas estrategias seleccionados arbitrariamente con el fin de ilustrar el cambio asociado a diferentes montos de inversión. Las imágenes presentadas muestran la distribución espacial de edificaciones intervenidas, clasificadas por altura de palafitos, que se requieren dentro de cada estrategia de adaptación óptima cuyo monto de inversión es el indicado.

—Clima base —RCP2.6 —RCP4.5 —RCP6.0 —RCP8.5 —IDEAM

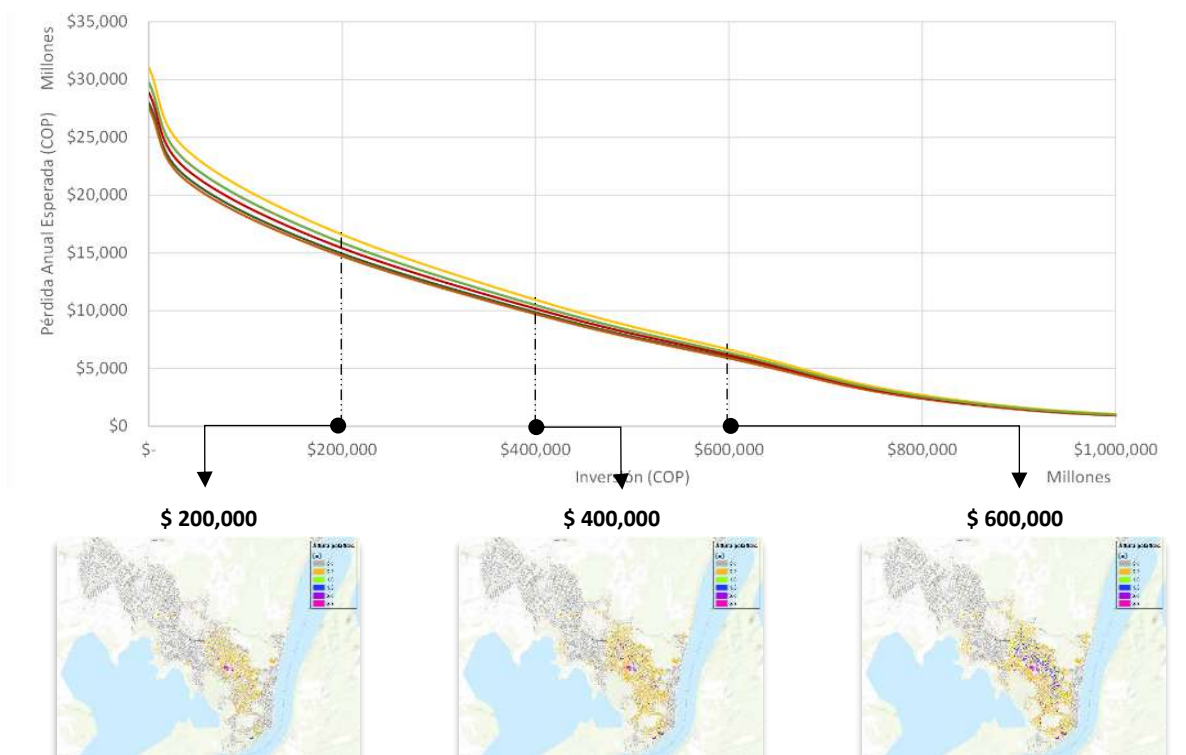


Figura 12. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 3 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

En la gráfica de la Figura 12 se puede visualizar también como a medida que el monto de inversión aumenta, es decir, a medida que más y más edificaciones son intervenidas por alguna de las medidas de adaptación definidas, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante. En este punto se ha alcanzado el límite superior de la adaptación. Este límite tiene dos características fundamentales: i) a partir de este punto las posibles variaciones en el clima futuro no representan un cambio sensible en el riesgo y ii) mayores inversiones no implican mayores reducciones en la pérdida pues se ha alcanzado el límite de efectividad de las medidas consideradas. Por lo tanto, este límite indica un nivel máximo de adaptación posible. La pérdida remanente corresponde al riesgo residual que no es posible reducir con las medidas consideradas. El límite depende por supuesto de cuáles son las medidas que se evalúan, lo que significa que puede cambiar si se consideran otras diferentes a las acá presentadas. En este caso, y bajo los supuestos definidos, el límite de adaptación se alcanza para una inversión del orden de 1 billón de pesos.

4.1.2 Ayapel

La Figura 13 muestra la variación en la PAE del portafolio de edificaciones del municipio de Ayapel, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. Al igual que en el caso anterior a cada nivel de inversión le corresponde una cierta distribución de medidas de adaptación, obtenida de la optimización de sus efectos en reducción del riesgo y el costo requerido de implementación. En este caso se muestran 2 ejemplos de dichas estrategias con el fin de ilustrar el cambio asociado a

diferentes montos de inversión, que se puede observar en la gráfica, y la distribución espacial de las edificaciones intervenidas en cada caso, que se pueden observar en las imágenes. También se puede visualizar como a medida que el monto de inversión aumenta, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible, que en este caso es del orden de 0.2 billones de pesos.

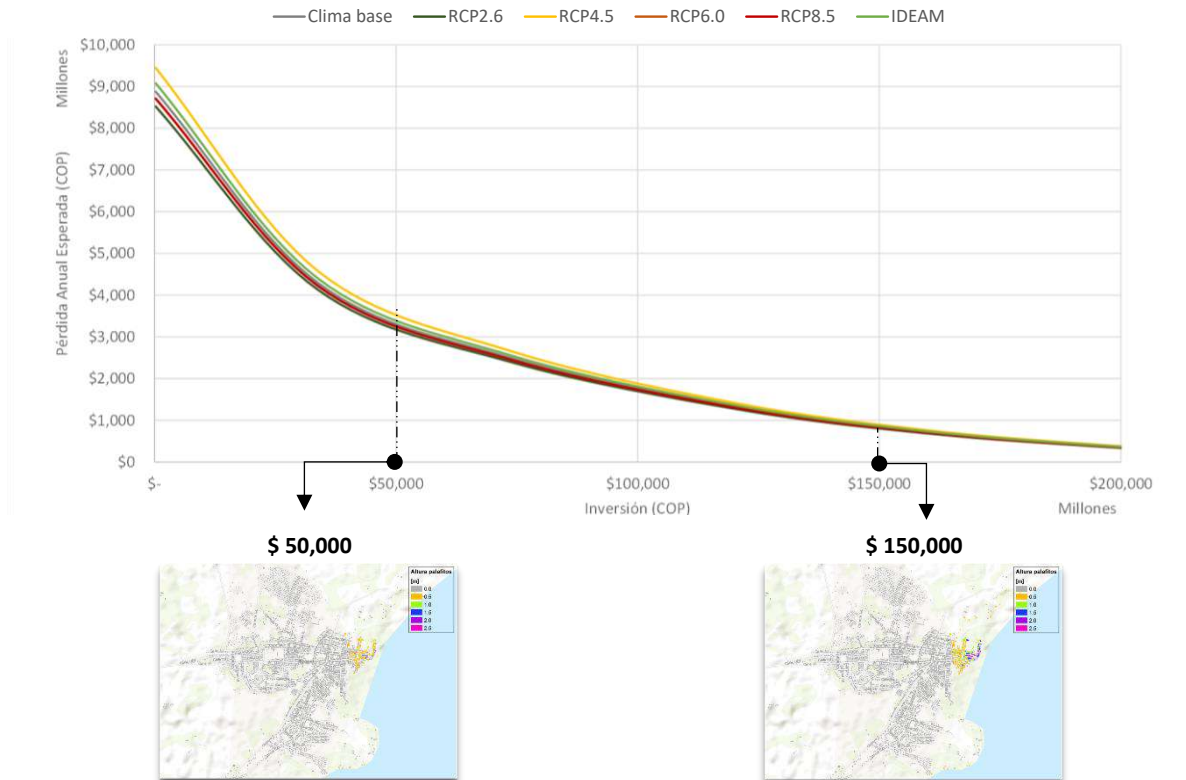


Figura 13. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 2 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

4.1.3 San Marcos

La Figura 14 muestra la variación en la PAE del portafolio de edificaciones del municipio de San Marcos, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. Al igual que en los casos anteriores a cada nivel de inversión le corresponde una distribución de medidas de adaptación, obtenida de la optimización de sus efectos en reducción del riesgo y el costo requerido de implementación. En este caso se muestran 2 ejemplos de dichas estrategias con el fin de ilustrar el cambio asociado a diferentes montos de inversión, que se puede observar en la gráfica, y la distribución espacial de las edificaciones intervenidas en cada caso, que se pueden observar en las imágenes. También se puede visualizar como a medida que el monto de inversión aumenta, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante

alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible, que en este caso es del orden de 0.3 billones de pesos.

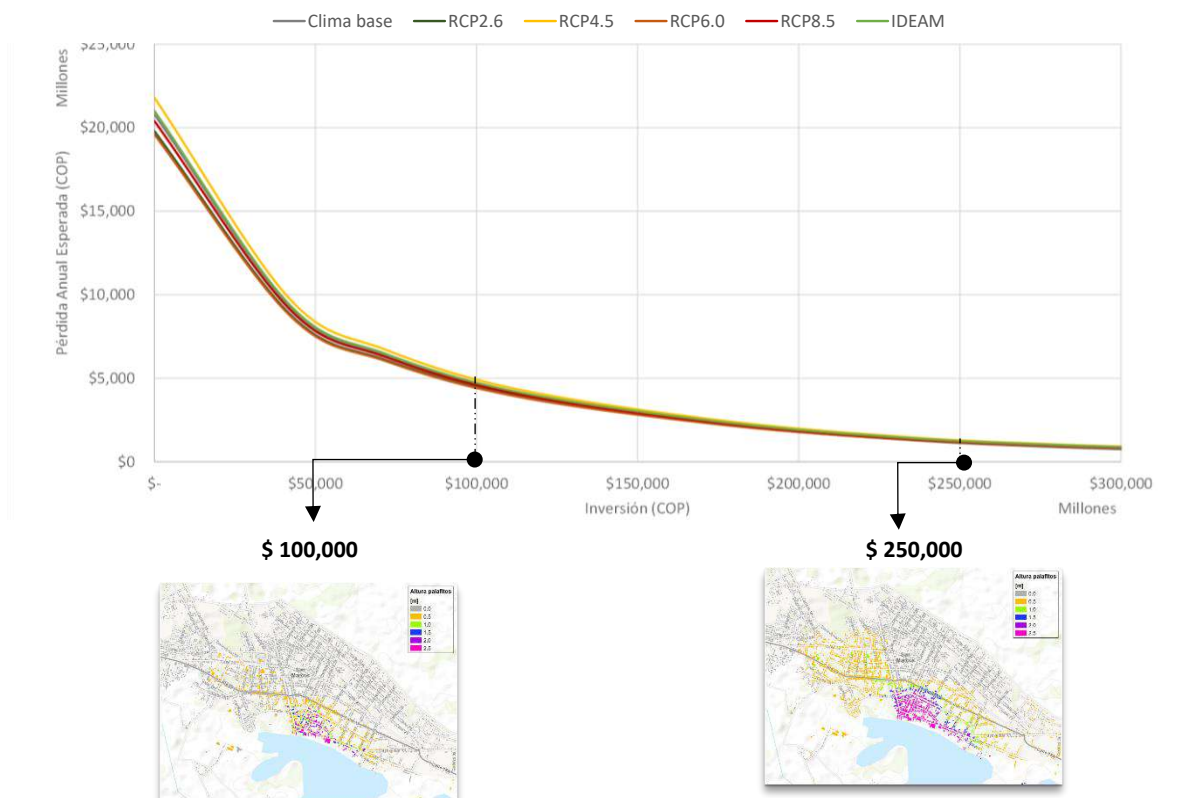


Figura 14. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 2 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

4.1.4 Guaranda

La Figura 15 muestra la variación en la PAE del portafolio de edificaciones del municipio de Guaranda, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. Al igual que en los casos anteriores a cada nivel de inversión le corresponde una distribución de medidas de adaptación, obtenida de la optimización de sus efectos en reducción del riesgo y el costo requerido de implementación. También se puede visualizar como a medida que el monto de inversión aumenta, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible, que en este caso es del orden de 0.3 billones de pesos.

—Clima base —RCP2.6 —RCP4.5 —RCP6.0 —RCP8.5 —IDEAM

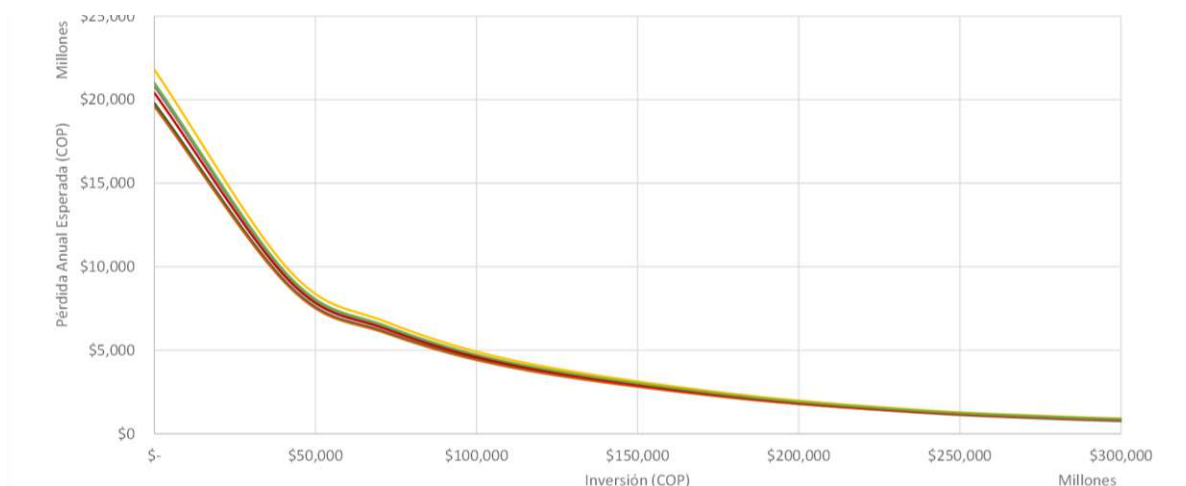


Figura 15. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

4.2 Huracán

El desastre resultado del paso del huracán Iota cerca del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina ha demostrado la importancia para Colombia de mirar de manera rigurosa el riesgo por ciclones tropicales, el cual ha sido históricamente despreciado por concentrarse fuertemente en este departamento y en consecuencia no considerarse relevante frente a fenómenos que afectan porciones más amplias del territorio nacional. La estimación del efecto de las medidas de adaptación se centra, en este caso, en el riesgo por huracán para el departamento de San Andrés y Providencia, y los municipios de Manaure, Uribia y Riohacha en la Guajira evaluando las medidas de adaptación indicadas en la Tabla 4. Cabe anotar que, para este caso, el clima futuro considerado corresponde al RCP8.5, tal y como se explica en detalle en el producto 2 de esta consultoría.

La Tabla 10 muestra la PAE para el clima base y perturbado por cambio climático, considerando el portafolio de edificaciones del archipiélago y de los municipios de la Guajira evaluados. Las pérdidas indicadas corresponderían al límite inferior de la adaptación, es decir, no intervenir en ningún grado el riesgo existente. Esta definición no aplica directamente al caso de Providencia, sino que se trataría del valor de la PAE si se reconstruyera la misma vulnerabilidad previa al paso del huracán Iota. Dado que la medida de adaptación para el caso de Providencia se refiere al proceso de reconstrucción y no a la intervención de lo ya construido.

Tabla 10. PAE para el portafolio de edificaciones, para los 2 climas considerados

Municipio	Valor expuesto (COP Millones)	PAE (COP Millones)	
		Clima base	RCP 8.5
San Andrés	\$ 3,185,480	\$ 19,017	\$ 30,262
Providencia	\$ 423,783	\$ 3,581	\$ 6,891
Manaure	\$ 1,380,971	\$ 3,729	\$ 5,800
Uribia	\$ 2,700,357	\$ 4,861	\$ 6,751
Riohacha	\$ 5,909,352	\$ 1,773	\$ 4,137

En este caso también se establecen montos de inversión de manera creciente y se determinan las acciones a ser implementadas para cada monto que reducen de manera más efectiva la pérdida. Cada monto de

inversión deriva entonces en una estrategia de adaptación diferente. A medida que el monto de inversión aumenta se intervienen más elementos, lo que implica una disminución en la PAE del portafolio estudiado.

4.2.1 San Andrés

Se evaluaron las dos primeras medidas de adaptación para el caso de huracán indicadas en la Tabla 4, sobre el portafolio de edificaciones de San Andrés, es decir, se considera la construcción de edificaciones palafíticas o sobre plataformas con el fin de reducir las pérdidas por marea, y el reforzamiento estructural a los sistemas principales de resistencia de fuerzas de viento de las edificaciones del portafolio. Con ayuda de la RCE se establecieron las mejores combinaciones de medidas para varios montos de inversión.

La Figura 16 muestra la variación de la PAE con respecto al costo de la intervención requerida para reducir el riesgo. Se incluye como ejemplo la distribución de las medidas de intervención aplicadas sobre las edificaciones del portafolio resultantes de la optimización para 4 niveles seleccionados arbitrariamente. Como se comentó anteriormente, la adaptación encuentra un límite natural en el punto en el cual las medidas consideradas ya no pueden aportar en la reducción de la vulnerabilidad, condición en la cual el riesgo remanente puede considerarse como residual y con muy baja volatilidad con respecto al efecto del cambio climático.

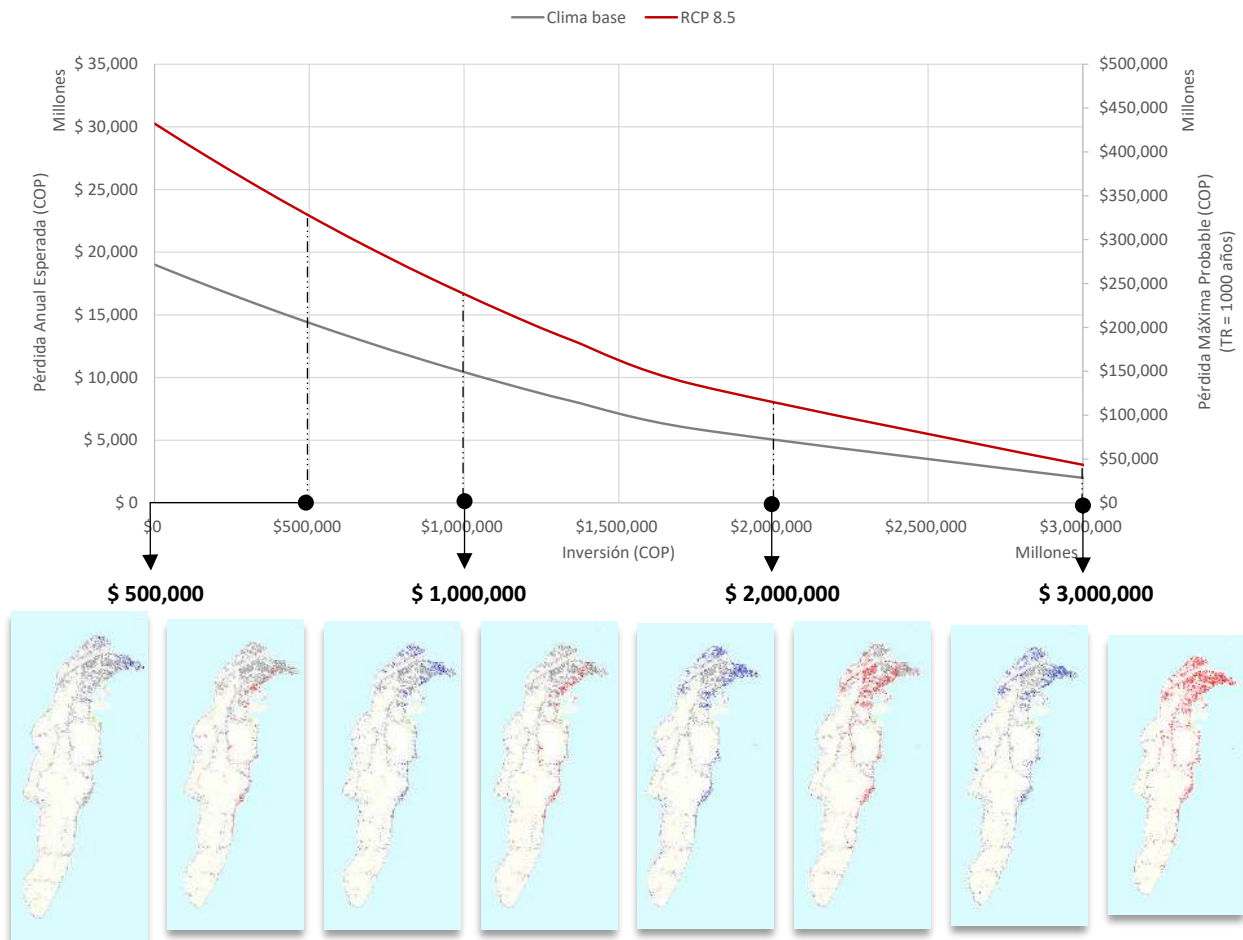


Figura 16. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas como palafitos (izq.) y reubicaciones (der.) por cada medida de adaptación considerada.

4.2.2 Providencia

Tras el paso del huracán Iota, Providencia sufrió una destrucción sin precedentes en sus edificaciones, infraestructura y bosques. Se habla de cerca del 98% de destrucción en vivienda e infraestructura, 90% de pérdida en sus bosques tropicales secos y 70% en sus bosques de Manglar. Este desastre ha demostrado que los ciclones tropicales pueden afectar gravemente al departamento y ha elevado el interés en las instituciones por este tipo de riesgo. Dada la magnitud de la destrucción ya ocurrida, no es posible ilustrar el alcance y costos de diferentes niveles de adaptación, pues solo es posible en este caso la reconstrucción total. Es posible ilustrar, no obstante, las consecuencias de buscar o no una transformación en las condiciones preexistentes de vulnerabilidad durante el proceso de reconstrucción.

El 100% de las edificaciones en Providencia están expuestas al campo de viento de los huracanes, mientras que aproximadamente el 75% se encuentran ubicadas en zonas propensas a marea de tormenta. Si asumimos que la reconstrucción se llevará a cabo siguiendo una distribución de ubicaciones similar a lo previamente existente, estos porcentajes se mantendrán una vez termine dicho proceso. La Figura 17 muestra la variación en la PAE por huracán, con y sin cambio climático, para Providencia, considerando diferentes niveles de transformación de la vulnerabilidad preexistente. Las transformaciones se expresan en términos de edificaciones palafíticas (o con plataforma) para disminuir las pérdidas por marea de tormenta, y edificaciones resistentes al viento diseñadas usando valores actualizados de velocidad del viento de diseño. Es posible ver que un proceso de reconstrucción que no se enfoque en reducir la vulnerabilidad necesariamente implica la reconstrucción del mismo riesgo existente antes de Iota. Por otra parte, una reconstrucción con transformación implica una reducción importante en la PAE a medida que se van interviniendo más elementos del portafolio.

— Clima base — RCP 8.5

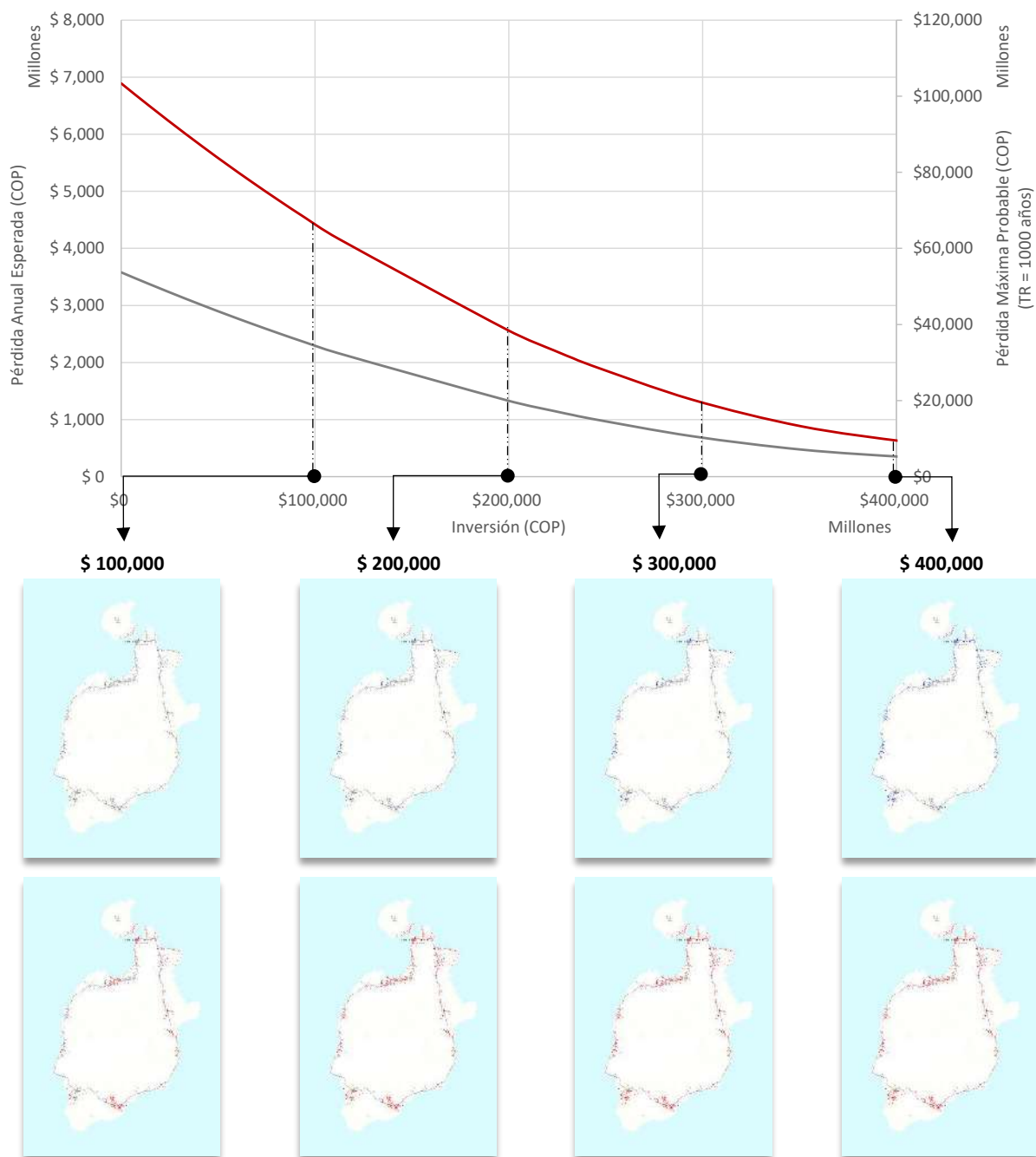


Figura 17. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas para la reconstrucción con palafitos (arriba) y reubicaciones (abajo) por cada medida de adaptación considerada.

4.2.3 Manaure

La Figura 18 muestra la variación en la PAE del portafolio de edificaciones del municipio de Manaure, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. Al igual que en

los casos anteriores a cada nivel de inversión le corresponde una cierta distribución de medidas de adaptación, obtenida de la optimización de sus efectos en reducción del riesgo y el costo requerido de implementación. En este caso se muestran 4 ejemplos de dichas estrategias con el fin de ilustrar el cambio asociado a diferentes montos de inversión, que se puede observar en la gráfica, y la distribución espacial de las edificaciones intervenidas en cada caso, que se pueden observar en las imágenes. También se puede visualizar como a medida que el monto de inversión aumenta, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible.

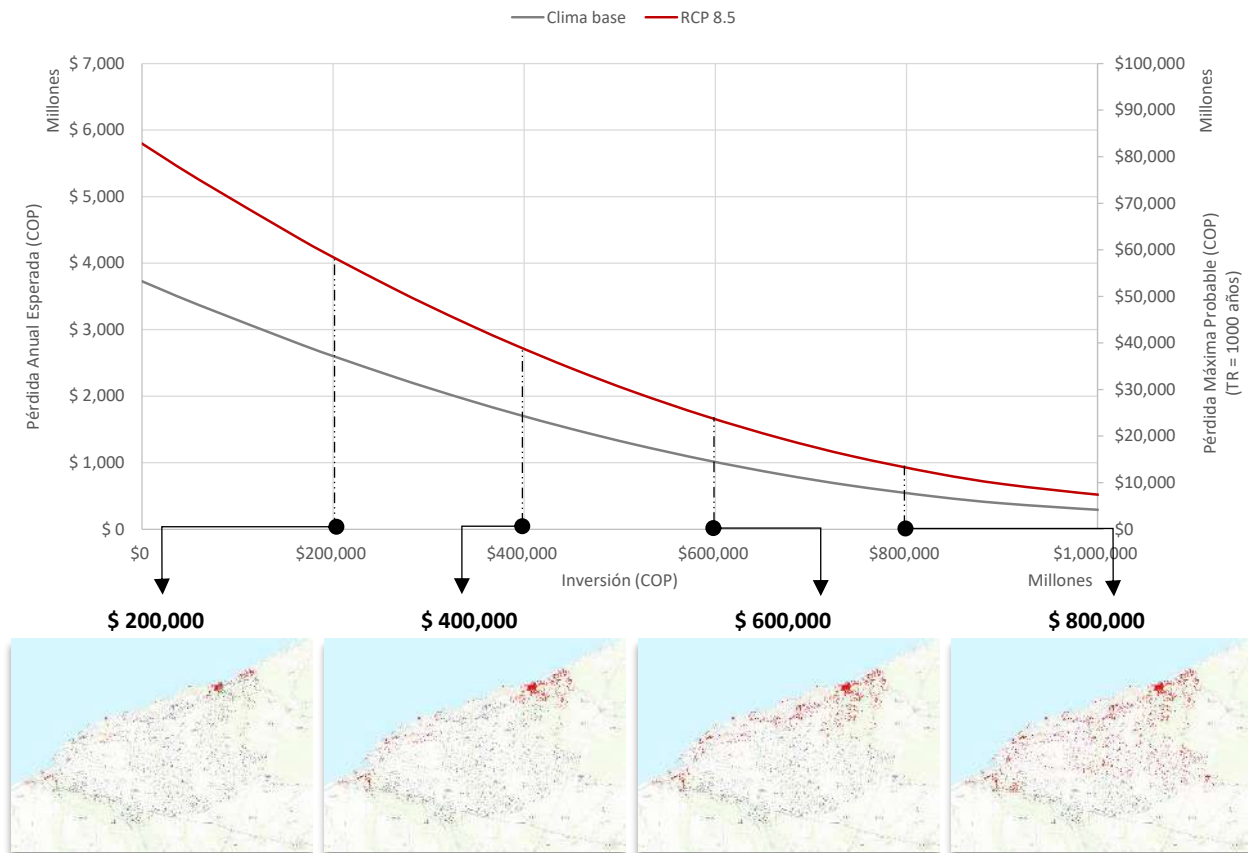


Figura 18. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas (reforzadas) por cada medida de adaptación considerada.

4.2.4 Uribe

La Figura 18 muestra la variación en la PAE del portafolio de edificaciones del municipio de Uribe, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. Al igual que en los casos anteriores a cada nivel de inversión le corresponde una distribución de medidas de adaptación, obtenida de la optimización de sus efectos en reducción del riesgo y el costo requerido de implementación. En este caso se muestran 3 ejemplos de dichas estrategias con el fin de ilustrar el cambio asociado a

diferentes montos de inversión, que se puede observar en la gráfica, y la distribución espacial de las edificaciones intervenidas en cada caso, que se pueden observar en las imágenes. También se puede visualizar lo que ya se ha comentado antes y es como a medida que el monto de inversión aumenta, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible

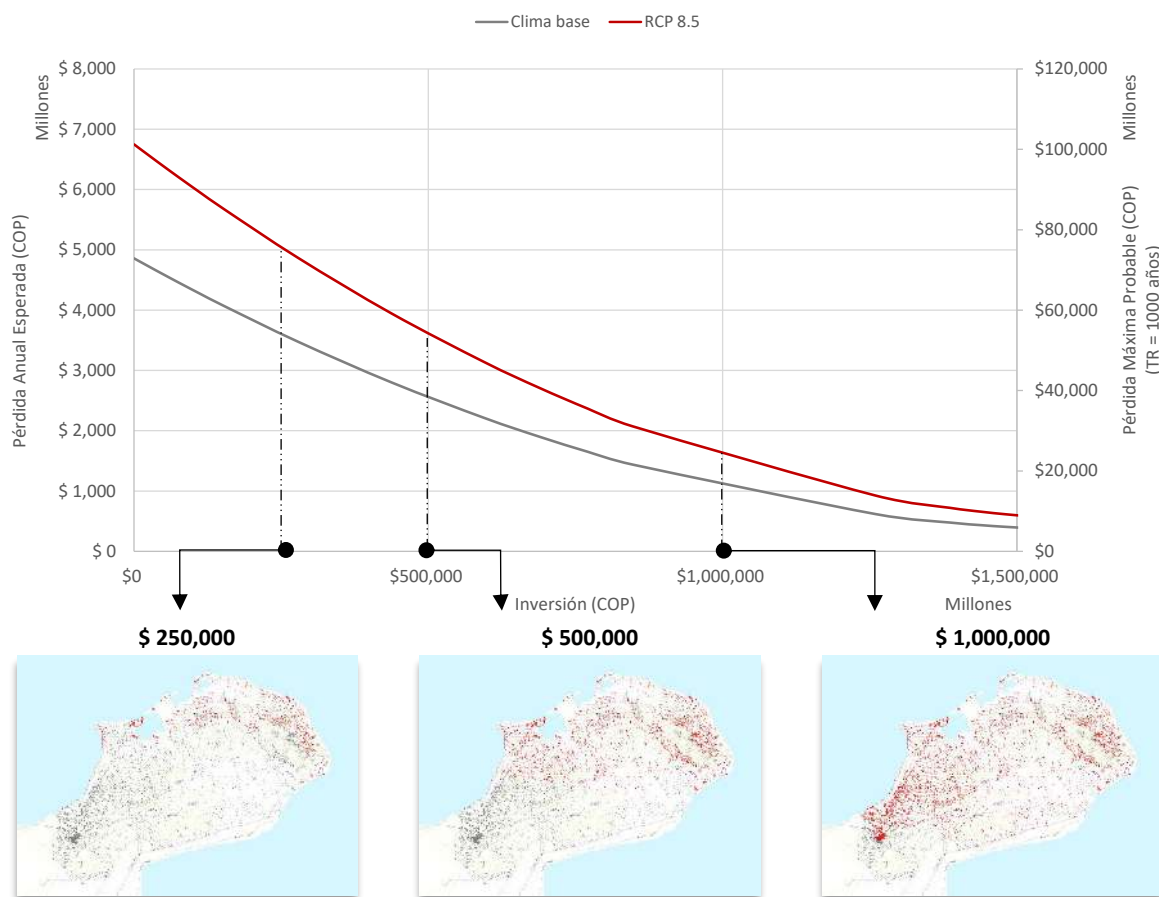


Figura 19. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 3 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas (reforzadas) por cada medida de adaptación considerada.

4.2.5 Riohacha

La Figura 20 muestra la variación en la PAE del portafolio de edificaciones del municipio de Guaranda, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. Al igual que en los casos anteriores a cada nivel de inversión le corresponde una distribución de medidas de adaptación, obtenida de la optimización de sus efectos en reducción del riesgo y el costo requerido de implementación. También se puede visualizar como a medida que el monto de inversión aumenta, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible

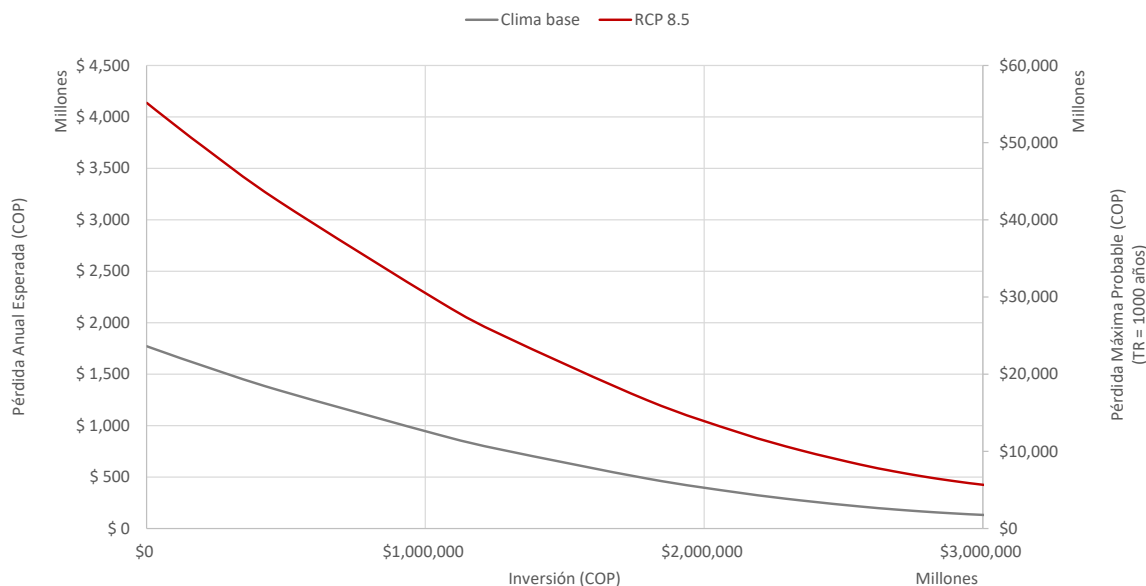


Figura 20. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

4.3 Deslizamientos

El impacto que históricamente han tenido los deslizamientos sobre la infraestructura vial del país es innegable. A pesar de que se ha avanzado mucho en la incorporación de los aspectos asociados a su ocurrencia dentro de los procesos de planificación, diseño y construcción de vías, se siguen presentando problemas de esta naturaleza dadas las características del territorio colombiano. En el producto 2 de esta consultoría se presenta el modelo implementado y los resultados completos de riesgo sobre la red vial principal de Colombia para los 6 climas considerados. La Tabla 11 resume los valores de PAE calculados para el portafolio completo.

Tabla 11. PAE para el portafolio de la red vial, para los 6 climas considerados

Municipio/Depto	Valor expuesto (COP Millones)	PAE (COP Millones)					
		Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	IDEAM
Bogotá	\$ 14,937,508	\$ 1,404	\$ 1,434	\$ 1,419	\$ 1,419	\$ 1,434	\$ 1,583
Manizales	\$ 1,213,309	\$ 995	\$ 1,189	\$ 1,031	\$ 1,141	\$ 1,153	\$ 1,541
Caldas	\$ 13,439,652	\$ 21,503	\$ 25,132	\$ 22,444	\$ 24,191	\$ 24,460	\$ 30,642
Cauca	\$ 66,192,885	\$ 134,372	\$ 132,386	\$ 135,033	\$ 132,386	\$ 133,048	\$ 142,315

En esta sección se presentan los resultados de una evaluación meticulosa de diversas medidas de adaptación diseñadas para mitigar los riesgos asociados con deslizamientos en la red vial del municipio de Manizales, en Caldas, y de la ciudad de Bogotá, como casos a escala de ciudad, pero adicionalmente se trabajan los departamentos de Caldas y Cauca completos, con el fin de considerar vías carreteras intermunicipales que son de muy alta importancia. Se examinan los montos de inversión requeridos para implementar estas estrategias, así como su potencial para reducir la Pérdida Anual Esperada (PAE). Este análisis integral no solo identifica las opciones más efectivas para fortalecer la resiliencia de la red vial, sino que también proporciona una base sólida para la toma de decisiones estratégicas.

4.3.1 Bogotá

Las diferentes estrategias de adaptación encontradas con la metodología RCE, establecen de forma gradual niveles de intervención al riesgo por deslizamientos de la red vial de la ciudad de Bogotá. Mayores intervenciones implican por supuesto mayores costos. Para el portafolio de la red vial el balance entre pérdidas evitadas y costo de inversión se detalla en la Figura 21, la cual muestra la variación de la PAE, para los 6 climas, ante diferentes estrategias de adaptación. Como en los casos asociados a las amenazas ya presentadas, aquí se evidencia de nuevo el comportamiento ya antes discutido, en donde a partir de cierto punto las inversiones no reducen significativamente el riesgo, y se cierra progresivamente el intervalo de pérdidas asociado al desconocimiento del clima futuro. De nuevo se muestran en detalle 4 niveles de adaptación seleccionados arbitrariamente con el fin de ilustrar la distribución de la intervención en diferentes tramos de la red.

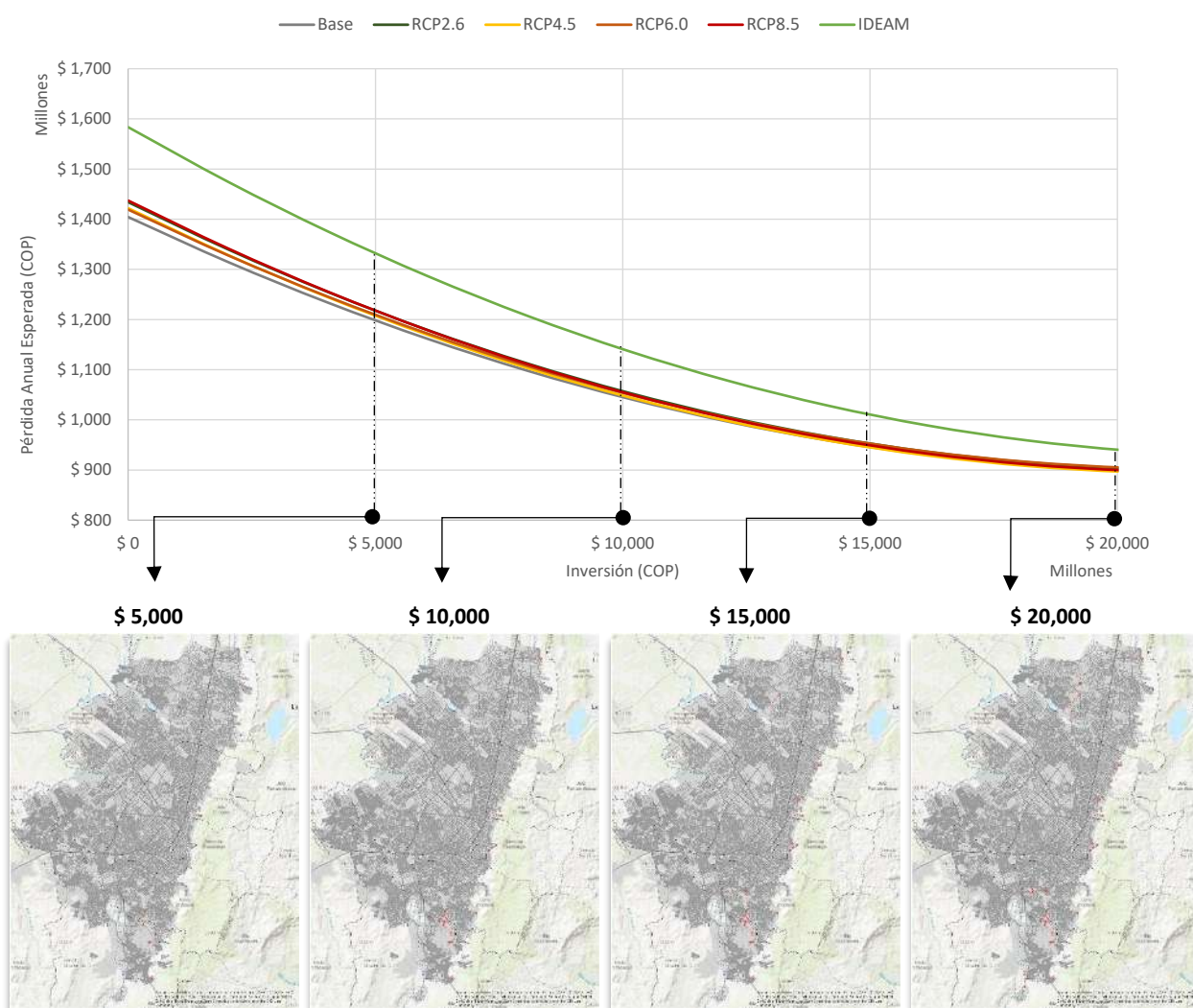


Figura 21. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de tramos viales intervenidos por cada medida de adaptación considerada.

4.3.2 Manizales

La Figura 22 muestra la variación de la PAE con respecto al costo de la intervención requerida para reducir el riesgo en el portafolio de la red vial de Manizales. Se incluye como ejemplo la distribución de las medidas de intervención aplicadas sobre los tramos de vías resultantes de la optimización para 4 niveles seleccionados arbitrariamente. Como se comentó anteriormente, la adaptación encuentra un límite natural en el punto en el cual las medidas consideradas ya no pueden aportar en la reducción de la vulnerabilidad, condición en la cual el riesgo remanente puede considerarse como residual y con muy baja volatilidad con respecto al efecto del cambio climático.

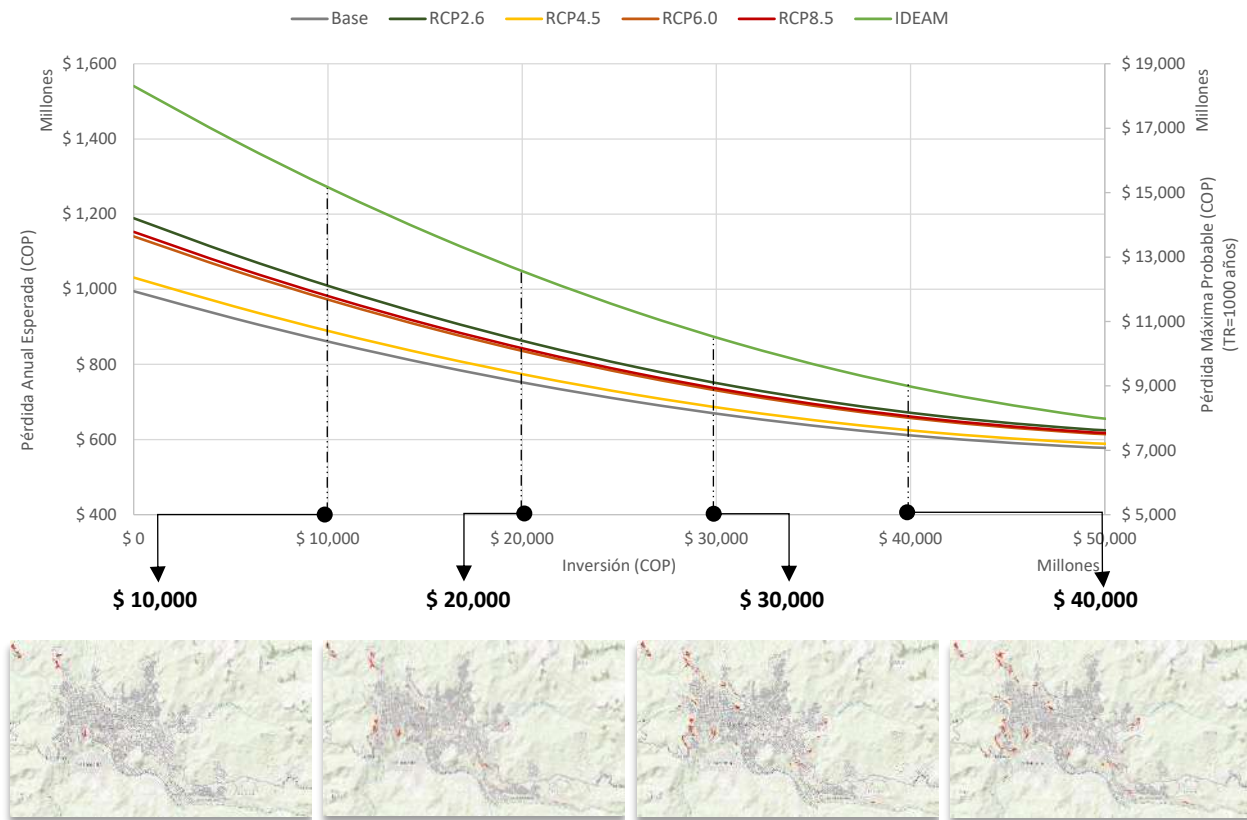


Figura 22. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de tramos viales intervenidos por cada medida de adaptación considerada.

Ahora, la Figura 23 muestra la variación de la PAE con respecto al costo de la intervención requerida para reducir el riesgo en el portafolio de edificaciones de la ciudad. Se incluye como ejemplo la distribución de las medidas de intervención aplicadas sobre las laderas de algunos sectores de la ciudad resultantes de la optimización para 3 niveles seleccionados arbitrariamente. También se puede visualizar como a medida que el monto de inversión aumenta, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible.

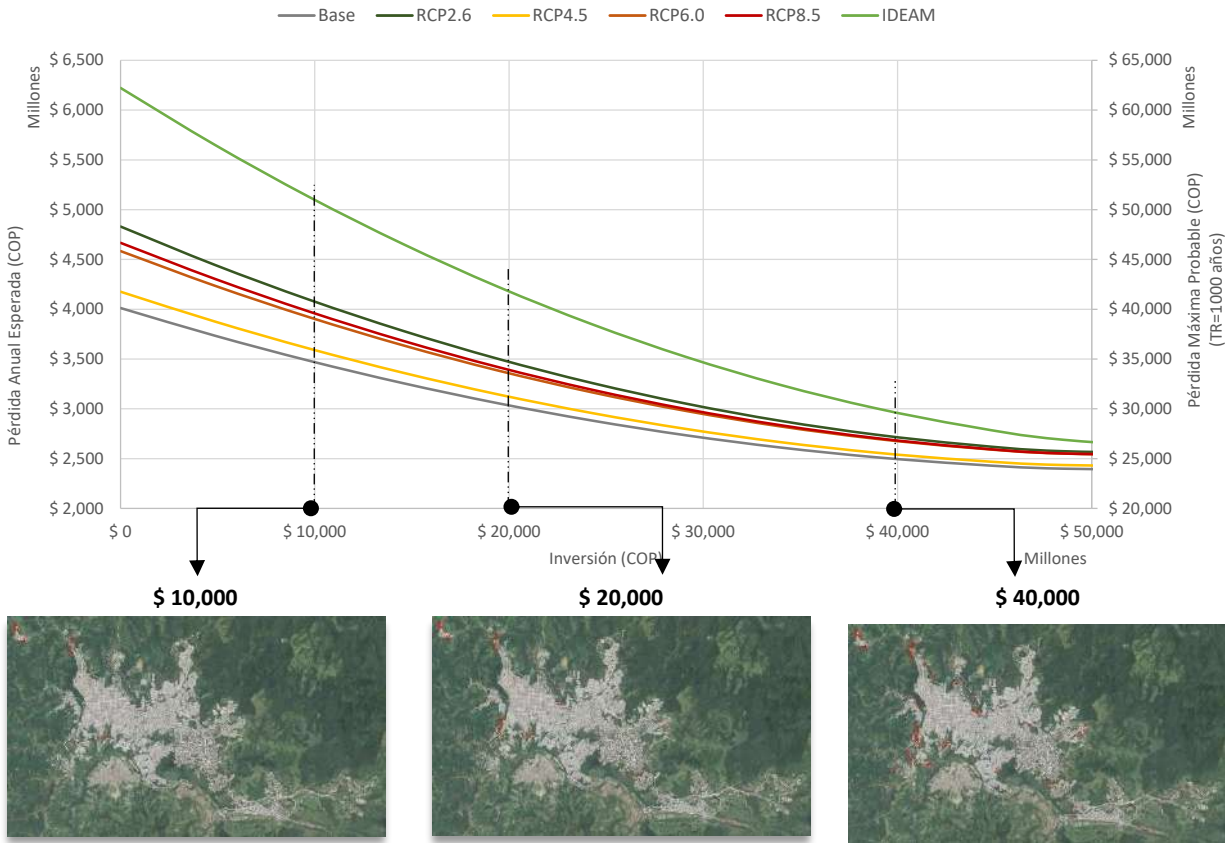


Figura 23. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 3 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la ubicación de los sectores de la ciudad intervenidos por cada medida de adaptación considerada.

4.3.3 Caldas

La Figura 24 muestra la variación en la PAE del portafolio de la red vial del departamento de Caldas, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. Al igual que en los casos anteriores a cada nivel de inversión le corresponde una cierta distribución de medidas de adaptación, obtenida de la optimización de sus efectos en reducción del riesgo y el costo requerido de implementación. En este caso se muestran 3 ejemplos de dichas estrategias con el fin de ilustrar el cambio asociado a diferentes montos de inversión, que corresponde a los tramos viales en donde se intervino la susceptibilidad. También se puede visualizar como a medida que el monto de inversión aumenta, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible.

— Base — RCP2.6 — RCP4.5 — RCP6.0 — RCP8.5 — IDEAM

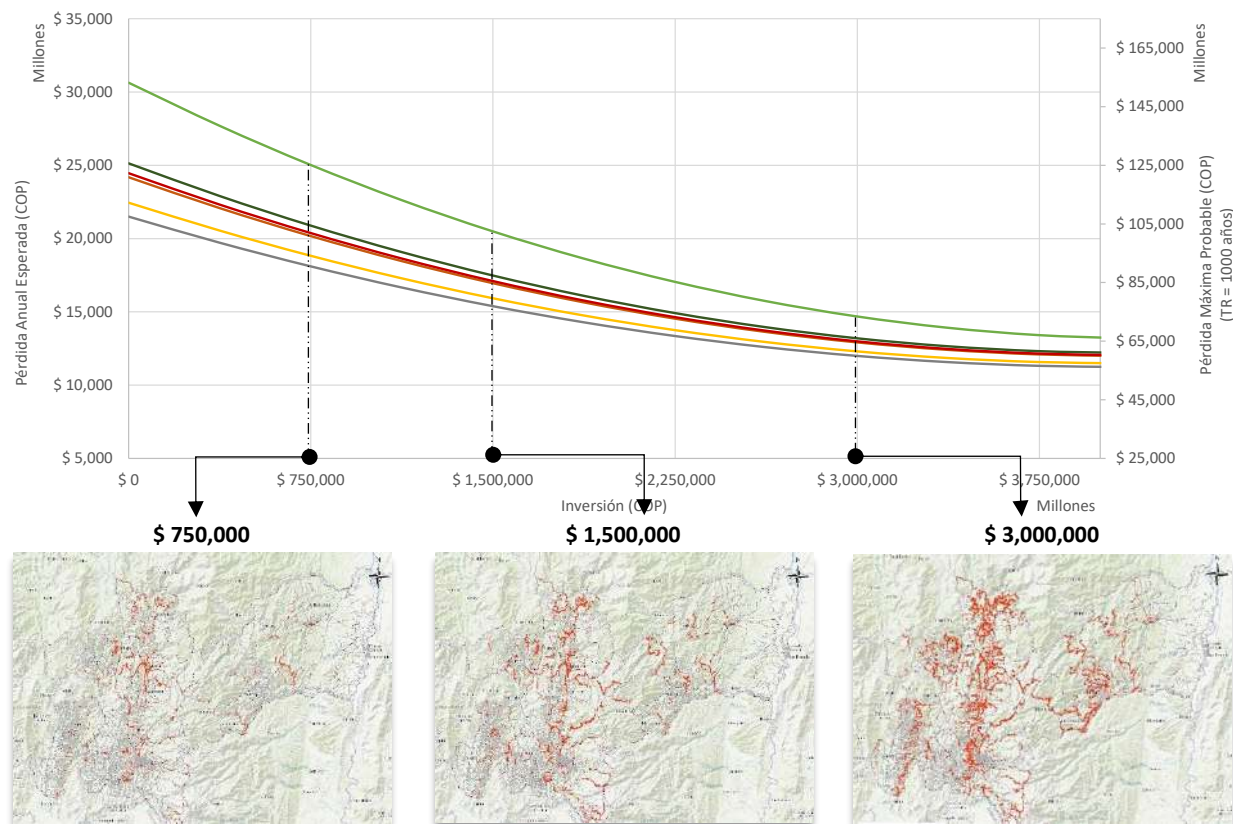


Figura 24. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 3 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la ubicación de los tramos viales intervenidos por cada medida de adaptación considerada.

4.3.4 Cauca

La Figura 25 muestra la variación en la PAE de la red vial del departamento de Cauca, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. A cada nivel de inversión le corresponde una cierta distribución de medidas de adaptación. En este caso se muestran 4 ejemplos de dichas medidas con el fin de ilustrar el cambio asociado a diferentes montos de inversión. También se puede visualizar como a medida que el monto de inversión aumenta, es decir más tramos viales son intervenidos, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible.

— Base — RCP2.6 — RCP4.5 — RCP6.0 — RCP8.5 — IDEAM

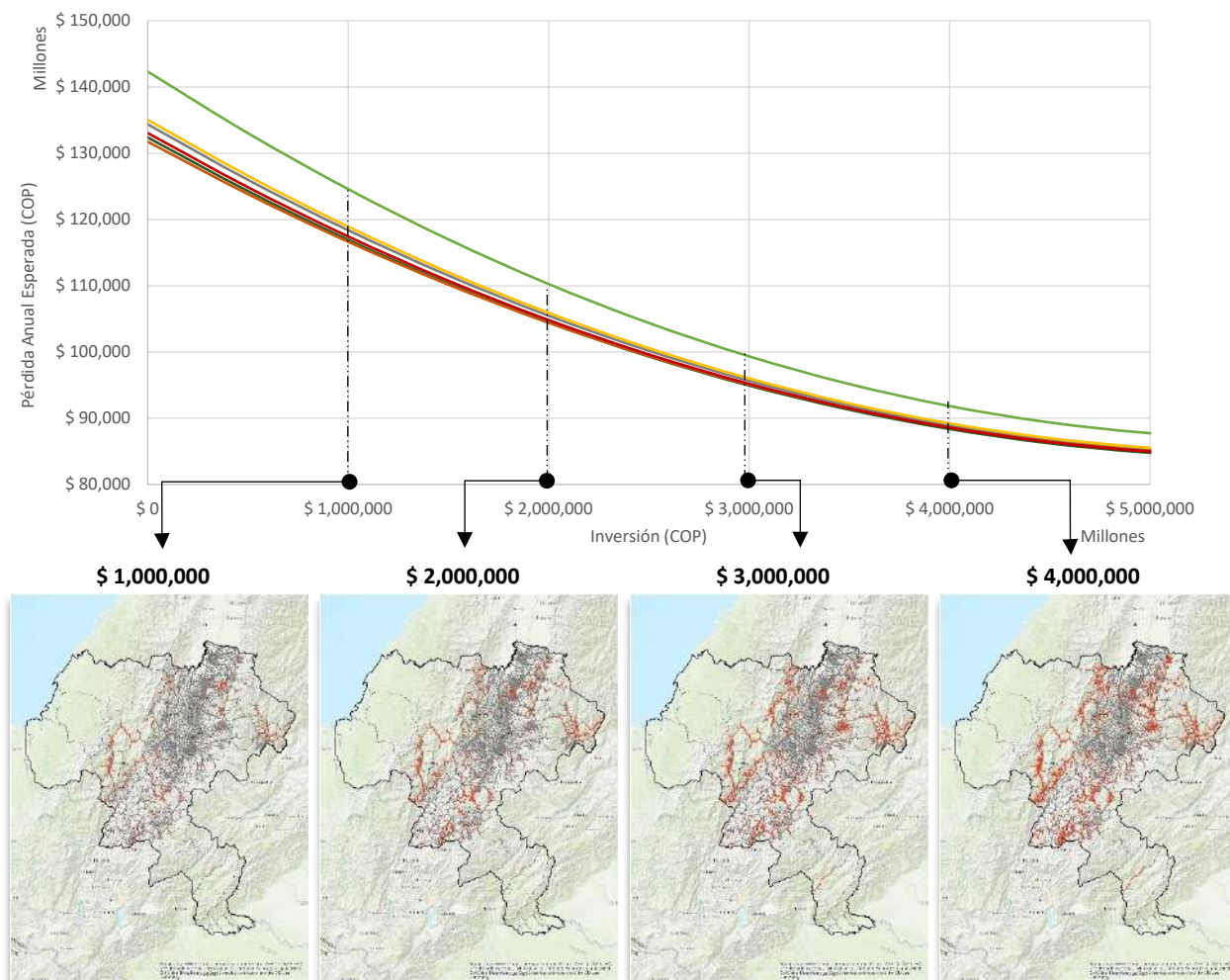


Figura 25. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de tramos viales intervenidos por cada medida de adaptación considerada.

4.4 Sequía

La agricultura es particularmente vulnerable a los desastres asociados a amenazas naturales, por su alta dependencia a las condiciones climáticas. Los desastres impactan al sector agrícola más allá del corto plazo, en especial los desastres asociados a eventos de sequía cuya fecha de inicio, duración y fecha de resolución no son fácilmente determinables. La adaptación en este caso se centra en mejorar los rendimientos y la producción de los cultivos analizados ante condiciones climáticas que pueden variar de manera importante según como se manifieste el clima futuro. La Tabla 12 muestra las PAE del portafolio de cultivos de los municipios evaluados ante los seis climas considerados en las condiciones actuales.

Tabla 12. PAE para el portafolio de cultivos, para los 6 climas considerados

Municipio	Valor expuesto (COP Millones)	PAE (COP Millones)					
		Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	IDEAM
Espinal	\$225,970	\$9,688	\$7,969	\$9,532	\$10,566	\$7,573	\$7,859

Municipio	Valor expuesto (COP Millones)	PAE (COP Millones)					
		Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	IDEAM
Guamo	\$212,401	\$11,418	\$9,810	\$11,419	\$12,365	\$9,495	\$9,489
San Onofre	\$20,406	\$2,447	\$2,590	\$2,347	\$2,738	\$2,816	\$3,113
Lorica	\$30,414	\$5,635	\$6,352	\$4,757	\$6,273	\$5,649	\$5,326

4.4.1 Espinal

La Figura 26 muestra la reducción en pérdida anual con respecto a los montos de inversión, para todos los climas considerados. Se muestran las pérdidas para el portafolio total del municipio de Espinal en el departamento del Tolima. Se presentan 3 montos de inversión arbitrarios y se desagrega la adaptación para cada uno de ellos en función del número de hectáreas intervenidas. Como hemos discutido anteriormente, la función de Inversión versus PAE tiende a estabilizarse después de cierto monto de inversión, y tiene a reducirse la volatilidad de la PAE con el clima futuro.

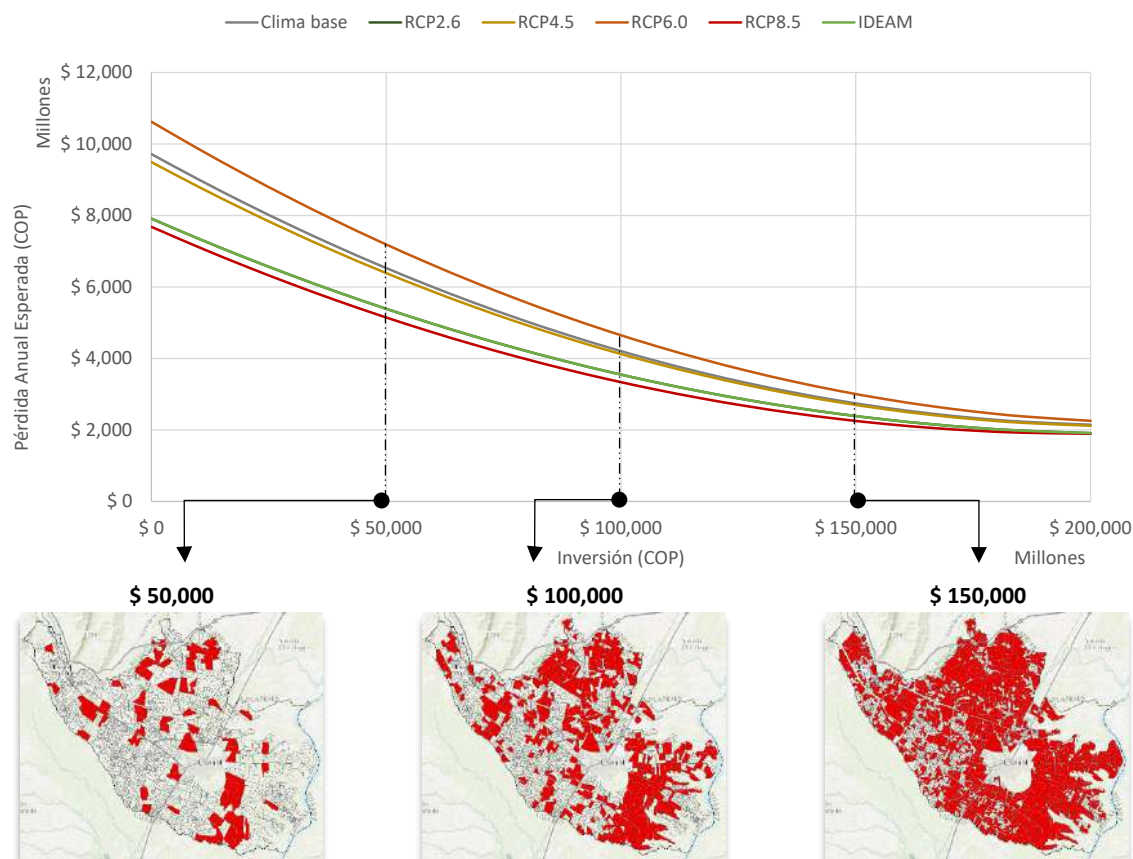


Figura 26. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 3 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de áreas intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

4.4.2 Guamo

La Figura 27 ilustra cómo varían las pérdidas anuales en relación con diferentes niveles de inversión, cubriendo varios climas. Esta figura específica se refiere al total del portafolio para el municipio de Guamo, en el departamento de Tolima. Se examinan 2 diferentes montos de inversión, y se analiza la adaptación desglosada por el número de hectáreas afectadas en cada caso. Como se ha mencionado anteriormente, la relación entre la inversión y la Pérdida Anual Esperada (PAE) tiende a estabilizarse después de alcanzar un cierto nivel de inversión, además de que la volatilidad de la PAE tiende a disminuir ante los pronósticos climáticos futuros.

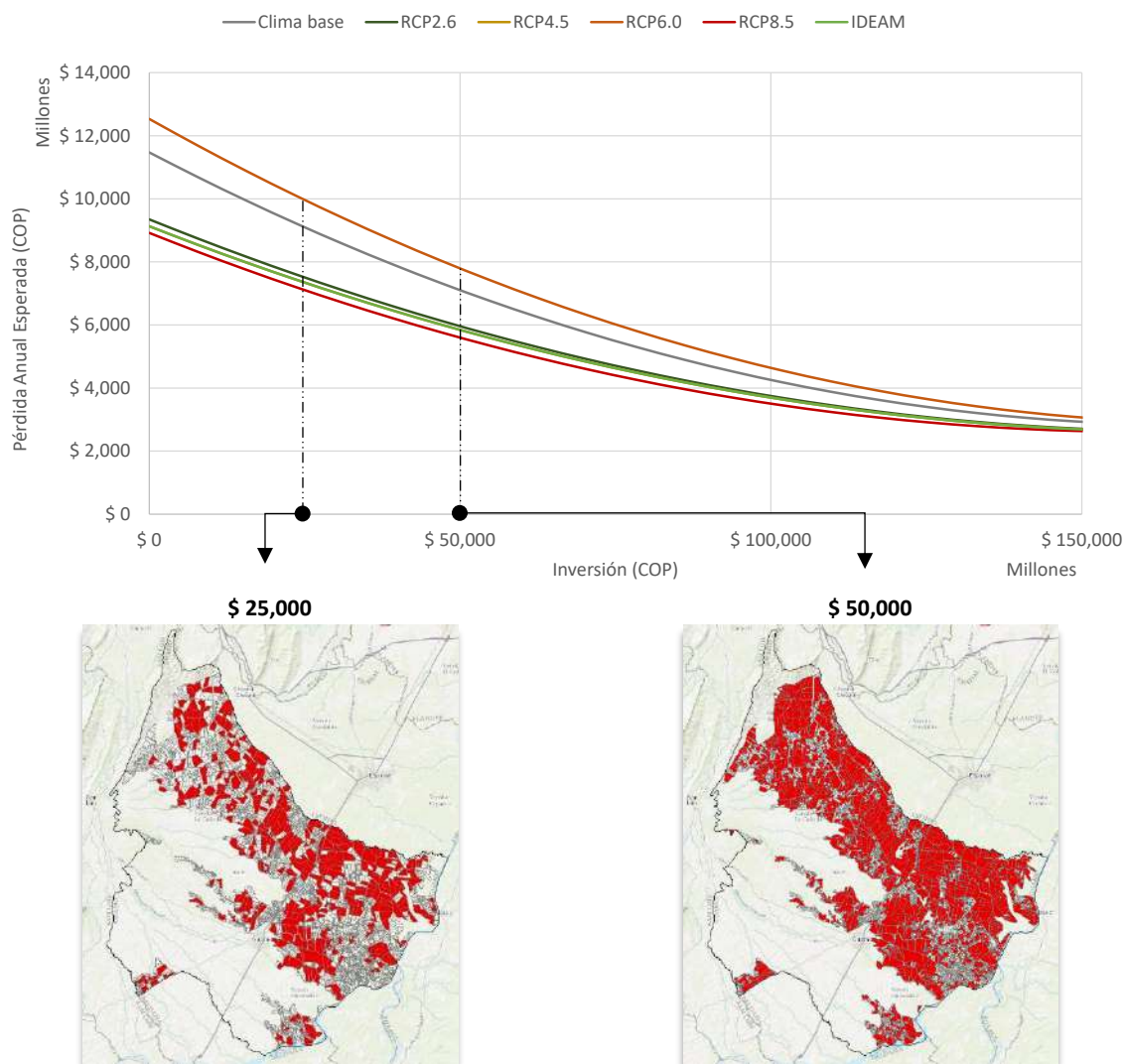


Figura 27. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 2 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de edificaciones intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

4.4.3 San Onofre

La Figura 28 ilustra la disminución de la pérdida anual en función de distintos montos de inversión para todos los climas analizados. Se detallan las pérdidas para el portafolio completo del municipio de San Onofre, en el departamento de Sucre. Se introducen 2 montos de inversión arbitrarios, y se descompone la adaptación para cada uno según el número de hectáreas tratadas. Como se ha analizado previamente, la relación entre la inversión y la Pérdida Anual Esperada (PAE) suele estabilizarse tras superar una determinada cantidad de inversión, lo cual contribuye a una menor volatilidad de la PAE frente a los cambios climáticos futuros.

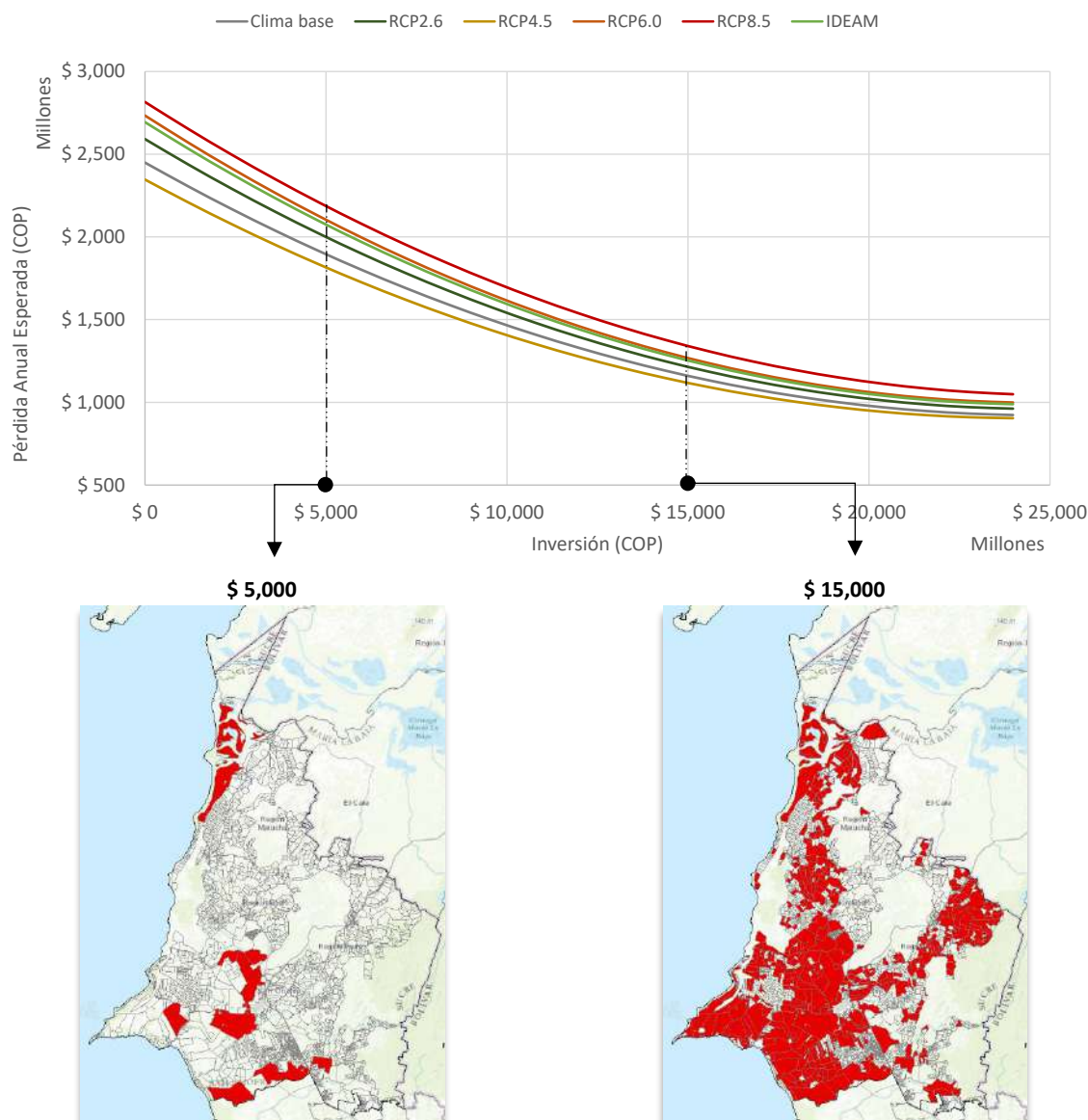


Figura 28. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 2 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de áreas intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

4.4.4 Lorica

La Figura 29 ilustra cómo varían las pérdidas anuales en relación con diferentes niveles de inversión, cubriendo varios climas. Esta figura específica se refiere al total del portafolio para el municipio de Lorica en el departamento de Córdoba. Se examinan cuatro diferentes montos de inversión, y se analiza la adaptación desglosada por el número de hectáreas afectadas en cada caso. Como se ha mencionado anteriormente, la relación entre la inversión y la Pérdida Anual Esperada (PAE) tiende a estabilizarse después de alcanzar un cierto nivel de inversión, además de que la volatilidad de la PAE tiende a disminuir ante los pronósticos climáticos futuros.

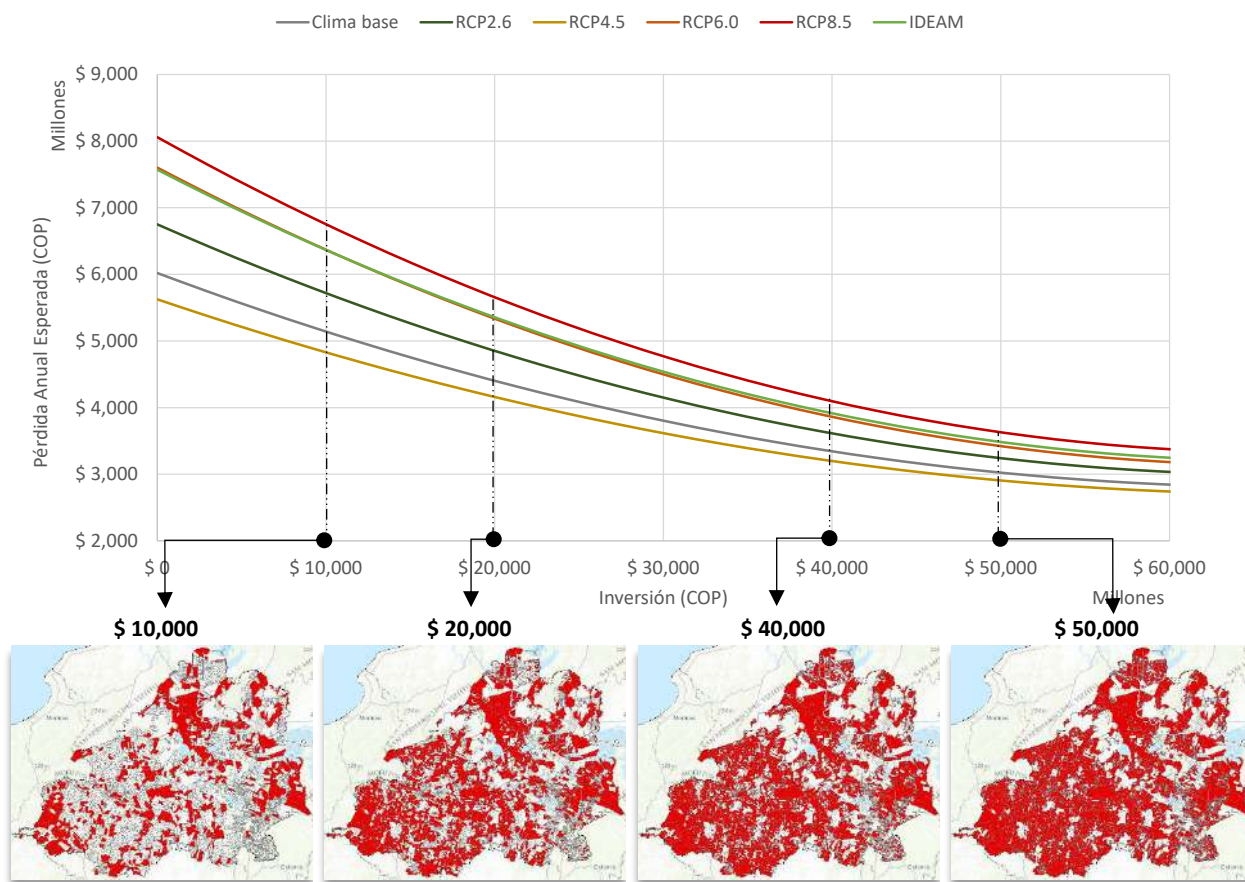


Figura 29. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación. Se presentan 4 estrategias de adaptación seleccionadas arbitrariamente con sus correspondientes montos de inversión y la distribución espacial de áreas intervenidas por cada medida de adaptación considerada.

4.5 Incendios de cobertura vegetal

En el caso de los incendios forestales, solo se prevé como medida de adaptación el mejoramiento de las capacidades de respuesta de bomberos, reduciendo así los tiempos de respuesta y minimizando las áreas quemadas en cada incendio. Esta sería una medida de adaptación totalmente centrada en el manejo de desastres. La Tabla 13 muestra los valores de PAE obtenidos en el producto 2 de esta consultoría, en términos de flujo de servicios ecosistémicos para los 6 climas considerados. Estos valores indican la

condición actual de riesgo con las capacidades existentes para combatir el fuego en los municipios de Palermo (Huila), Orocué (Casanare), San Vicente del Caguán (Caquetá) y Cumaribo (Vichada).

Tabla 13. PAE en bosques de frontera agrícola por incendios forestales para los 6 climas considerados

Municipio	Valor expuesto (COP Millones)	PAE (COP Millones)					
		Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	IDEAM
San Vicente del Caguán	\$ 53,183,615	\$ 154,416	\$ 223,371	\$ 212,734	\$ 203,829	\$ 463,248	\$ 202,098
Palermo	\$ 1,576,243	\$ 2,999	\$ 4,408	\$ 4,571	\$ 5,044	\$ 5,848	\$ 4,209
Orocué	\$ 1,972,901	\$ 9,544	\$ 12,025	\$ 20,490	\$ 19,469	\$ 28,631	\$ 2,072
Cumaribo	\$ 115,224,020	\$ 407,677	\$ 556,479	\$ 506,742	\$ 880,582	\$ 910,270	\$ 460,896

A partir de los criterios de simulación dados en la sección 3.5, se simula el efecto de mejorar gradualmente la capacidad de combatir el fuego del país, logrando paulatinamente una reducción en la PAE en servicios ecosistémicos por incendios forestales.

4.5.1 San Vicente del Caguán

La Figura 30 muestra la variación de la PAE como función del monto de inversión en el municipio de San Vicente del Caguán. Como hemos discutido anteriormente, la función de Inversión versus PAE tiende a estabilizarse después de cierto monto de inversión, y tiene a reducirse la volatilidad de la PAE con el clima futuro.

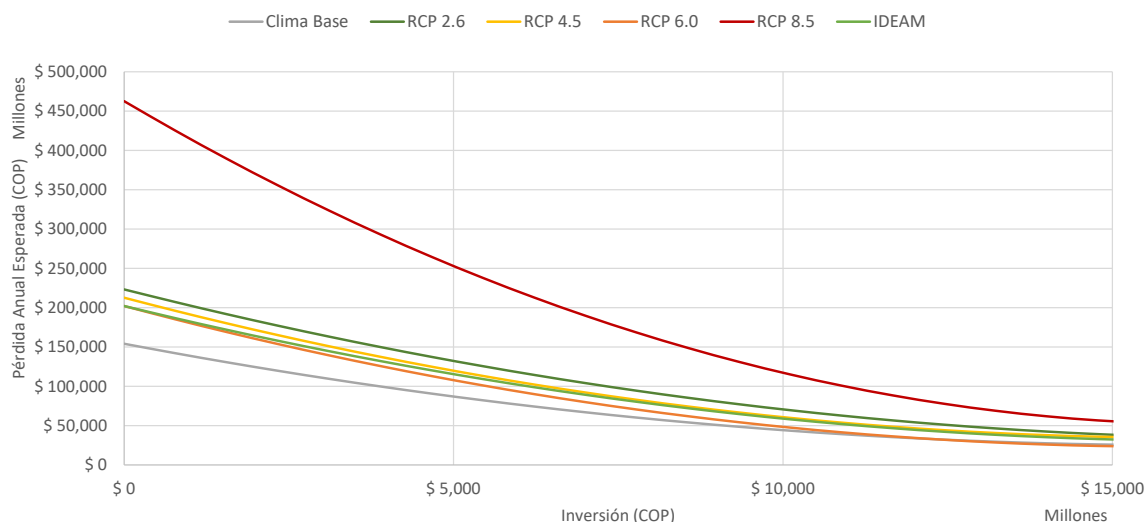


Figura 30. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

4.5.2 Palermo

La Figura 31 muestra la variación en la PAE del portafolio de bosques en frontera agrícola del municipio de Palermo, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. A cada nivel de inversión le corresponde una cierta distribución de medidas de adaptación, obtenida de la optimización de sus efectos en reducción del riesgo y el costo requerido de implementación. También se puede visualizar como a medida que el monto de inversión aumenta, el intervalo de variación de la PAE

para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible.

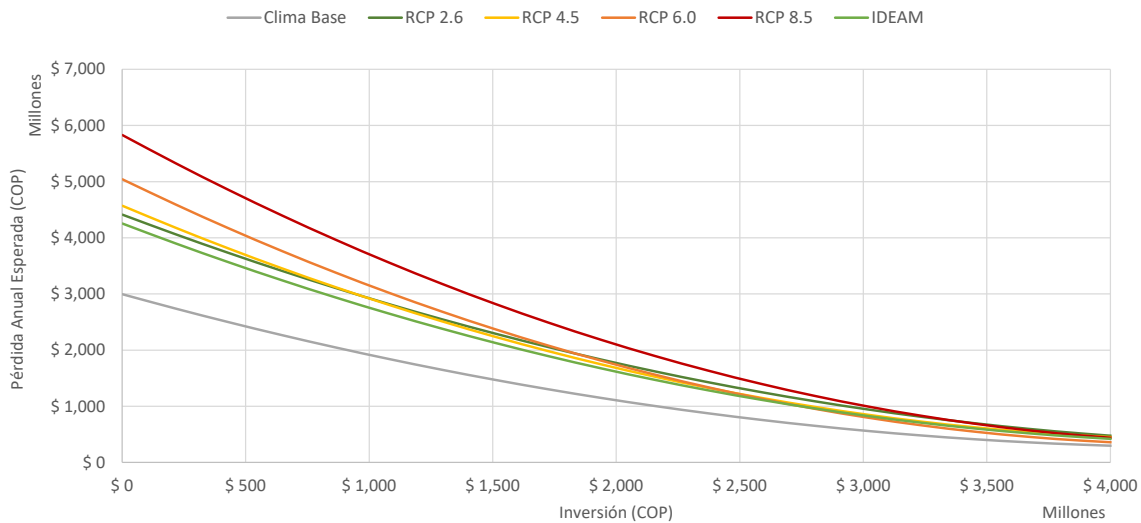


Figura 31. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

4.5.3 Orocué

La Figura 32 expone cómo varía la Pérdida Anual Esperada (PAE) del portafolio de bosques en frontera agrícola en el municipio de Orocué en función de los montos de inversión necesarios para reducir el riesgo a los niveles especificados. Para cada nivel de inversión, se asigna una distribución específica de medidas de adaptación, que se deriva de la optimización entre la efectividad en la reducción del riesgo y el costo de implementación requerido. Además, se observa que a medida que aumenta la inversión, el rango de variación de la PAE entre los diferentes climas se reduce significativamente, y las curvas tienden a estabilizarse en un valor constante de PAE, alcanzando un umbral que representa el máximo nivel de adaptación alcanzable.

— Clima Base — RCP 2.6 — RCP 4.5 — RCP 6.0 — RCP 8.5 — IDEAM

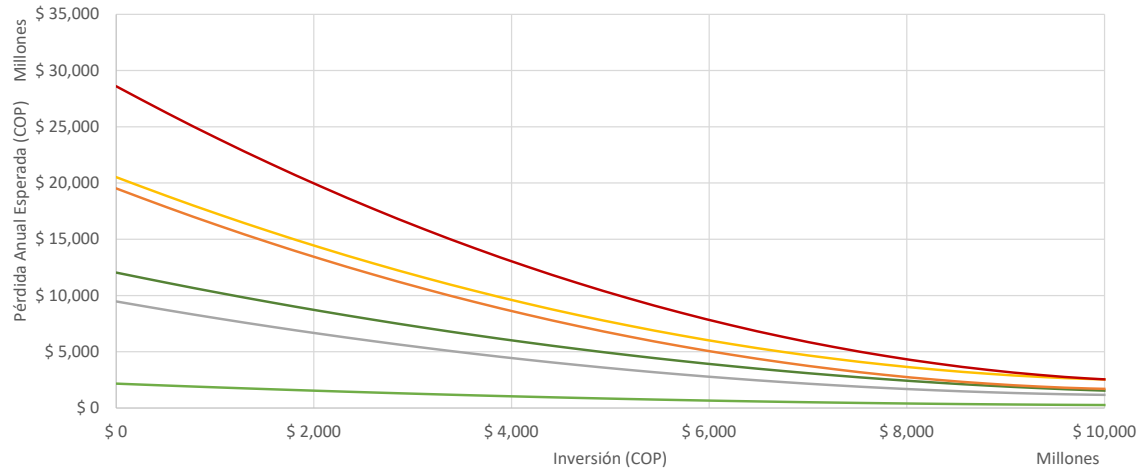


Figura 32. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

4.5.4 Cumaribo

La Figura 33 muestra la variación en la PAE del portafolio de bosques en frontera agrícola del municipio de Palermo, con respecto a los montos de inversión requeridos para llevar el riesgo a los niveles indicados. A cada nivel de inversión le corresponde una cierta distribución de medidas de adaptación, obtenida de la optimización de sus efectos en reducción del riesgo y el costo requerido de implementación. También se puede visualizar como a medida que el monto de inversión aumenta, el intervalo de variación de la PAE para los diferentes climas se hace cada vez más pequeño, y las curvas se estabilizan en un valor de PAE constante alcanzado un límite que indica un nivel máximo de adaptación posible.

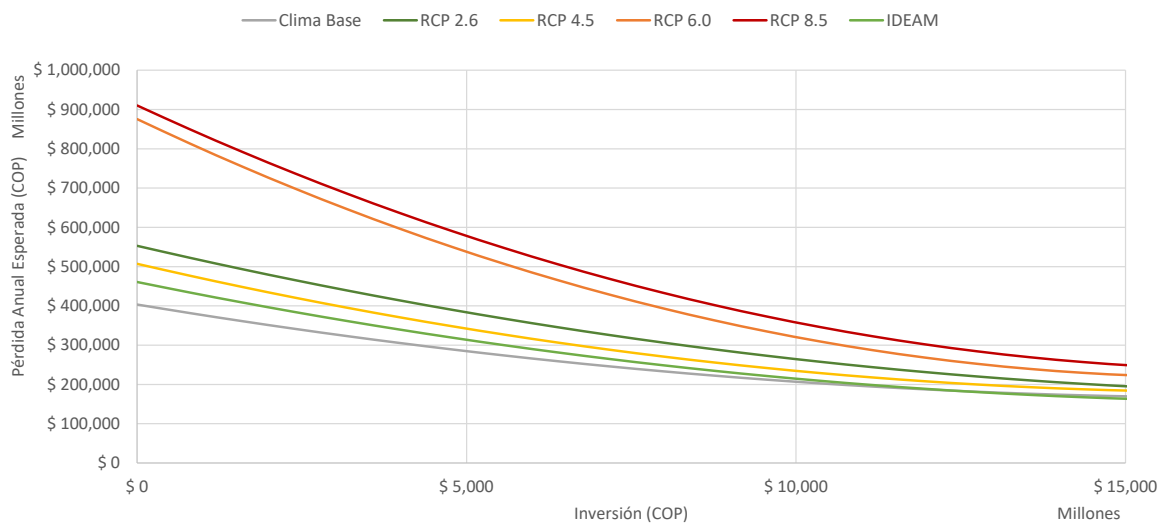


Figura 33. Variación de la PAE por cada clima considerado como función del monto de inversión en adaptación.

5 INCORPORACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DEL CONTEXTO

Con el propósito de ofrecer recomendaciones específicas de adaptación para los sectores priorizados (i.e., construcciones, infraestructura, agrícola y servicios ecosistémicos) frente a las amenazas climáticas consideradas en este estudio (i.e., inundaciones, sequías, incendios de cobertura vegetal, huracanes y deslizamientos), se ha desarrollado un procedimiento basado en indicadores. Este procedimiento permite precisar el tipo de acciones de adaptación necesarias para cada tipo de amenaza, así como establecer su priorización. Dada la amplitud de este estudio y el alcance de la consultoría, no es posible detallar completamente la implementación de todas las acciones de adaptación en cada sector. Sin embargo, 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 este estudio.

5.1 Tipos de medidas de adaptación

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 madre" 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. Las medidas específicas se agrupan según el tipo de acciones a implementar, sus objetivos y los aspectos que abordan para lograr una adaptación efectiva.

Para definir el catálogo de "medidas madre", se revisaron instrumentos nacionales como la Herramienta de Acción Climática, la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), el Plan Nacional de Adaptación y el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2030, así como experiencias de otros países que pudieron ser pertinentes.

Se han establecido cinco conjuntos de medidas, uno para cada tipo de amenaza. Dentro de cada conjunto, cada medida específica está vinculada a un indicador seleccionado, sobre la base del cual se diseñó el procedimiento de priorización dirigido a reducir el impacto de las condiciones subyacentes del riesgo. A continuación, se presentan las medidas seleccionadas para las diferentes amenazas, partiendo de la propuesta del equipo consultor en el proceso participativo con expertos y las medidas específicas derivadas.

5.1.1 Inundaciones

Las medidas propuestas se fundamentan en los lineamientos de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) de Colombia. Estas medidas se centran en fortalecer los siguientes aspectos de la gestión del riesgo:

- Conocimiento del riesgo
- Restauración de ecosistemas y sus servicios ecosistémicos
- Instrumentos de planificación
- Gestión comunitaria del riesgo de desastres
- Mejoramiento de los medios de subsistencia

- Fortalecimiento de la gobernanza y la gestión gubernamental

Tabla 14. Conjunto de medidas propuestas para riesgo por inundaciones

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Sistemas de monitoreo para inundaciones	XM1	Creación de grupos de monitoreo comunitarios para dar aviso de crecidas repentinas mediante alertas tempranas a las comunidades ubicadas río abajo y mejorar la cooperación en el intercambio de información sobre inundaciones. Formación acerca de los signos de alarma para envío de información adecuada a los distritos involucrados y a las agencias nacionales. Diseño de programas académicos para involucrar escuelas y grupos de jóvenes en la construcción de capacidad de respuesta y comunicación de alertas tempranas
Restauración de humedales y manglares (estructural, efectos en el futuro para mitigar)	XE1	Desarrollo de principios y directrices generales, tomando como referencia la experiencia de proyectos previos, como punto de partida para futuros proyectos de restauración. Consideración y análisis de los principios y directrices establecidos en la Convención de Ramsar para la conservación de humedales, en particular la Resolución VIII.16 de 2002. Implementación de estrategias de monitoreo para garantizar el cumplimiento de la Resolución 1263 de 2018, la cual actualiza las medidas destinadas a asegurar la sostenibilidad y la gestión integral de los ecosistemas de manglar en Colombia.
Reducción de la eutrofización	XE2	En colaboración con institutos de investigación, desarrollar alternativas de gestión de desechos agrícolas y ganaderos, responsables en alto grado de la eutrofización. Elaboración de guías de buenas prácticas agrícolas para reducir el uso de fertilizantes a base de fosfatos y nitratos. Apoyo a los negocios verdes y a las iniciativas de desarrollo de productos eco amigables para facilitar su producción a gran escala. Implementación de estrategias de monitoreo para asegurar el cumplimiento de la Resolución 1256 de 2021, la cual regula el uso de aguas residuales y promueve el aprovechamiento de los recursos naturales bajo el modelo de economía circular.
Arborización	XE3	Realización de un inventario de áreas con el fin de priorizar proyectos de arborización. Promoción de programas de voluntariado destinados a actividades de reforestación. Liderazgo por parte del Ministerio de Ambiente en proyectos de restauración, involucrando a las comunidades en la siembra de árboles.
Adaptación al clima	XE4	Diseño de programa de fomento de la capacidad para apoyar la reducción del riesgo a través de formatos comprensibles y accesibles a través de audiovisuales, teatro y música Implementación de programas de educación primaria y secundaria sobre acciones para la reducción y mitigación del riesgo, cómo prepararse y cómo responder frente a la ocurrencia de inundaciones
	XE5	Elaboración de planes de contingencia liderados por las UGR locales, estableciendo acciones de seguimiento y revisión de elementos críticos
Fortalecer los POMCAs para la incorporación de CC	XP1	Elaboración de directrices para la actualización de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAs), incorporando los hallazgos obtenidos de la evaluación del riesgo climático
Articulación de las medidas con las comunidades considerando sus condiciones culturales y sociales particulares	XP2	Recolectar información sobre aspectos demográficos, estructura comunitaria, roles generacionales y de género, estructuras de poder y jerarquías de las comunidades ubicadas en zonas de riesgo de inundación y generar una caracterización de la comunidad y de las estrategias, si las tienen, que han utilizado para hacer frente a los eventos de inundación Evaluar las condiciones socioeconómicas de las comunidades en riesgo, las características de las inundaciones y el estado de las instituciones como base para el desarrollo de estrategias eficientes que aseguren la participación de la comunidad en los planes y programas de reducción del riesgo. Fomentar la creación de instituciones comunitarias (asociaciones, cooperativas, organizaciones civiles, etc.) que garanticen la inclusión de todos los grupos de la comunidad y representación para sus necesidades específicas y faciliten el diálogo y las negociaciones con los diferentes y las autoridades locales, regionales y nacionales
Regulación y control de impactos por usos del suelo (ganadería que se ha introducido en los territorios)	XP3	Establecimiento de mecanismos institucionales y comunitarios para protección y conservación de ecosistemas que funcionan como barrera protectora de comunidades e infraestructura

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Sistemas de alerta temprana comunitarios	XR1	Diseño o fortalecimiento de sistemas de alerta temprana basados en la comunidad. Fortalecimiento de capacidades de las comunidades en riesgo y de los voluntarios para recibir, analizar y actuar ante las alertas e integración de los sistemas con diferentes niveles de RRD Capacitación en el uso de la plataforma FEWS del IDEAM para consultar información registrada de las estaciones automáticas en tiempo real y los reportes telefónicos para los ríos en los cuales se cuenta con infraestructura de observación (IDEAM)
Articulación entre las entidades para la definición de las medidas adecuadas Formulación y actualización de los POTs, con medidas específicas	XG1	Establecimiento de colaboración municipal para desarrollar planes específicos y eficientes de adaptación al cambio climático, incluyendo: análisis de riesgos en comunidades expuestas, definición de prioridades, establecimiento de un marco temporal para la implementación de acciones, identificación de fuentes de financiación, planificación de actividades de monitoreo y establecimiento de mecanismos de coordinación entre las entidades involucradas (CAF, 2018). Identificación de zonas seguras y adaptación de vías críticas para facilitar la evacuación de los afectados y garantizar el flujo vehicular durante la fase de recuperación. Actualización del inventario de recursos disponibles y elaboración de un plan de movilización de recursos.
Formulación y desarrollo de proyectos de inversión. Gestión predial (así como otros requisitos para ejecución de proyectos)	XG2	Implementación de sistemas de aseguramiento colectivo y planes de ahorro y crédito comunitario
	XG3	Implementar estrategias de monitoreo del cumplimiento de la Ley 1549 de 2012, la cual busca consolidar la institucionalización de la política nacional de educación ambiental y su integración efectiva en el desarrollo territorial. Especial atención se brindará al artículo 4 de dicha ley, el cual establece las responsabilidades de las entidades a nivel nacional, departamental, distrital y municipal en este ámbito, entre ellas la asignación de presupuestos anuales para la ejecución de planes, programas, proyectos y acciones

5.1.2 Sequía

Las medidas propuestas para esta amenaza se basan principalmente en las metas de adaptación establecidas en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), específicamente en la sección de agricultura y desarrollo rural, así como en los objetivos delineados en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Estas medidas se centran en los siguientes aspectos clave:

- Fortalecimiento de las capacidades de los productores
- Mejora del conocimiento técnico sobre el riesgo de desastres entre los actores del sector agrícola
- Implementación de estrategias integrales de gestión del recurso hídrico

Tabla 15. Conjunto de medidas propuestas para riesgo por sequía

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Instrumentos de participación ciudadana para la adaptación al clima	XC1	Mesas agroclimáticas comunitarias para socialización de predicciones climáticas y medidas a tomar (IDEAM)
Articulación de las medidas con las comunidades considerando sus condiciones culturales y sociales particulares	XC2	Recolectar información sobre aspectos demográficos, estructura comunitaria, roles generacionales y de género, estructuras de poder y jerarquías de las comunidades ubicadas en zonas de riesgo de sequía y generar una caracterización de la comunidad y de las estrategias, si las tienen, que han utilizado para hacer frente a los eventos de sequía. Evaluar las condiciones socioeconómicas de las comunidades en riesgo y el estado de las instituciones como base para el desarrollo de estrategias eficientes que aseguren la participación de la comunidad en los planes y programas de reducción del riesgo. Fomentar la creación de instituciones comunitarias que garanticen la inclusión de todos los grupos de la comunidad y representación para sus necesidades específicas y faciliten el diálogo y las negociaciones con las autoridades locales, regionales y nacionales

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Líneas de crédito favorables para el acceso a mejores insumos para la producción agrícola (semillas resistentes, entre otros). Sistemas de transferencia del riesgo.	XC3	Desarrollar desde la UPRA, en colaboración con instituciones académicas, talleres y programas de acompañamiento técnico y asesoramiento para la elaboración de los Planes de Ordenamiento Productivo a nivel departamental.
Adaptación al clima	XC4	Generar espacios de intercambio de saberes e insumos entre productores para promover la diversificación de la producción agrícola
	XC6	Elaboración de planes de contingencia liderados por las UGR locales, estableciendo acciones de seguimiento y revisión de elementos críticos
Diversificación de la producción agrícola sostenible	XC5	Evaluación de nuevas líneas productivas, considerando los cambios en la aptitud del suelo debido al cambio climático y otras condiciones ambientales y culturales relevantes. Implementación de un programa de subsidios para la introducción de nuevos cultivos, con el fin de incentivar la diversificación y adaptación a las condiciones cambiantes, promoviendo así la resiliencia del sector agrícola.
		Restricción de los incentivos destinados a la producción de agrocombustibles, ya que estas iniciativas tienden a favorecer los monocultivos. En su lugar, se debe priorizar la implementación de incentivos que fomenten la diversificación de cultivos y aseguren la disponibilidad de alimentos, contribuyendo así a mejorar la seguridad alimentaria y la calidad de vida de las comunidades rurales. Promoción de prácticas agrícolas sostenibles que favorezcan la diversificación de cultivos, como la rotación de cultivos, el cultivo intercalado y la agricultura orgánica Desarrollo de semillas resistentes a la sequía
Asociatividad	XC7	Fomentar la asociatividad productiva (cooperativas, trabajo asociado cooperativo, asociación mutua, modelo asociativo autogestionado, etc.) para facilitar el acceso a créditos, asistencia técnica, compra de maquinaria, mayor capacidad de negociación, control de precios. Impulso de las acciones comunales para la priorización e impulso de obras públicas comunales (obras públicas locales, vías terciarias, mercados campesinos y dotaciones comunitarias) (Agenda de Asociatividad Solidaria para la Paz)
Fortalecimiento de capacidades	XC8	Planes de extensión agropecuaria. Implementación y seguimiento de la gestión de la extensión agropecuaria, la cual se define por la Agencia de Desarrollo Rural como un servicio público, permanente y descentralizado. Este servicio está enfocado en brindar un acompañamiento integral a través de cuatro grandes grupos de servicios: asesoría técnica, capacitación y transferencia de conocimientos, investigación y desarrollo, y acceso a mercados y comercialización
Fortalecimiento del sector agrícola - mejoramiento de los índices de competitividad	XC9	Actualizaciones de las unidades agrícolas familiares (SIPRA) - unidades físicas homogéneas Establecimiento de políticas de comercio justo que reconozcan y valoren la diversidad de productos agrícolas, facilitando así el acceso de los agricultores a mercados más amplios y justos
Sistemas de alerta agroclimática	XS1	Implementación de programas para fortalecer las capacidades en el manejo de información agroclimática, con el fin de establecer sistemas de alerta temprana participativos. Difusión y capacitación en el uso de los Sistemas de Alerta Agroclimática Temprana existentes para respaldar la toma de decisiones en la prevención y mitigación de los impactos de sequías.
Líneas de crédito favorables para el acceso a mejores insumos para la producción agrícola (semillas resistentes, entre otros). Sistemas de transferencia del riesgo.	XS2	Creación de una línea especial de crédito para inversión en medidas de adaptación al cambio climático y la reconversión de la agricultura y la ganadería hacia sistemas sostenibles. Desarrollo de esquemas de colaboración público-privada. Establecimiento de un programa financiero para la cobertura en caso de caída de ingresos, que consiste en una cuenta de ahorros (libre de impuestos) manejada por el productor y diseñada para enfrentar pequeñas disminuciones en los ingresos. El productor puede depositar un porcentaje de sus ventas netas, el cual generará intereses, además de recibir una contribución del gobierno correspondiente a un porcentaje determinado de las ventas netas. Desarrollo de un esquema de microseguro agrícola parcialmente subsidiado por el Estado (proporcional al nivel de ingresos del productor), fundamentado en estudios de riesgo. Este esquema proporciona acceso a protección y sistemas de transferencia del riesgo para pequeños productores. Establecer metodologías de evaluación de la gestión e implementación de la Estrategia Nacional de Financiamiento Climático

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Seguridad hídrica	XS3	Inversiones en fondos de agua Control y monitoreo de las concesiones de agua en áreas productivas (autoridad ambiental) en época de sequía Fortalecimiento de los POMCAs, los PORH, los estudios regionales del agua (índices); en los cuales se identifican las condiciones de caudales en temporada de sequías para la toma de decisiones y control

5.1.3 Incendios de la cobertura vegetal

Las medidas para reducir el riesgo de incendios forestales en un entorno de cambio climático se basan en el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2030 y en la Ley 2169 de 2021, la cual promueve el desarrollo sostenible del país al establecer objetivos y medidas mínimas para lograr la neutralidad de carbono y la resiliencia climática. Estas medidas se centran en los siguientes aspectos:

- Educación ambiental y sensibilización
- Fortalecimiento de las capacidades locales de respuesta
- Condiciones sociales y políticas
- Producción agropecuaria
- Conocimiento del riesgo
- Planificación y ordenamiento territorial

Tabla 16. Conjunto de medidas propuestas para riesgo por incendios de la cobertura vegetal

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Educación en temas de quemas controladas	XE1	Campaña de concientización y formación acerca de los beneficios y riesgos de las quemas controladas, tipos de quemas y de los elementos que inciden en el comportamiento del fuego (materia combustible, clima y topografía), preparación previa a las quemas controladas, temporalidad, barreras cortafuego y delimitación de áreas.
	XE2	Diseño de guías y protocolos para realización de quemas controladas
	XE3	Diseño de programa de fomento de la capacidad para apoyar la reducción del riesgo a través de formatos comprensibles y accesibles a través de audiovisuales, teatro y música
Apoyo a las actividades educativas de parte de los cuerpos de bomberos	XE4	Implementación de laboratorios colaborativos para potenciar el conocimiento y experiencias locales para desarrollar herramientas de capacitación local lideradas por los cuerpos de bomberos
Estrategia del MinAmbiente para la educación, formalización y sensibilización	XE5	A partir de un diagnóstico socio-ecológico del territorio (caracterización de las actividades y usos del bosque, sus habitantes y su grado de vinculación con el lugar, cómo perciben y cohabitan con el riesgo de incendios forestales) aplicar metodologías colaborativas para fomentar el diálogo entre las poblaciones locales, científicos y organizaciones locales implicadas en la gestión del riesgo de incendios forestales
	XE6	Apoyo en la conformación y mantenimiento de los grupos de Red de Vigías Rurales - RVR, propuestos por el MinAmbiente para la detección y comunicación inmediata de la presencia de incendios forestales. Desarrollo de programa de fortalecimiento de capacidades comunitarias para la detección y respuesta temprana ante la ocurrencia de IF
Estrategia de corresponsabilidad social para la prevención de incendios forestales	XE7	Actualizar la estrategia de corresponsabilidad social en la lucha contra los incendios forestales de MinAmbiente incluyendo resultados de la evaluación probabilista del riesgo para apoyar la toma de decisiones basadas en datos y desarrollar una estrategia de divulgación en los diferentes territorios para fortalecer su implementación Revisión y actualización del sistema de indicadores de gestión local y regional establecido en la estrategia para medir la eficiencia en su implementación. Establecer una metodología para la medición de indicadores, determinando la periodicidad para el seguimiento y evaluación de la estrategia.

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Atención al conflicto social en el territorio	XC1	Medición del riesgo integral a través de la metodología de evaluación holística del riesgo para visualizar el efecto de factores sociales, económicos, ambientales (representados a través de indicadores) en la amplificación del impacto de los incendios forestales, determinando su contribución al riesgo e identificando las áreas que requieren mayor atención.
Llegar a acuerdos para el manejo de quemas controladas entre los ministerios y entidades nacionales y regionales	XC2	Revisión y actualización de la resolución N. 532 del 26 de abril de 2005, por la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras.
Incentivos financieros para la conservación	XC3	Apoyo al desarrollo de proyectos enmarcados en el Programa Nacional de PSA (Pago por Servicios Ambientales) para la preservación y restauración de ecosistemas, y a la creación de negocios verdes y sostenibles
Apoyar, promover, sensibilizar para el cambio de cultivos transitorios a permanentes Sustitución de cultivos	XA1	Evaluación de impacto ex ante del cambio de cultivos transitorios a permanentes para apoyar el desarrollo de un plan de transición que mejore las condiciones de los productores agrícolas Valor agregado a la producción rural. Desarrollo, en convenio con institutos de investigación, de procesos de transformación de la materia prima a productos para otorgar valor agregado a los productos agropecuarios y brindar opciones de diversificación de mercado a los productores, así como procesos para el aprovechamiento de residuos agrícolas
Acuerdos con productores Fortalecer capacidades de los comités de los productores para tomar decisiones	XA2	Promover la asociatividad productiva como estrategia para el fortalecimiento del sector, facilitando el acceso a programas de capacitación y educación ambiental, la difusión de buenas prácticas y fortalecimiento de la capacidad de respuesta. Realización de talleres de socialización de resultados de evaluaciones del riesgo por incendios forestales y medidas estructurales de mitigación y adaptación con análisis costo-beneficio
Diseño de políticas públicas para la prevención y respuesta a incendios forestales	XP1	Revisión de literatura de los diferentes documentos nacionales publicados en relación con la prevención de incendios forestales como la estrategia de corresponsabilidad social en la lucha contra incendios forestales, la cartilla orientadora para la gestión del riesgo en incendios forestales, la cartilla sobre prevención de incendios forestales, el plan nacional de prevención para el control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas, para la generación de un documento único de política pública que resuma las mejores medidas junto con un plan de implementación
Disponibilidad y gestión de la información para los incendios forestales (articulando sistemas de información entre entidades, centralizar información)	XP2	Evaluación del riesgo de alta resolución - valorización económica de los desastres
Fortalecer los cuerpos de bomberos (incrementar cantidad de bomberos oficiales y sus capacidades) Mantener convenios activos con los bomberos voluntarios	XP3	Revisión de la gestión y tiempos promedio de respuesta de los cuerpos de bomberos municipales para la priorización de asignación de recursos para el fortalecimiento de las UAE que contemple la reducción en los tiempos de respuesta, escuelas de formación y capacitación, renovación de equipos y construcción de nuevas estaciones.

5.1.4 Huracanes

Las medidas propuestas para la adaptación frente a la ocurrencia de huracanes se basan principalmente en los lineamientos establecidos en el Plan de Adaptación al Cambio Climático para San Andrés, Providencia y Santa Catalina y en el Plan Integral de Cambio Climático del Departamento de la Guajira. Al igual que las medidas para la amenaza por inundación, estas medidas se centran en fortalecer los siguientes aspectos de la gestión del riesgo:

- Conocimiento del riesgo
- Restauración de ecosistemas y sus servicios ecosistémicos
- Instrumentos de planificación
- Mejoramiento de los medios de subsistencia
- Fortalecimiento de la gobernanza y la gestión gubernamental

Tabla 17. Conjunto de medidas propuestas para riesgo por huracanes

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Sistema de monitoreo	XM1	<p>Establecimiento de equipos de vigilancia comunitaria dirigidos por el IDEAM, con el propósito de informar sobre alertas emitidas por autoridades pertinentes y ejecutar acciones adecuadas para salvaguardar a la población.</p> <p>Implementación de recursos interactivos para la representación visual de zonas vulnerables y la evaluación de posibles perjuicios.</p>
Construcción de viviendas seguras frente a huracanes	XP3	<p>Creación de grupos de monitoreo liderados por el Ministerio de Vivienda, para verificar el cumplimiento de los lineamientos técnicos para la construcción de viviendas resistentes a vientos, huracanes y sismos establecidos en la NSR-10, modificada parcialmente mediante Decreto 1711 de 2021 incorporando el efecto del cambio climático sobre las islas y la costa caribe del país.</p> <p>Diseño de programa de fomento de la capacidad para apoyar la reducción del riesgo a través de formatos comprensibles y accesibles a través de audiovisuales, teatro y música.</p>
Articulación de protocolos de alerta y planes de respuesta entre entidades y comunidades	XR1	<p>Elaboración de planes de contingencia liderados por las UGR locales, estableciendo acciones de seguimiento y revisión de elementos críticos</p> <p>Identificación de refugios o sitios seguros destinados a la protección de residentes en situaciones de huracanes</p>
Estrategia del MinAmbiente para la educación, formalización y sensibilización	XE1	<p>A partir de un diagnóstico socio-ecológico del territorio (caracterización de las actividades y usos del bosque, sus habitantes y su grado de vinculación con el lugar, cómo perciben y cohabitan con el riesgo de huracanes) aplicar metodologías colaborativas para fomentar el diálogo entre las poblaciones locales, científicos y organizaciones locales implicadas en la gestión del riesgo de incendios forestales.</p> <p>Diseño de programa de fomento de la capacidad para apoyar la reducción del riesgo a través de formatos comprensibles y accesibles a través de audiovisuales, teatro y música.</p> <p>Implementación de programas de educación primaria y secundaria sobre acciones para la reducción y mitigación del riesgo, cómo prepararse y cómo responder frente a la ocurrencia de inundaciones.</p>
Adaptación al clima	XE2	<p>Establecimiento de laboratorios colaborativos para fortalecer el conocimiento y las experiencias locales, con el fin de desarrollar herramientas de capacitación dirigidas a jóvenes y comunidades locales.</p> <p>Formación de grupos de voluntarios en colaboración con fundaciones e institutos ambientales, enfocados en la restauración de ecosistemas afectados o en transición.</p> <p>Negociación de acuerdos entre miembros de la comunidad local para la implementación de buenas prácticas destinadas a la recuperación de ecosistemas clave para la mitigación del riesgo y la adaptación al cambio climático.</p>
Restauración de manglares (ECODRR - SBN) (estructural, serviría para en el futuro mitigar)	XE3	Implementación de estrategias de monitoreo para garantizar el cumplimiento de la Resolución 1263 de 2018, la cual actualiza las medidas destinadas a asegurar la sostenibilidad y la gestión integral de los ecosistemas de manglar en Colombia.
	XE4	<p>Apoyo a las comunidades para garantizar su participación efectiva en el proyecto MangRes - Restauración de Manglares como Solución Basada en la Naturaleza en Reservas de Biosfera de América Latina de la UNESCO. Este proyecto tiene como objetivo principal realizar una evaluación exhaustiva del estado de los ecosistemas de manglares y su potencial de restauración. Además, busca implementar campañas de restauración utilizando tanto el conocimiento local como la ciencia, con el fin de fomentar la educación para el desarrollo sostenible. Para asegurar la continuidad de las acciones de restauración y conservación de manglares una vez finalizada la implementación del proyecto por parte de la UNESCO en 2025, se propone la creación de grupos de seguimiento compuestos por funcionarios de entidades estatales competentes. Estos grupos estarán encargados de respaldar y continuar las iniciativas iniciadas por el proyecto, garantizando así la protección a largo plazo de estos importantes afectados ecosistemas.</p>

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Articulación entre las entidades para la definición de las medidas adecuadas	XP2	Establecimiento de colaboración municipal para desarrollar planes específicos y eficientes de adaptación al cambio climático, incluyendo: análisis de riesgos en comunidades expuestas, definición de prioridades, establecimiento de un marco temporal para la implementación de acciones, identificación de fuentes de financiación, planificación de actividades de monitoreo y establecimiento de mecanismos de coordinación entre las entidades involucradas (CAF, 2018). Identificación de zonas seguras y adaptación de vías críticas para facilitar la evacuación de los afectados y garantizar el flujo vehicular durante la fase de recuperación. Actualización del inventario de recursos disponibles y elaboración de un plan de movilización de recursos.
Formulación y actualización de los POTs, con medidas específicas	XP1	Revisión y actualización del documento "Consideraciones de cambio climático para el ordenamiento territorial" del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Creación de una plataforma que contenga los resultados del riesgo a nivel municipal y la caracterización socioeconómica, utilizando índices compuestos como el Índice de Vulnerabilidad Prevalente. Además, se establecerá una periodicidad para la actualización de los estudios de riesgo y vulnerabilidad.
Control sobre el desarrollo urbano		

5.1.5 Deslizamientos

Para esta amenaza, las medidas se fundamentan principalmente en las acciones delineadas en el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático del Departamento de Caldas y en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial de Manizales, así como en el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2030. Estas medidas se definieron alrededor de los siguientes aspectos clave:

- Conocimiento del riesgo
- Fortalecimiento de los procesos productivos rurales agropecuarios
- Mejoramiento de medios de subsistencia
- Restauración y recuperación de servicios ecosistémicos
- Planificación y ordenamiento territorial
- Educación y sensibilización ambiental
- Transferencia del riesgo
- Fortalecimiento de la gobernanza y la gestión gubernamental

Tabla 18. Conjunto de medidas propuestas para riesgo por deslizamientos

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Procesos culturales para convivir y adaptarse al riesgo	XE1	Diseño de programas académicos para involucrar escuelas y grupos de jóvenes en la construcción de capacidad de respuesta y comunicación de alertas tempranas
	XE2	Campaña de concientización y educación pública para la reducción del riesgo a nivel comunitario liderada por las UGR locales en convenio con instituciones académicas e institutos de investigación
Fortalecimiento de capacidades comunitarias para enfrentar el riesgo	XE3	Diseño de programa de fomento de la capacidad para apoyar la reducción del riesgo a través de formatos comprensibles y accesibles a través de audiovisuales, teatro y música
Educación ambiental para las comunidades	XE4	Diseño y señalización de rutas de evacuación - Formación para la planificación y preparación comunitaria
Monitoreo de obras - mantenimiento de las vías	XM1	Conformación de grupos de cuidado y mantenimiento de laderas y operación y mantenimiento de equipos de monitoreo

Medidas madre	Cód	Medidas específicas
Monitoreo (amenaza, riesgo, uso de tecnologías)	XM2	Creación de grupos de monitoreo de las condiciones del terreno - Instalación de equipos de monitoreo
Acuerdos para elaboración de diseños de vías y obras de reducción del riesgo	XM3	Diseño, implementación y evaluación de estrategias de capacitación para profesionales a cargo del trazado vial, autoridades locales y regionales implicadas en la planificación del territorio y autoridades de seguridad vial
Evaluación de indicadores socioeconómicos	XM4	Evaluación holística del riesgo
Medición del desempeño territorial en gestión del riesgo	XM5	Implementación del sistema de indicadores de riesgo y de gestión del riesgo para medir el desempeño de los territorios como base para la toma de decisiones informadas
Sistemas de alerta temprana	XR1	Diseño o fortalecimiento de sistemas de alerta temprana basados en la comunidad. Fortalecimiento de capacidades de las comunidades en riesgo y de los voluntarios para recibir, analizar y actuar ante las alertas e integración de los sistemas con diferentes niveles de RRD
Control sobre zonas desocupadas/desalojadas por reubicación o relocalización de comunidades	XP1	Desarrollo de planes específicos eficientes de adaptación al clima para la red vial existente (Resultados de análisis de riesgo en la red vial, establecimiento de prioridades, marco temporal para la implementación de acciones, fuentes de financiación, actividades de monitoreo, mecanismos de coordinación entre entidades implicadas) (CAF, 2018).
Control de la expansión urbana y de la frontera agrícola y minera Modelo de ocupación del suelo integrando actividades rurales	XP2	Integración municipal para el desarrollo de normativas, recomendaciones y guías de buenas prácticas (drenaje, estabilidad de taludes y otros aspectos geotécnicos, materiales, pavimentos, estructuras) (CAF, 2018)
Cambios de uso del suelo, mejoramiento de condiciones	XP3	Establecimiento de mecanismos institucionales y comunitarios para protección y conservación de ecosistemas que funcionan como barrera protectora de comunidades e infraestructura

5.2 Procedimiento para priorizar medidas de adaptación

Como se mencionó anteriormente, el procedimiento para priorizar las medidas se basa en el uso de indicadores. 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. Para evaluar la importancia relativa de cada indicador, se utiliza el coeficiente de agravamiento F , una métrica que considera una serie de características relacionadas con la falta de resiliencia y la fragilidad social del entorno donde ocurren los desastres. Este coeficiente busca reflejar el impacto de las condiciones de contexto tanto en el riesgo actual como en el riesgo futuro.

El cálculo del coeficiente F implica transformar los valores de los indicadores según su contribución o grado de asociación con la amplificación del riesgo físico, siguiendo la metodología descrita en la sección 5.2.1.

Ahora bien, la priorización a nivel territorial se basa en los resultados del riesgo físico, los cuales indican qué municipios requieren con mayor urgencia la implementación de acciones. El énfasis en la adaptación se determina según los valores obtenidos para los diferentes indicadores, priorizando las medidas asociadas a aquellos que más contribuyen al agravamiento del riesgo.

Para garantizar una implementación más eficiente de las medidas, se propone abordar las condiciones de contexto identificando qué indicador tiene mayor grado de asociación con el agravamiento del riesgo. A

partir de los valores normalizados de cada indicador, se calculan la prioridad (Pr), la facilidad (Fd) y, finalmente, el esfuerzo (Ef). La prioridad (Pr), que determina el énfasis de adaptación, devuelve una calificación entre 1 y 10, siendo 1 la menor prioridad y 10 la máxima prioridad, y se establece entonces como:

$$Pr = A_i * 10 \quad \text{Ec. 1}$$

Mientras que, la facilidad (Fd), se calcula como el complemento del indicador:

$$Fd = (1 - A_i) * 10 \quad \text{Ec. 2}$$

Finalmente, el esfuerzo (Ef), se obtiene como la relación entre Pr y Fd :

$$Ef = P/F \quad \text{Ec. 3}$$

Este valor se utiliza para resaltar la importancia de los indicadores que más aportan al agravamiento del riesgo y para ilustrar cómo a través de su abordaje se puede evidenciar una mejora de la capacidad de adaptación.

5.2.1 Selección y transformación de indicadores

La selección de indicadores se realizó considerando que sean factores que representen aspectos subyacentes del riesgo que condicionan un agravamiento del riesgo físico actual o determinan la existencia de riesgo futuro. Estos indicadores son seleccionados con cuidado en base a criterio experto, buscando cumplir con las siguientes características básicas:

- Son indicadores robustos, publicados por fuentes nacionales oficiales.
- Existen para la totalidad (o un porcentaje importante) de las unidades territoriales de cálculo en el país.
- Brindan información directa sobre, o están directamente relacionados con las condiciones de contexto relacionadas con falta de resiliencia y la fragilidad social.

Para este estudio, se tomaron varios indicadores de la versión más reciente del Índice de Ciudades Modernas (ICM) calculado por el Observatorio del Sistema de Ciudades de la Dirección de Desarrollo Urbano del DNP (Dirección de Desarrollo Urbano - Observatorio del Sistema de Ciudades, 2022). Así mismo, se tomaron indicadores publicados por el DANE y la plataforma de estadísticas del sector agropecuario colombiano, Agronet.

Los indicadores seleccionados para el coeficiente de agravamiento reflejan condiciones de contexto que pueden influir en el riesgo físico y la capacidad de adaptación de una comunidad a los efectos del cambio climático. Por ejemplo, un mayor índice de pobreza multidimensional, una tasa elevada de inasistencia escolar o un bajo porcentaje de aguas residuales tratadas indican una situación comparativamente desfavorable, lo cual aumenta la predisposición a sufrir daños debido a la marginalidad y segregación social, así como a las desventajas y debilidades relativas reflejadas por estos indicadores. Por otro lado, un mal desempeño en términos de gobernanza, participación institucional, equidad e inclusión social, reflejan las capacidades estatales, las cuales, al estar más fortalecidas, pueden absorber el impacto, responder y recuperarse y adaptarse de manera más eficiente a los efectos del cambio climático.

En general, los indicadores seleccionados representan la susceptibilidad de una comunidad frente a eventos de amenaza, independientemente de su naturaleza o severidad.

Dado que los indicadores se generan mediante diversas técnicas y poseen diferentes unidades de medida, así como niveles variables de asociación con el riesgo, se requiere un proceso de normalización y estandarización para operar matemáticamente con ellos y obtener resultados coherentes.

El grado de asociación al riesgo puede expresarse en términos lingüísticos, como comúnmente se hace en procesos de evaluación basados en criterio de expertos. Por ejemplo, un indicador como el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) tiene una asociación creciente con la fragilidad social (mayor IPM, mayor fragilidad social). Puede incluso plantearse una escala que permita asociar el valor del indicador a un nivel de agravamiento del riesgo, por ejemplo: “bajo”, “medio” o “alto”. Ahora bien, la calificación lingüística implica un grado de asociación, que puede relacionarse con la probabilidad de un nivel de agravamiento del riesgo para cierto rango del valor del indicador.

La manipulación de variables lingüísticas en procesos matemáticos con incertidumbre fue inicialmente tratada por Zadeh (1965) cuando formuló la teoría de conjuntos difusos. Un conjunto difuso es un conjunto en el cual sus elementos tienen asociada una función de pertenencia, la cual indica la probabilidad de que el elemento pertenezca al conjunto bajo condiciones conocidas. Por ejemplo, si pensamos en la altura de las personas de algún grupo demográfico, podemos establecer tres calificadores lingüísticos: “bajo”, “mediano” y “alto”. Ahora bien, lo que representa cada calificador, en términos de una estatura exacta, es difuso. Es posible entonces definir tres funciones de pertenencia que asocian la estatura de una persona, con su probabilidad de pertenecer a cualquiera de los tres grupos, como se muestra en la Figura 34.

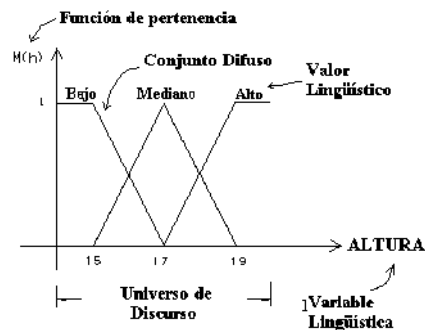
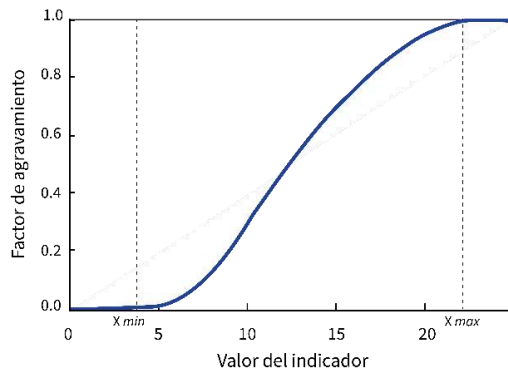


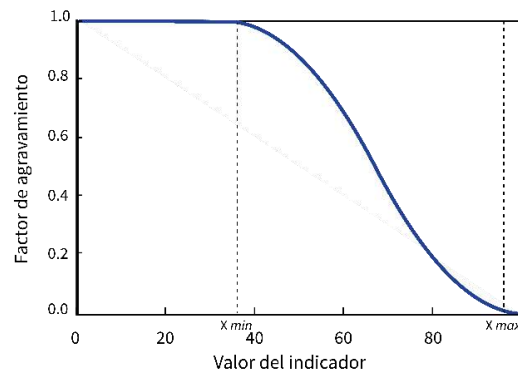
Figura 34. Ilustración de un conjunto difuso

Para la normalización de los indicadores en el conjunto de medidas para cada amenaza, se aplica el mismo concepto, pero enfocándose únicamente en la función de pertenencia del calificador lingüístico “alto agravamiento”. Es decir, se busca la probabilidad de que un valor de un indicador esté asociado a un agravamiento importante del riesgo.

Carreño (2006) encontró una forma general de transformación de indicadores por medio de funciones “S” (para indicadores de asociación creciente) o “Z” (para indicadores de asociación decreciente). Usando este tipo de funciones, los indicadores son transformados, cada uno de forma independiente según el rango de valores a cubrir, y la pertinencia del indicador para explicar la fragilidad social o falta de resiliencia. La Figura 35 muestra un ejemplo de funciones S y Z.



En la función ascendente (*S*), un valor alto del indicador resulta en una mayor contribución a la falta de resiliencia



En la función inversa y descendente (*Z*), un valor alto del indicador significa una menor influencia en la falta de resiliencia

Figura 35. Ejemplo de funciones de transformación *S* y *Z*

Los valores en las abscisas de las funciones de transformación corresponden a los valores brutos de los indicadores, mientras los valores en las ordenadas corresponden al valor final a ser usado en el cálculo del coeficiente de agravamiento. Un valor de pertenencia 0 significa no pertenencia (o no contribución al agravamiento del riesgo) mientras 1 significa pertenencia plena (o contribución total al agravamiento del riesgo). Los valores límite, denotados como X_{MIN} y X_{MAX} (ver Figura 35), se definen en función del rango de valores cubiertos en el territorio.

El coeficiente de agravamiento, F , se obtiene entonces de la suma ponderada de los factores de agravamiento que representan la fragilidad social y la falta de resiliencia, como lo expresa la ecuación Ec. 4.

$$F = \sum_{i=1}^n F_{FSi} \cdot w_{FSi} + \sum_{j=1}^m F_{FRj} \cdot w_{FRj} \quad \text{Ec. 4}$$

Nótese que, dado que las funciones de transformación corresponden a funciones de pertenencia, se está admitiendo un cierto nivel de incertidumbre en la relación entre el valor del indicador y el contexto de fragilidad social o falta de resiliencia. Al darle este tratamiento, el coeficiente de agravamiento no es más que la suma de las probabilidades totales de que los valores del conjunto de indicadores efectivamente se deban a contextos que agraven el impacto directo de los desastres. Dada la no linealidad de las relaciones entre los indicadores y el coeficiente de agravamiento, la elección de los indicadores y de las formas de las funciones de transformación, es inherentemente arbitraria.

5.2.1.1 Indicadores seleccionados por amenaza

Se han seleccionado diferentes conjuntos de indicadores para medir la adaptación al riesgo de las diferentes amenazas. Para la adaptación a la inundación, se han elegido 13 indicadores; para la sequía, 12; para los incendios forestales, 15; para huracanes, 9; y para deslizamientos, 13. La cantidad de indicadores varía según el número de medidas específicas propuestas, ya que cada medida está vinculada a un indicador específico.

Además, varios de estos indicadores se repiten en los diferentes conjuntos, ya que se considera que reflejan de manera simplificada aspectos relevantes para medir la importancia relativa de las medidas propuestas. Los indicadores seleccionados se detallan en las siguientes tablas.

Tabla 19. 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 20. 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 21. 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

Cód. Medida	Indicador
XC3	Índice de sostenibilidad
XA1	Índice de productividad, competitividad y complementariedad
XA2	Pertenece a esquemas asociativos
XP1	Tasa de grupos de investigación equivalentes a A1 Colciencias
XP2	Gestión del Riesgo de Desastres
XP3	Índice de ecosistemas estratégicos

Tabla 22. 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 23. 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

A continuación, se presentan fichas con la descripción de los indicadores seleccionados, la fuente de información y el año del dato tomado, los valores mínimo y máximo asociados al dominio de transformación del indicador y el tipo de función de transformación.

ÍNDICE DE EDUCACIÓN		
<p>Descripción: Para la estimación del índice de educación del Índice de Ciudades Modernas, se utilizan diferentes indicadores de educación superior. Los cálculos se realizan a partir de datos del Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del MinEducación e incluye los siguientes indicadores: i) Matrícula en Educación Superior - Pregrado; ii) Matrícula en Educación Superior - Posgrado; iii) Cobertura en educación superior - Pregrado; iv) Cobertura Potencial en Educación Superior - Pregrado ajustada por acceso</p>		
<p>Relevancia: Establecer condiciones que permitan el acceso a la educación superior para toda la población no solo refleja la capacidad de las instituciones municipales para fomentar sistemas de monitoreo comunitario eficientes, sino que también fortalece la capacidad de adaptación del territorio ante el cambio climático. La educación superior desempeña un papel crucial en la construcción de la resiliencia de las comunidades frente a los impactos adversos.</p> <p>Este índice ofrece una perspectiva valiosa sobre la capacidad del territorio para enfrentar los desafíos climáticos. Además, este índice no solo señala la disponibilidad de recursos humanos calificados para abordar los problemas relacionados con el cambio climático, sino que también indica la capacidad académica para diseñar e implementar programas destinados a fortalecer las capacidades de la población en diferentes niveles. Estos programas pueden incluir iniciativas de capacitación, investigación y divulgación que promuevan la conciencia y la acción comunitaria en la mitigación y la adaptación al cambio climático.</p> <p>En resumen, la inversión en educación superior y la garantía de acceso equitativo a ella son elementos fundamentales para mejorar la capacidad de adaptación de un territorio frente a los riesgos. Estos aspectos no solo contribuyen al desarrollo de recursos humanos capacitados, sino que también fortalecen la capacidad de las comunidades para enfrentar y responder de manera efectiva a los desafíos ambientales emergentes.</p>		
Fuente: Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	Año: 2022	Unidades: 0 - 100
Mínimo 0	Máximo 90	Tipo de función z
<p>Medidas vinculadas a este indicador: XM1 – Inundaciones XC7 – Sequía XE4 – Incendios forestales XE2 – Huracanes XM1 – Deslizamientos</p>		

PORCENTAJE DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS
<p>Descripción: % de caudales de aguas residuales depuradas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales.</p>
<p>Relevancia: El porcentaje de aguas residuales tratadas es un indicador clave que refleja tanto la inversión municipal en el mantenimiento de la calidad de las fuentes de agua de un territorio como el compromiso gubernamental con la preservación y cuidado de los ecosistemas y sus servicios asociados. Una alta proporción de aguas tratadas indica una mayor preocupación por la salud ambiental y la sostenibilidad a largo plazo.</p> <p>Las aguas residuales tratadas adecuadamente pueden mitigar los impactos ambientales negativos, como la contaminación de cuerpos de agua y la degradación del hábitat acuático. Además, la gestión efectiva de las aguas</p>

residuales puede contribuir a la conservación de recursos hídricos clave y a la reducción del estrés hídrico en momentos de sequía o eventos climáticos extremos.

En resumen, el porcentaje de aguas residuales tratadas no solo es un indicador de la calidad ambiental de un territorio, sino que también puede ser fundamental para fortalecer su resiliencia y capacidad de adaptación frente a los desafíos del cambio climático.

<u>Fuente:</u> Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	<u>Año:</u> 2022	<u>Unidades:</u> 0 - 100
<u>Mínimo</u> 0	<u>Máximo</u> 90	<u>Tipo de función</u> z
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XE1 – Inundaciones		

ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Descripción:
Este indicador califica el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano. IRCA asume un valor en el rango de 0 (sin riesgo) a 100 (sanitariamente inviable).

Relevancia:
Relacionado con el indicador anterior, el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) no solo refleja el compromiso gubernamental y la capacidad de inversión en el mantenimiento de la salud pública, sino que también tiene implicaciones significativas para la capacidad de adaptación del territorio frente al cambio climático. Al asegurar condiciones óptimas de calidad del agua, se reduce la incidencia de enfermedades relacionadas con el agua, lo que a su vez alivia la presión sobre el sistema de salud y promueve la resiliencia de la población frente a eventos climáticos adversos.

Una buena calidad del agua implica una mejor capacidad de diversificación de las inversiones públicas, ya que se reduce la necesidad de destinar recursos a la atención de enfermedades relacionadas con el agua. Esto permite que los recursos públicos puedan ser dirigidos hacia otras áreas de adaptación al cambio climático, como infraestructura resiliente, sistemas de alerta temprana y programas de educación y concienciación.

Además, una buena calidad del agua mejora la resiliencia de la población al proporcionar un suministro seguro y confiable de agua potable, incluso en situaciones de emergencia provocadas por fenómenos climáticos. Esto contribuye a reducir la vulnerabilidad de las comunidades ante eventos adversos.

Por lo tanto, el IRCA no solo es un indicador de la calidad del agua, sino también un componente clave en la evaluación de la capacidad de adaptación de un territorio frente al cambio climático, con implicaciones importantes para la salud pública, la resiliencia de la población y la asignación eficiente de recursos públicos.

<u>Fuente:</u> Instituto Nacional de Salud	<u>Año:</u> 2018	<u>Unidades:</u> 0 - 100
<u>Mínimo</u> 5	<u>Máximo</u> 15	<u>Tipo de función</u> s
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XE2 – Inundaciones		

ÍNDICE DE CUIDADO AMBIENTAL

Descripción:
El índice de cuidado ambiental se calculó con indicadores relacionados con la disposición final de residuos sólidos y aguas residuales tratadas, calidad del aire y uso adecuado del suelo rural

Relevancia:

El cuidado ambiental es fundamental para prevenir el aumento de la exposición y vulnerabilidad de la población ante desastres. Un entorno natural saludable actúa como una barrera protectora contra los impactos climáticos extremos al proporcionar servicios ecosistémicos que regulan el clima local, como la regulación del agua, la protección contra inundaciones y la mitigación del calor urbano.

Además, el cuidado de los recursos naturales no solo asegura condiciones óptimas de vida en términos de salud pública, sino que también refleja el compromiso del gobierno con el fomento de un desarrollo sostenible. Este enfoque busca evitar la sobreexplotación de los recursos, preservando así la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades.

Por lo tanto, el índice de cuidado ambiental se convierte en un indicador clave de la resiliencia de una comunidad o territorio frente al cambio climático. Una alta puntuación en este índice sugiere la presencia de políticas y prácticas que promueven la conservación y restauración de los ecosistemas, lo que a su vez fortalece la capacidad de adaptación de la región ante los desafíos climáticos emergentes.

Fuente: Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	Año: 2022	Unidades: 0 - 100
Mínimo 5	Máximo 90	Tipo de función z

Medidas vinculadas a este indicador:

XE3 – Inundaciones
XS3 – Sequía
XE7 – Incendios forestales
XE3 – Huracanes

ÍNDICE DE EQUITAD E INCLUSIÓN SOCIAL

Descripción:

La dimensión de Equidad e inclusión social se calculó como el promedio entre los índices de pobreza, salud y educación. Para el Índice de Pobreza se utilizó el Índice de Pobreza Multidimensional, para el de salud, mortalidad infantil y el índice de riesgo para la calidad del agua potable y finalmente, para el índice de educación se utilizaron los indicadores descritos anteriormente

Relevancia:

Este índice no solo señala las condiciones de marginación, segregación social y vulnerabilidad prevalente de la población, sino que también indica su capacidad general para absorber, responder y recuperarse eficazmente de eventos adversos.

La inclusión social y la equidad reflejan la capacidad de la sociedad para movilizarse y responder de manera colectiva ante desafíos, lo que es fundamental para la resiliencia comunitaria. Cuando existe una alta inequidad y exclusión, las comunidades más marginadas enfrentan mayores dificultades para acceder a recursos, información y apoyo durante crisis, lo que aumenta su vulnerabilidad.

Además, el índice refleja la capacidad del gobierno para proporcionar condiciones de vida óptimas a la población. Esto implica no solo garantizar necesidades básicas como vivienda, agua y alimentación, sino también crear estructuras institucionales sólidas que promuevan la participación ciudadana, la educación y la protección social.

Un gobierno que no puede satisfacer las necesidades fundamentales de su población difícilmente estará en condiciones de mejorar las infraestructuras y políticas necesarias para reducir y mitigar el riesgo de desastres. La equidad y la inclusión social son, por lo tanto, aspectos prioritarios en la agenda de adaptación al cambio climático, ya que son fundamentales para fortalecer la resiliencia de las comunidades y mejorar su capacidad de respuesta frente a eventos extremos.

Fuente: Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	Año: 2022	Unidades: 0 - 100
---	---------------------	-----------------------------

<u>Mínimo</u>	0	<u>Máximo</u>	90	<u>Tipo de función</u>	z
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XE4 – Inundaciones XC2 – Sequía XE3 – Incendios forestales XE1 – Huracanes XE3 – Deslizamientos					

ÍNDICE DE ADAPTABILIDAD Y RESILIENCIA					
<u>Descripción:</u> Para el cálculo de este índice se utilizó información relacionada con desastres por eventos naturales como promedio de personas fallecidas por evento por cada 100.000 hab., promedio de viviendas destruidas, promedio de viviendas averiadas					
<u>Relevancia:</u> Este es fundamental para evaluar la capacidad de un territorio para hacer frente al riesgo asociado al cambio climático. No solo refleja las condiciones presentes del territorio en términos de su capacidad para absorber el impacto de eventos extremos, sino que también evalúa la efectividad de las medidas gubernamentales en la gestión del riesgo a lo largo del tiempo. Un enfoque eficaz en la gestión del riesgo implica evitar la creación de condiciones que aumenten la exposición y vulnerabilidad de las comunidades a eventos peligrosos. Además, el índice también destaca la importancia de la implementación de acciones dirigidas a la reducción y mitigación de riesgos. Esto implica no solo la adopción de medidas para minimizar los impactos de eventos climáticos extremos, sino también el desarrollo de planes de acción basados en lecciones aprendidas de experiencias previas. En resumen, el índice de adaptabilidad y resiliencia proporciona una herramienta valiosa para evaluar la capacidad de adaptación de un territorio frente al cambio climático al considerar tanto las condiciones presentes como las acciones pasadas y presentes de gestión del riesgo.					
<u>Fuente:</u>	<u>Año:</u>		<u>Unidades:</u>		
Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	2022		0 - 100		
<u>Mínimo</u>	4	<u>Máximo</u>	90	<u>Tipo de función</u>	z
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XE5 – Inundaciones XC6 – Sequía XC1 – Incendios forestales XM5 – Deslizamientos					

ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD					
<u>Descripción:</u> Para el cálculo de la dimensión de Sostenibilidad se utilizaron indicadores relacionados con ocurrencia de desastres, deforestación y ecosistemas estratégicos, caudal tratado (tratamiento y estimación del servicio regional) y sitio y vida útil de disposición final de residuos sólidos					
<u>Relevancia:</u> El índice de sostenibilidad no solo refleja el compromiso gubernamental con el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible, sino que también desempeña un papel crucial en la capacidad de adaptación del territorio frente al riesgo por cambio climático. Este índice es un indicador clave de la capacidad del gobierno para proporcionar a la población zonas de asentamiento seguras y servicios públicos óptimos. En el contexto del cambio climático, un alto índice de sostenibilidad indica que el gobierno está tomando medidas efectivas para mitigar los impactos del cambio climático y proteger a sus ciudadanos. Esto puede incluir la					

implementación de políticas de gestión de riesgos, la creación de infraestructuras resilientes, la conservación de ecosistemas clave y la promoción de prácticas sostenibles en sectores como la agricultura, la energía y el transporte.

En resumen, el índice de sostenibilidad es fundamental para evaluar la capacidad de adaptación del territorio frente al cambio climático, ya que proporciona una medida integral del compromiso gubernamental con la protección del medio ambiente, el desarrollo sostenible y la seguridad de la población ante eventos extremos.

<u>Fuente:</u> Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	<u>Año:</u> 2022	<u>Unidades:</u> 0 - 100
<u>Mínimo</u> 15	<u>Máximo</u> 90	<u>Tipo de función</u> z
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XP1 – Inundaciones XC3 – Incendios forestales XP3 – Deslizamientos		

GOBERNANZA, PARTICIPACIÓN E INSTITUCIONES

Descripción:
Para el cálculo de la dimensión de Gobernanza, participación e instituciones se utilizan indicadores relacionados con la participación electoral de alcaldes y presidentes, los esquemas asociativos (integrante de áreas metropolitanas, de provincias administrativas de planificación, de regiones de planeación y gestión o asociación de municipios), considerando que la asociatividad produce economías de escala, genera sinergias y alianzas competitivas, los delitos contra la administración pública e indicadores relacionados con la disposición final de residuos regional

Relevancia:
Este índice no solo evalúa la participación política de la ciudadanía, sino también su compromiso con la mejora de la gestión gubernamental y su capacidad para exigir planes y acciones específicas que aborden los problemas identificados en el territorio.

Además, este índice mide la accesibilidad a la información política relevante, lo que permite a los ciudadanos estar informados y empoderados para realizar vigilancia preventiva y posterior sobre la gestión gubernamental. También refleja la capacidad de los gobiernos locales para desarrollar planes interdepartamentales que aborden de manera integral las diversas estrategias necesarias para mejorar la calidad de vida de los habitantes. Esto implica no solo la capacidad de proporcionar respuestas rápidas y efectivas durante y después de un desastre, sino también la capacidad de promover la adaptación a largo plazo y la reconstrucción resiliente. En resumen, el índice de gobernanza, participación e instituciones es un indicador clave para evaluar la capacidad de un territorio para enfrentar y recuperarse de los impactos del cambio climático.

<u>Fuente:</u> Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	<u>Año:</u> 2022	<u>Unidades:</u> 0 - 100
<u>Mínimo</u> 0	<u>Máximo</u> 90	<u>Tipo de función</u> z
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XP2 – Inundaciones XC1 – Sequía XE5 – Incendios forestales XP3 – Huracanes XE2 – Deslizamientos		

USO ADECUADO DEL SUELO RURAL

Descripción:
% de área rural con uso adecuado del suelo, es decir, cumpliendo con las funciones económicas y ecológicas de la propiedad

Relevancia:

Este indicador no solo da cuenta del nivel de conciencia y los recursos disponibles de la población para cuidar los recursos naturales, sino que también es un reflejo del compromiso con un desarrollo sostenible que garantice la productividad a largo plazo de los suelos sin comprometer los servicios ecosistémicos vitales. Esto implica la implementación de usos del suelo económicamente viables, socialmente compatibles y ambientalmente sostenibles.

Además, el índice de uso adecuado del suelo rural también es un medidor de la capacidad del gobierno para formular planes de ordenamiento productivo que aborden los desafíos reales del campo y ofrezcan soluciones pragmáticas y beneficiosas para los productores. Un enfoque efectivo en este sentido promueve el crecimiento del sector agropecuario al agregar valor a los productos agrícolas y mejorar su competitividad en los mercados locales e internacionales. Esto no solo beneficia a los productores, sino que también fortalece a las comunidades rurales al aumentar su capacidad de recuperación frente a los impactos de eventos climáticos adversos.

En resumen, el índice de uso adecuado del suelo rural es un indicador integral que no solo evalúa la gestión responsable de los recursos naturales, sino que también mide el compromiso con el desarrollo sostenible y la capacidad de adaptación frente al cambio climático, tanto a nivel comunitario como gubernamental.

<u>Fuente:</u> Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	<u>Año:</u> 2022	<u>Unidades:</u> 0 - 100
<u>Mínimo</u> 1	<u>Máximo</u> 90	<u>Tipo de función</u> z
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XP3 – Inundaciones		

ÍNDICE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Descripción:

Para el cálculo de esta dimensión se utilizan indicadores de velocidad y usuarios de internet.

Relevancia:

Esta dimensión es crucial en el contexto de la adaptación al cambio climático, ya que la velocidad y el acceso a Internet son determinantes para la calidad de la conexión y, por ende, para el acceso a servicios y aplicaciones que impactan el crecimiento económico y el desarrollo social.

El acceso a Internet no solo es un indicador de la capacidad de acceder a información actualizada, sino que también facilita la implementación eficiente de sistemas de alerta temprana. Una mayor cobertura de redes de Internet permite la difusión rápida y precisa de información a un amplio porcentaje de la población, lo que mejora la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia. La transmisión veloz y eficaz de información posibilita una gestión más efectiva de crisis y catástrofes.

Asimismo, una cobertura más amplia de Internet puede agilizar la respuesta posterior a un desastre al proporcionar información detallada sobre los daños. Por ejemplo, a través de productos como los mapas de desastres, se puede visualizar y evaluar la magnitud de los impactos, lo que facilita la coordinación de esfuerzos de recuperación. En resumen, el acceso a Internet juega un papel fundamental en mejorar los tiempos de respuesta y la prestación de servicios integrados durante y después de eventos adversos relacionados con el cambio climático.

<u>Fuente:</u> Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	<u>Año:</u> 2022	<u>Unidades:</u> 0 – 100
<u>Mínimo</u> 0	<u>Máximo</u> 80	<u>Tipo de función</u> z
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XR1 – Inundaciones XE1 – Incendios forestales XM1 – Huracanes XR1 – Deslizamientos		

ÍNDICE DE FORTALEZA INSTITUCIONAL		
<p>Descripción: Evaluación de la solidez o debilidad del marco institucional de los municipios. Para el ICM se calculó como la tasa de sentencias de delitos contra la administración pública por cada 100 mil habitantes.</p> <p>Relevancia: Este índice refleja la habilidad de las instituciones para implementar planes, estrategias y acciones gubernamentales de manera eficiente y además indica la solidez del entorno institucional, que es crucial para promover el desarrollo sostenible.</p> <p>La fortaleza institucional proporciona estabilidad, creando un ambiente propicio para el establecimiento de planes y medidas de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático a largo plazo. Este entorno estable facilita la continuidad y coherencia en la implementación de estas medidas a lo largo de diferentes periodos de gobierno.</p> <p>Por lo tanto, la relevancia del índice de fortaleza institucional radica en su capacidad para garantizar la continuidad y efectividad de las acciones de adaptación al cambio climático, proporcionando un marco sólido y coherente que favorece la resiliencia del territorio frente a los impactos de eventos adversos.</p>		
<p>Fuente: Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP</p>	<p>Año: 2022</p>	<p>Unidades: 0 – 100</p>
<p>Mínimo 0</p>	<p>Máximo 80</p>	<p>Tipo de función z</p>
<p>Medidas vinculadas a este indicador: XG1 – Inundaciones XC8 – Sequía XC2 – Incendios forestales XP2 – Huracanes XP1 – Deslizamientos</p>		

ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD, COMPETITIVIDAD Y COMPLEMENTARIEDAD		
<p>Descripción: Para el cálculo de esta dimensión se utilizan indicadores de carga y relaciones uni-bidireccionales (número de relaciones uni y bidireccionales de la carga transportada por carretera desde el municipio), y el valor agregado municipal (calculado con valor agregado urbano, agrícola y sin actividades extractivas)</p> <p>Relevancia: Este índice refleja la solidez productiva del territorio, proporcionando información sobre su capacidad para afrontar los desafíos climáticos emergentes. Una mayor productividad no solo indica una capacidad de inversión más amplia, sino también un mayor interés por parte del gobierno central en mejorar las condiciones del territorio. Esto se traduce en una mejora de la infraestructura y en una mejor prestación de servicios básicos para la población, lo cual es fundamental en la adaptación a los impactos del cambio climático. Además, la competitividad del territorio juega un papel crucial en su capacidad de adaptación. Un territorio competitivo está mejor posicionado para enfrentar los cambios climáticos, ya que puede aprovechar más eficientemente sus recursos y responder de manera más efectiva a los desafíos económicos y ambientales.</p>		
<p>Fuente: Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP</p>	<p>Año: 2022</p>	<p>Unidades: 0 - 100</p>
<p>Mínimo 5</p>	<p>Máximo 80</p>	<p>Tipo de función z</p>
<p>Medidas vinculadas a este indicador: XG2 – Inundaciones XC9 – Sequía XA1 – Incendios forestales</p>		

XR1 – Huracanes

GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

Descripción:

Componente del Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades. La dimensión de gestión del riesgo de desastres se refiere a los avances del municipio en la implementación de la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Esta dimensión incorpora instancias e instrumentos de GRD como la existencia del Consejo Municipal para la GRD, el estado del Plan Municipal de GRD y la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias. También incluye la inversión por habitante en conocimiento y reducción del riesgo de desastres realizada por el municipio.

Relevancia:

La gestión del riesgo de desastres (GRD), en el contexto de la implementación de la Política Nacional correspondiente, señala la solidez del municipio en términos de preparación y respuesta a eventos adversos y refleja el compromiso y la efectividad de las autoridades locales en fortalecer el territorio ante estos desafíos. Una sólida gestión del riesgo de desastres implica no solo la identificación y evaluación de peligros, sino también la implementación de medidas preventivas, de mitigación y de preparación.

El fortalecimiento de la capacidad institucional y la coordinación intersectorial son elementos fundamentales en este proceso. La capacidad de respuesta rápida y efectiva ante desastres no solo reduce el impacto de los eventos adversos, sino que también contribuye a una recuperación más rápida y menos costosa.

Fuente:

DNP

Año:

2018

Unidades:

0 - 1

Mínimo

0

Máximo

1

Tipo de función

z

Medidas vinculadas a este indicador:

XG3 – Inundaciones

XS1 – Sequía

XP2 – Incendios forestales

XP1 – Huracanes

XM3 – Deslizamientos

CONECTIVIDAD FÍSICA

Descripción:

Tiempo de viaje por carretera al núcleo más cercano (valor estandarizado)

Relevancia:

Una red de transporte eficiente es un indicador del compromiso del gobierno central con el desarrollo territorial y el crecimiento económico. En primer lugar, una red de transporte eficiente desde las zonas rurales hacia los centros urbanos facilita el transporte de productos regionales, mejorando así las condiciones de negociación de los productores y promoviendo el desarrollo económico local. Esta accesibilidad también refleja una colaboración intermunicipal que fortalece las capacidades del departamento en su conjunto.

Por otro lado, una red de transporte bien desarrollada y mantenida puede contribuir a mitigar los impactos negativos del cambio climático al permitir una respuesta más rápida y flexible a las crisis.

En resumen, el tiempo de viaje por carretera al núcleo más cercano no solo es un indicador de la eficiencia del transporte, sino que también juega un papel crucial en la capacidad de adaptación del territorio frente al cambio climático al facilitar la movilidad de personas y bienes, y al permitir una respuesta más efectiva ante situaciones de crisis.

Fuente:

Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP

Año:

2022

Unidades:

0 - 100

Mínimo

1

Máximo

90

Tipo de función

z

Medidas vinculadas a este indicador:

XC3 – Sequía

CATEGORÍA DE RURALIDAD
Descripción:

La categoría de ruralidad estipula 4 categorías que indican el nivel de ruralidad del municipio, el cual es mayor para los municipios rurales dispersos y menor para las ciudades y aglomeraciones. Esta categorización da cuenta de aquellos municipios que tienen una importancia regional y con acceso a diversos bienes y servicios – (valor estandarizado)

Relevancia:

Esta clasificación ofrece una visión clara de la situación de un municipio en términos de acceso a servicios básicos y a oportunidades generadas por una mayor productividad local. Además, revela su importancia a nivel nacional, lo que puede traducirse en una mayor atención por parte del gobierno central para mejorar las condiciones de vida de la población y en niveles más altos de inversión externa.

En este sentido, los municipios rurales dispersos, al tener una categoría de ruralidad más alta, podrían enfrentar desafíos particulares en su capacidad de adaptación al cambio climático, ya que pueden tener acceso limitado a recursos y servicios clave. Por otro lado, las ciudades y aglomeraciones urbanas, con menor categoría de ruralidad, podrían estar mejor equipadas para hacer frente a los impactos del cambio climático debido a su infraestructura más desarrollada y a su acceso a una variedad de servicios y recursos.

Por lo tanto, comprender y tener en cuenta la categoría de ruralidad es fundamental para diseñar estrategias efectivas de adaptación al cambio climático que aborden las necesidades específicas de cada tipo de territorio.

Fuente:

Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP

Año:

2022

Unidades:

0 - 100

Mínimo

0

Máximo

100

Tipo de función

z

Medidas vinculadas a este indicador:

XC4 – Sequía

VALOR AGREGADO SIN ACTIVIDADES EXTRACTIVAS COMO PROPORCIÓN DEL ÁREA MUNICIPAL
Descripción:

Valor agregado sin sector minería e hidrocarburos por km². El valor agregado refleja la participación y el excedente económico de producción que aporta cada municipio al departamento.

Relevancia:

Un municipio con una economía más diversificada y productiva estará en una mejor posición para afrontar y recuperarse de los impactos de eventos adversos. La capacidad de absorber, responder y adaptarse a desastres o derivados del cambio climático se ve directamente beneficiada por una economía robusta y dinámica.

Además, una mayor fluidez económica proporcionará al gobierno local una mayor capacidad de inversión en proyectos de infraestructura pública, mejora de servicios básicos y calidad de vida de los ciudadanos. Estas inversiones no solo fortalecen la infraestructura física del municipio, sino que también promueven la capacidad de recuperación y la resiliencia comunitaria frente a desafíos climáticos.

Fuente:

Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP

Año:

2022

Unidades:

0 - 100

Mínimo

2

Máximo

60

Tipo de función

z

Medidas vinculadas a este indicador:

XC5 – Sequía

CRÉDITOS AGROPECUARIOS A PEQUEÑOS PRODUCTORES		
<u>Descripción:</u> Muestra el valor total del número de créditos realizados por el Banco Agrario a pequeños productores para cada departamento por municipio durante el período 2010-2023		
<u>Relevancia:</u> <p>Los créditos destinados a pequeños productores desempeñan un papel crucial en el impulso de prácticas agrícolas sostenibles, lo cual es fundamental para reducir el riesgo de desastres y mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático. Estos créditos no solo representan un respaldo financiero para los agricultores, sino que también facilitan la adopción de técnicas agrícolas más amigables con el medio ambiente.</p> <p>El aumento de la productividad agrícola, en armonía con la conservación del entorno, no solo conlleva beneficios económicos para los productores, sino que también contribuye a su competitividad en el mercado. Este incremento de ingresos resultante les permite mejorar sus condiciones de vida y los capacita para acceder a bienes y servicios que refuerzan su resiliencia frente a los eventos adversos.</p> <p>Al promover prácticas agrícolas más sostenibles, los pequeños productores pueden mantener un equilibrio entre la producción y la preservación del medio ambiente, así como de los servicios ecosistémicos que este proporciona.</p>		
<u>Fuente:</u> Agronet	<u>Año:</u> 2010 - 2023	<u>Unidades:</u> Créditos por cada 100 habitantes
<u>Mínimo</u> 5	<u>Máximo</u> 50	<u>Tipo de función</u> z
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XS2 – Sequía		

ANALFABETISMO		
<u>Descripción:</u> Porcentaje de hogares con personas de 15 años o más que no saben leer ni escribir		
<u>Relevancia:</u> <p>La falta de acceso a oportunidades educativas refleja una situación comparativamente desfavorable. El analfabetismo limita la capacidad de las personas para acceder a recursos que les permitan mejorar su calidad de vida.</p> <p>Por otro lado, las personas analfabetas enfrentan dificultades significativas para acceder a información crucial sobre la reducción del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático, lo que limita su capacidad de tomar decisiones informadas sobre medidas de prevención y mitigación.</p> <p>Además, la participación efectiva en esfuerzos comunitarios de adaptación se ve obstaculizada por el analfabetismo. Las personas analfabetas pueden encontrarse excluidas de procesos de toma de decisiones y de la implementación de medidas de adaptación, lo que limita la eficacia de las respuestas comunitarias ante los eventos.</p>		
<u>Fuente:</u> DANE	<u>Año:</u> 2018	<u>Unidades:</u> 0 – 100
<u>Mínimo</u> 4	<u>Máximo</u> 35	<u>Tipo de función</u> s
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XE2 – Incendios forestales XE4 – Deslizamientos		

ACCESO A INTERNET
<u>Descripción:</u> Porcentaje de hogares con acceso a internet

Relevancia: El acceso a Internet posibilita la transmisión veloz y eficaz de la información, facilitando la gestión de crisis. Además, disponer de información sólida que alcance a una parte significativa de la población y a las agencias correspondientes puede mejorar los tiempos de respuesta y la prestación de servicios integrados en situaciones de desastre. De igual manera, una cobertura de Internet más amplia puede facilitar la respuesta posterior al desastre al proporcionar información de calidad e informes sobre los daños (ej. Disaster Maps Product)		
Fuente: DANE	Año: 2018	Unidades: 0 - 100
Mínimo 10	Máximo 40	Tipo de función z
Medidas vinculadas a este indicador: XE6 – Incendios forestales		

PERTENENCIA A ESQUEMAS ASOCIATIVOS		
Descripción: Pertenece a un esquema asociativo territorial (EAT) - unión libre y voluntaria de dos o más entidades territoriales para atender propósitos comunes (necesidades o potencialidades) que han identificado previamente y que podrían impulsar el desarrollo autónomo y autosostenible del territorio - (valor estandarizado)		
Relevancia: El compromiso gubernamental con el fomento de proyectos intermunicipales y el trabajo conjunto para mejorar las condiciones del departamento en su totalidad es fundamental para fortalecer la resiliencia ante desastres naturales y el cambio climático. La adhesión a un EAT implica una mayor coordinación entre municipios para identificar y abordar riesgos compartidos y potenciales impactos del cambio climático. Esta colaboración facilita la implementación de medidas de adaptación y mitigación, ya que permite aprovechar recursos y conocimientos de manera más eficiente. Además, promueve la articulación de planes y acciones, lo que resulta en una gestión más integral y efectiva de los riesgos. En este contexto, los municipios que forman parte de un EAT pueden beneficiarse de una mejor capacidad de respuesta ante desastres, gracias a la colaboración en la identificación temprana de riesgos, la elaboración de planes de contingencia y la ejecución de acciones preventivas. Asimismo, la unión en un EAT puede contribuir a mejorar las condiciones económicas locales, al impulsar proyectos conjuntos que generen empleo, promuevan el desarrollo sostenible y fortalezcan la infraestructura resiliente.		
Fuente: Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	Año: 2022	Unidades: 0 – 100
Mínimo 0	Máximo 100	Tipo de función z
Medidas vinculadas a este indicador: XA2 – Incendios forestales XP2 – Deslizamientos		

TASA DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN
Descripción: Número de grupos de investigación equivalentes a A1 Colciencias
Relevancia: Este indicador muestra el compromiso del gobierno con el respaldo a la investigación científica. El fortalecimiento de este campo no solo implica una mayor inversión en recursos e infraestructura para la investigación, sino también la promoción de colaboraciones entre instituciones públicas y centros de investigación para desarrollar estrategias efectivas de mitigación del riesgo.

El apoyo de la comunidad científica es esencial para avanzar en la comprensión de los riesgos. Los estudios científicos rigurosos proporcionan la base para la toma de decisiones informadas en la gestión de desastres y la formulación de políticas de adaptación al cambio climático. Al fomentar un entorno propicio para la investigación y la colaboración entre diversos actores, se puede mejorar la capacidad de anticipación, prevención y respuesta frente a eventos extremos.

<u>Fuente:</u> Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	<u>Año:</u> 2022	<u>Unidades:</u> 0 – 100
<u>Mínimo</u> 10	<u>Máximo</u> 50	<u>Tipo de función</u> z
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XP1 – Incendios forestales		

ÍNDICE DE ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS

Descripción:
Este componente se calcula con los siguientes indicadores: i) Porcentaje de área del municipio con ecosistemas estratégicos, áreas de protección y cobertura de bosque y ii) Hectáreas de bosques deforestados

Relevancia:
El índice de ecosistemas estratégicos es una herramienta clave para evaluar la importancia ambiental de un municipio. No solo indica la priorización necesaria en términos de protección y desarrollo sostenible, sino que también refleja el compromiso actual hacia el cuidado de los servicios ecosistémicos. Este compromiso es fundamental para mantener un medio ambiente saludable que, a su vez, contribuye significativamente a la reducción del riesgo de desastres.

La conservación y adecuada gestión de los ecosistemas estratégicos pueden aumentar la resiliencia de las comunidades frente a eventos extremos. Al preservar estos ecosistemas, se garantiza la provisión continua de servicios ambientales vitales, como la regulación hídrica, la protección contra la erosión del suelo y la mitigación del cambio climático mediante la captura y almacenamiento de carbono.

<u>Fuente:</u> Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	<u>Año:</u> 2022	<u>Unidades:</u> 0 – 100
<u>Mínimo</u> 3	<u>Máximo</u> 90	<u>Tipo de función</u> z
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XP3 – Incendios forestales		

PROPORCIÓN DE ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS, ÁREAS DE PROTECCIÓN Y ÁREAS DE BOSQUE

Descripción:
Porcentaje de área del municipio con ecosistemas estratégicos, áreas de protección y cobertura de bosque

Relevancia:
Este indicador refleja la importancia ambiental del municipio e indica la priorización necesaria en términos de protección y desarrollo sostenible. La conservación y adecuada gestión de los ecosistemas estratégicos pueden aumentar la resiliencia de las comunidades frente a eventos extremos. Al preservar estos ecosistemas, se garantiza la provisión continua de servicios ambientales vitales, como la regulación hídrica, la protección contra la erosión del suelo y la mitigación del cambio climático mediante la captura y almacenamiento de carbono.

<u>Fuente:</u> Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP	<u>Año:</u> 2022	<u>Unidades:</u> 0 – 100
<u>Mínimo</u> 1	<u>Máximo</u> 60	<u>Tipo de función</u> z

Medidas vinculadas a este indicador:

XE4 – Huracanes

INASISTENCIA ESCOLAR

Descripción:

Hogares en donde uno o más niños entre 7 y 11 años de edad, parientes del jefe de hogar, no asisten a un centro de educación formal

Relevancia:

La falta de acceso al sistema educativo crea una desventaja significativa que limita las oportunidades futuras de los individuos en la vida adulta. Además, este indicador refleja las condiciones deficientes del municipio en garantizar el acceso equitativo a la educación, lo que a su vez afecta el cumplimiento de los derechos sociales fundamentales.

La educación desempeña un papel crucial en la construcción de comunidades más resilientes frente a desastres naturales. Los niños y jóvenes que reciben una educación adecuada están mejor equipados para comprender los riesgos y tomar medidas preventivas. Por otro lado, aquellos que están excluidos del sistema educativo tienen menos capacidad para comprender, anticipar y responder a los peligros naturales, lo que los hace más vulnerables durante eventos adversos.

Fuente:

DANE

Año:

2018

Unidades:

0 - 100

Mínimo

0

Máximo

1

Tipo de función

s

Medidas vinculadas a este indicador:

XE1 – Deslizamientos

ÍNDICE DE SALUD

Descripción:

Para el cálculo de este componente se utilizaron datos de mortalidad infantil e índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano

Relevancia:

El índice de salud refleja la capacidad de un gobierno para proporcionar condiciones sanitarias adecuadas a su población. Esta falta de capacidad se traduce en un aumento de las enfermedades y ejerce una presión adicional sobre el sistema de salud.

Además, el no poder satisfacer las necesidades básicas de la población crea una desventaja significativa que aumenta su vulnerabilidad frente a eventos adversos. Una población con acceso limitado a agua potable y servicios de salud adecuados tiene mayores dificultades para enfrentar y recuperarse eficazmente de los efectos devastadores de estos eventos adversos.

Fuente:

Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) – Dirección de Desarrollo Urbano – DNP

Año:

2022

Unidades:

0 – 100

Mínimo

10

Máximo

90

Tipo de función

z

Medidas vinculadas a este indicador:

XM2 – Deslizamientos

ÍNDICE DE POBREZA MULTIDIMENSIONAL

Descripción:

El IPM es una medición de la pobreza que refleja las múltiples carencias que enfrentan las personas pobres al mismo tiempo en áreas como educación, salud, entre otros. El IPM refleja tanto la incidencia de la pobreza multidimensional y su intensidad.

Relevancia:

La presencia de una gran cantidad de personas viviendo en condiciones precarias puede estar influenciada por diversos factores, como el crecimiento rápido de las ciudades, la falta de planificación urbana y la migración interna. La ausencia de control, el incumplimiento de estándares, la falta de recursos y de conocimiento, pueden dar lugar a viviendas estructuralmente vulnerables. Además, muchos de estos asentamientos se encuentran en áreas susceptibles a diversos riesgos.

Estas condiciones aumentan significativamente el riesgo de desastres en las comunidades afectadas. Un mayor porcentaje de la población expuesta y vulnerable frente a la ocurrencia de peligros, ya sean naturales o provocados por la actividad humana, implica una mayor demanda de recursos para hacer frente a los impactos en caso de que estos eventos ocurran. También ejerce una mayor presión sobre la capacidad institucional del gobierno para responder eficazmente en situaciones de emergencia.

Por otro lado, el incremento en la exposición y vulnerabilidad de ciertos grupos de población resalta la necesidad de destinar recursos adicionales para garantizar una respuesta adecuada y oportuna. Esto subraya también la importancia crítica de contar con instituciones sólidas y eficientes que puedan satisfacer las necesidades de recuperación de aquellos individuos que no puedan hacerlo por sí mismos. En este sentido, el índice de pobreza multidimensional se convierte en una herramienta fundamental para evaluar la capacidad de adaptación del territorio frente al riesgo por cambio climático, ya que proporciona una visión integral de las condiciones de vida de la población y puede orientar la asignación de recursos y la implementación de políticas específicas para abordar las vulnerabilidades identificadas.

<u>Fuente:</u> DANE	<u>Año:</u> 2018	<u>Unidades:</u> 0 - 100
<u>Mínimo</u> 60	<u>Máximo</u> 100	<u>Tipo de función</u> s
<u>Medidas vinculadas a este indicador:</u> XM4 – Deslizamientos		

5.2.2 Resultado de medidas de adaptación del contexto

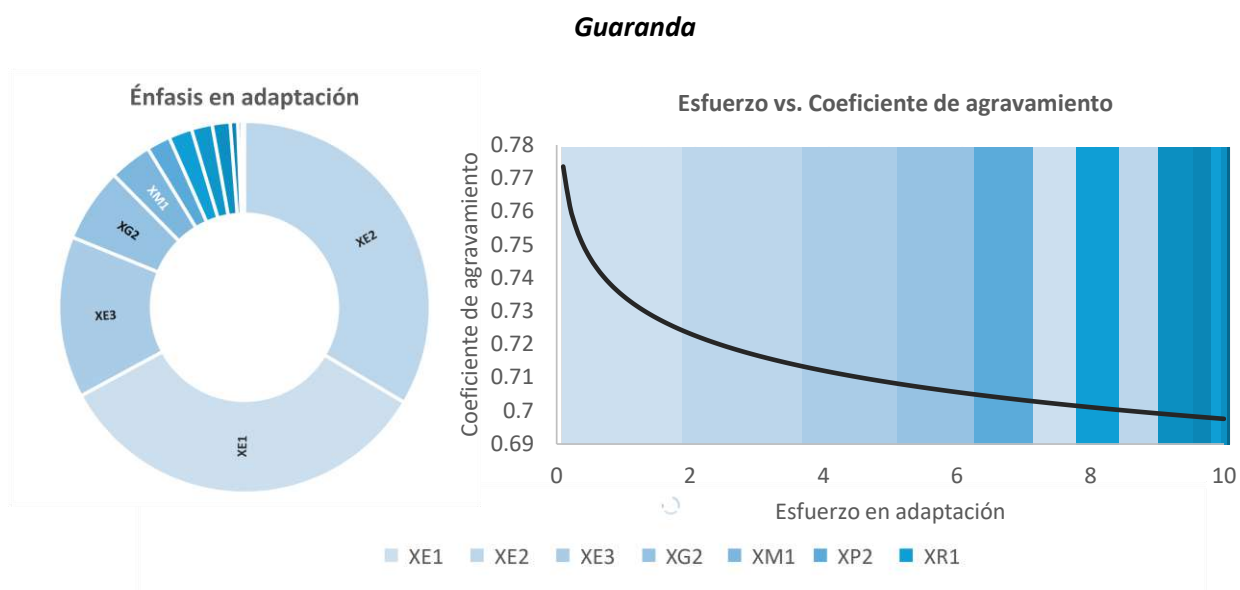
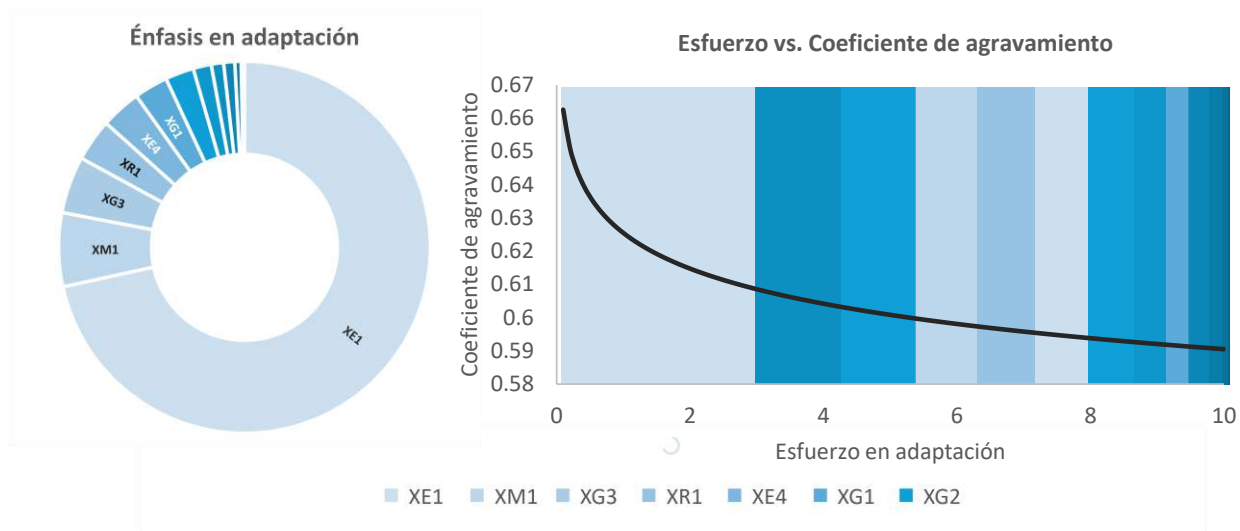
En esta sección, se presentan los resultados de la simulación de adaptación basada en medidas de mitigación para de los municipios incluidos en este estudio². Estos resultados ofrecen una visión clara de cómo la focalización en los factores determinantes del agravamiento del riesgo puede disminuir el 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.

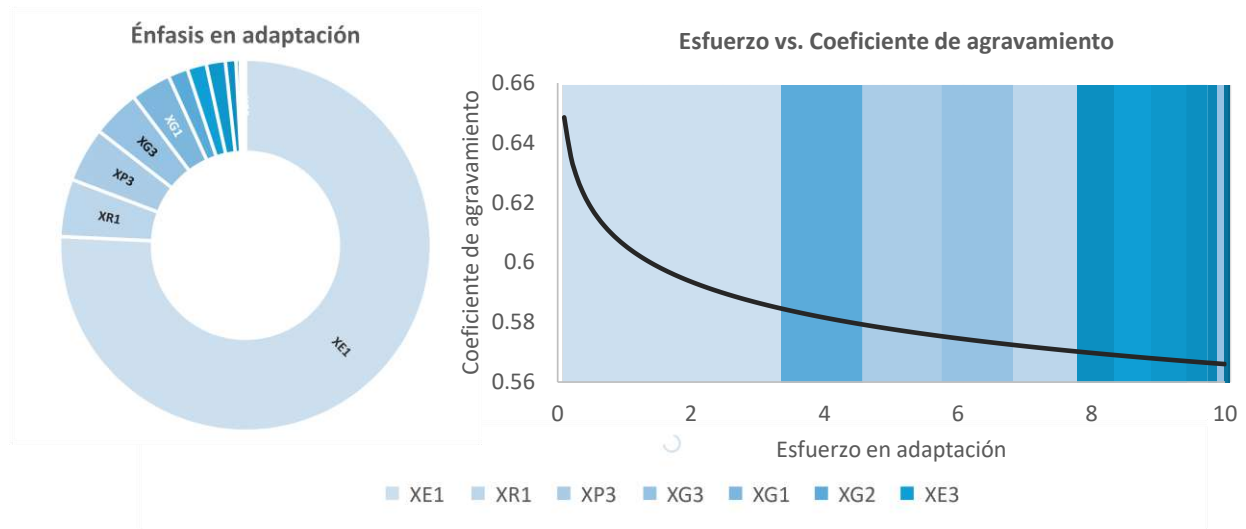
5.2.2.1 Inundaciones

Ayapel

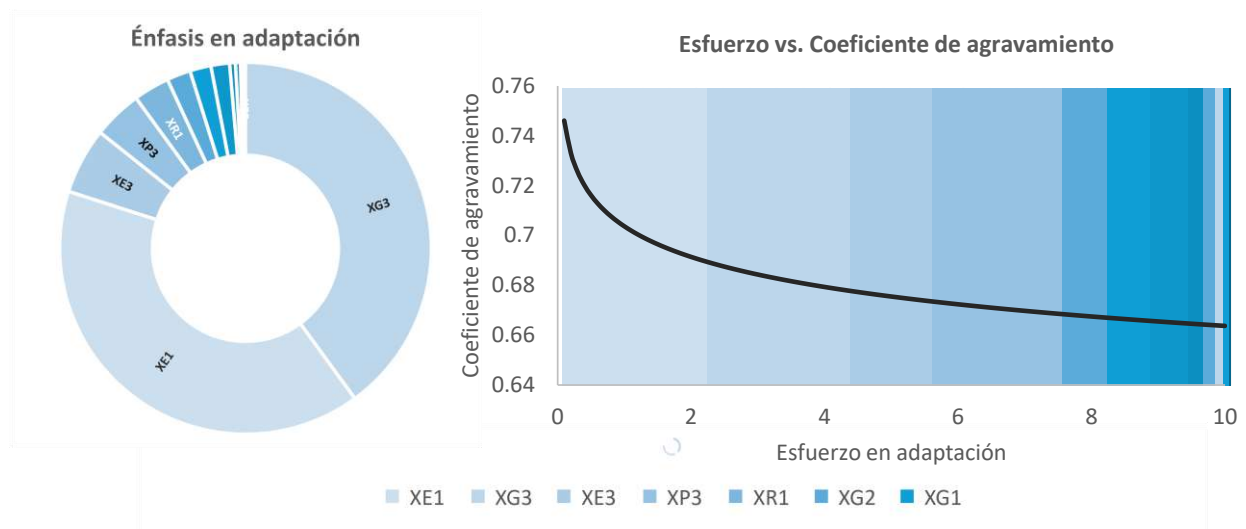
² Para inundación solo se presentan los resultados para Manizales, Popayán y Bogotá. Los resultados para los demás municipios de Caldas y Cauca se pueden consultar en el Anexo 1



Magangué



San Marcos

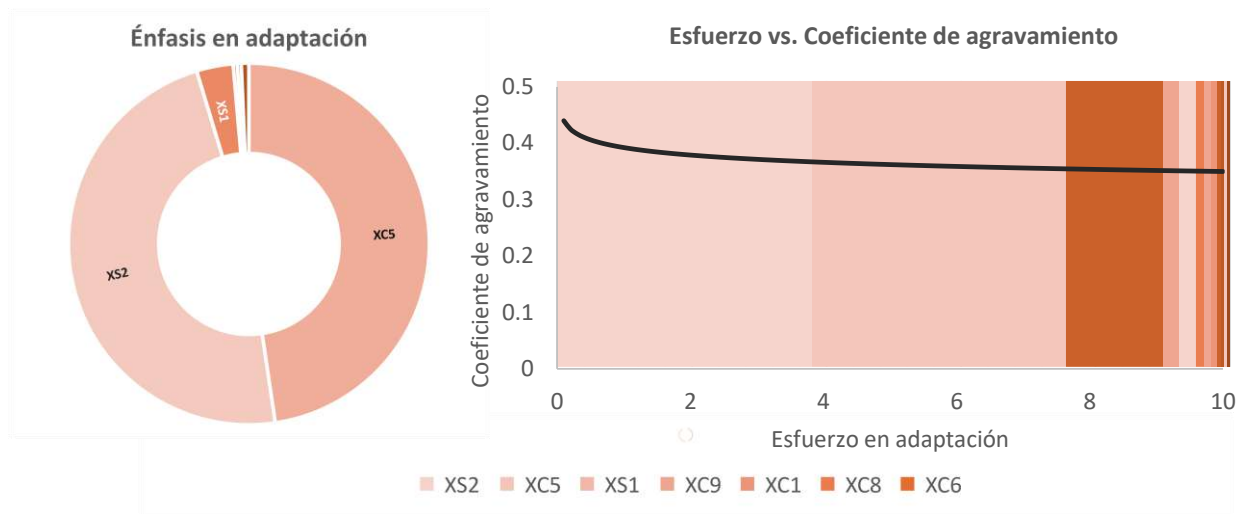


Según los resultados obtenidos, los cuatro municipios evaluados ante esta amenaza deben enfocarse en estrategias de restauración de humedales y manglares. Es crucial fortalecer la reducción del riesgo basada en ecosistemas, aprovechando la biodiversidad y los servicios ecosistémicos disponibles para mitigar el impacto de las inundaciones en la región.

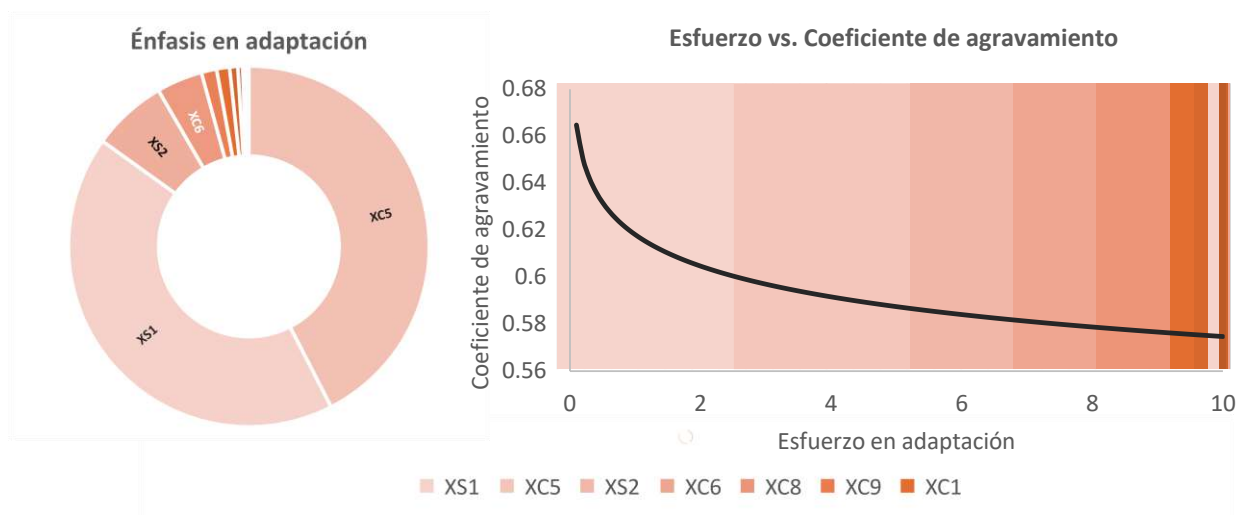
En particular, para el caso de San Marcos, los resultados indican igualmente la necesidad de enfocarse en el fortalecimiento de la gestión del riesgo de desastres. Se requiere una mayor atención en la implementación de estrategias financieras de protección y en la consolidación de la institucionalización de políticas ambientales. Es esencial mejorar la capacidad financiera para hacer frente a las emergencias y asegurar una gestión ambiental efectiva y sostenible para mitigar los riesgos asociados a eventos naturales adversos.

5.2.2.2 Sequía

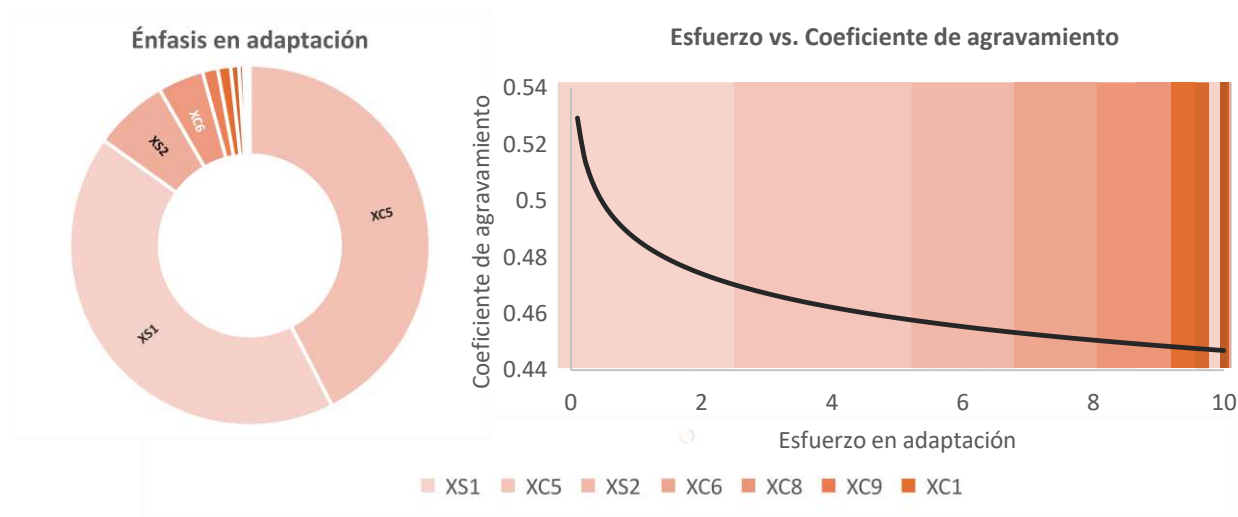
Espinal



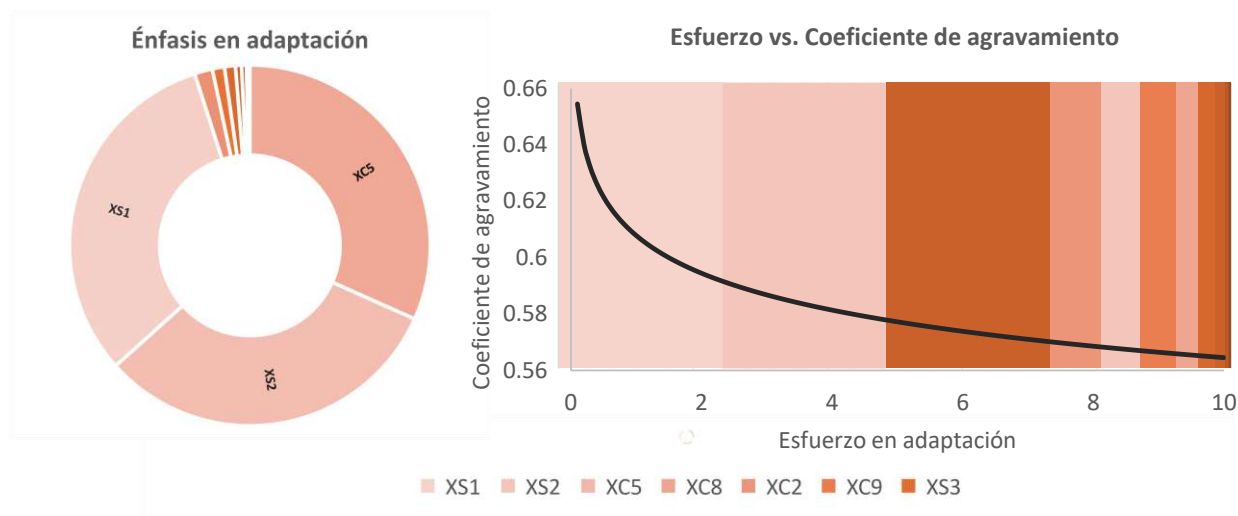
Guamo



Lorica



San Onofre

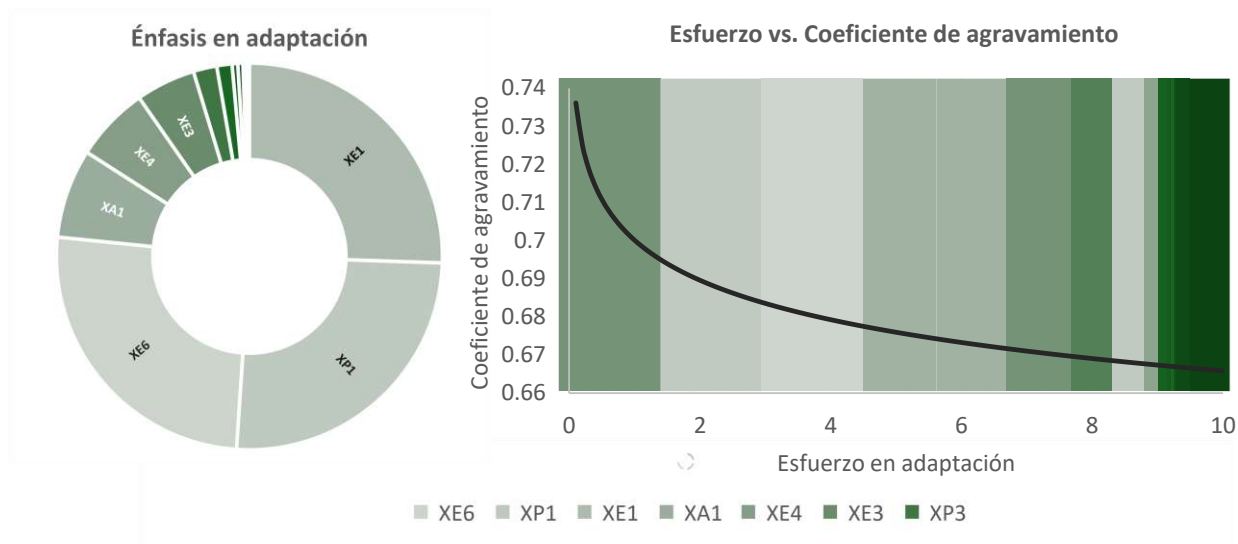


En cuanto a las sequías, los resultados muestran que tres de los cuatro municipios evaluados (Guamo, Lorica y San Onofre) necesitan priorizar el fortalecimiento de la gestión del riesgo. Esto implica la implementación de sistemas de alerta agroclimática y programas para mejorar las capacidades en el manejo de información agroclimática, con el fin de establecer sistemas de alerta temprana participativos.

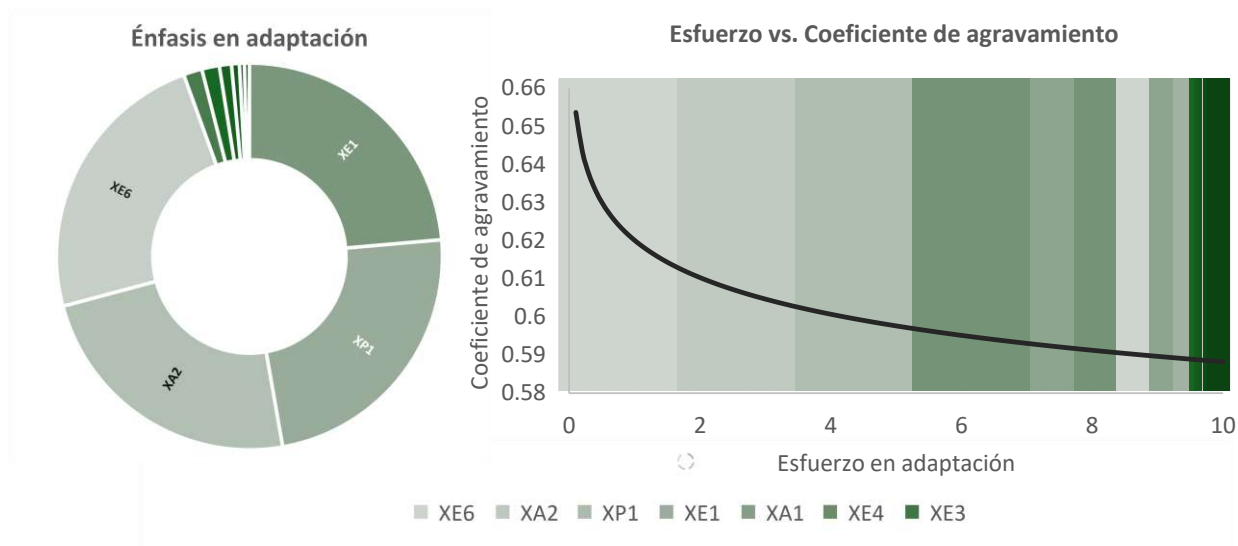
Además, en el municipio de Lorica, se observa la necesidad de promover programas de diversificación de la producción agrícola. Esto contribuirá a fortalecer la resiliencia del sector agrícola frente a las sequías y otros riesgos climáticos.

5.2.2.3 Incendios forestales

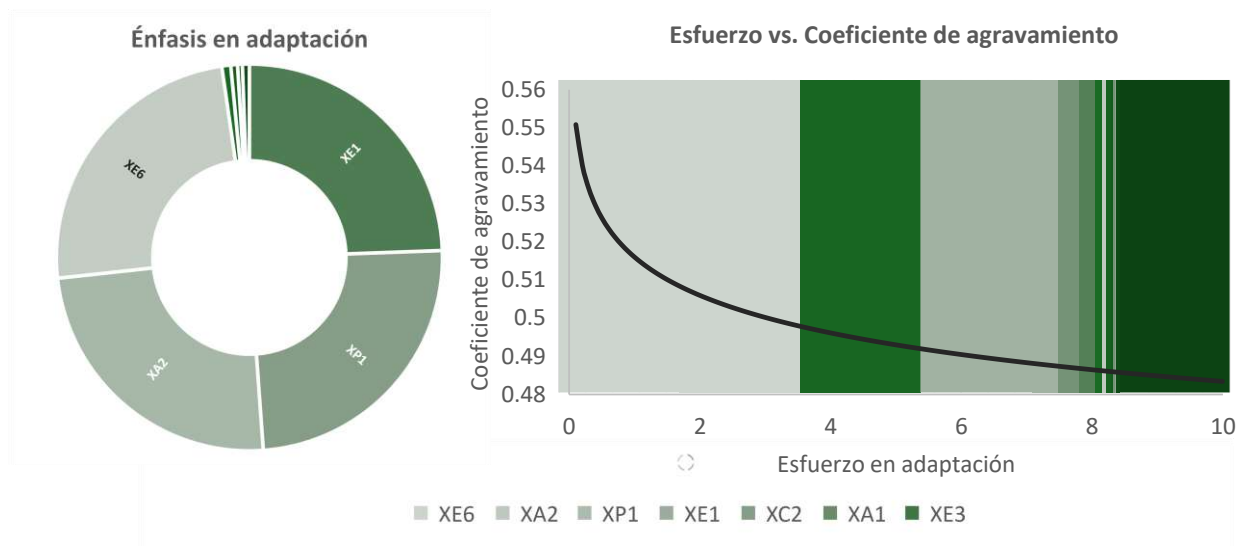
Cumaribo



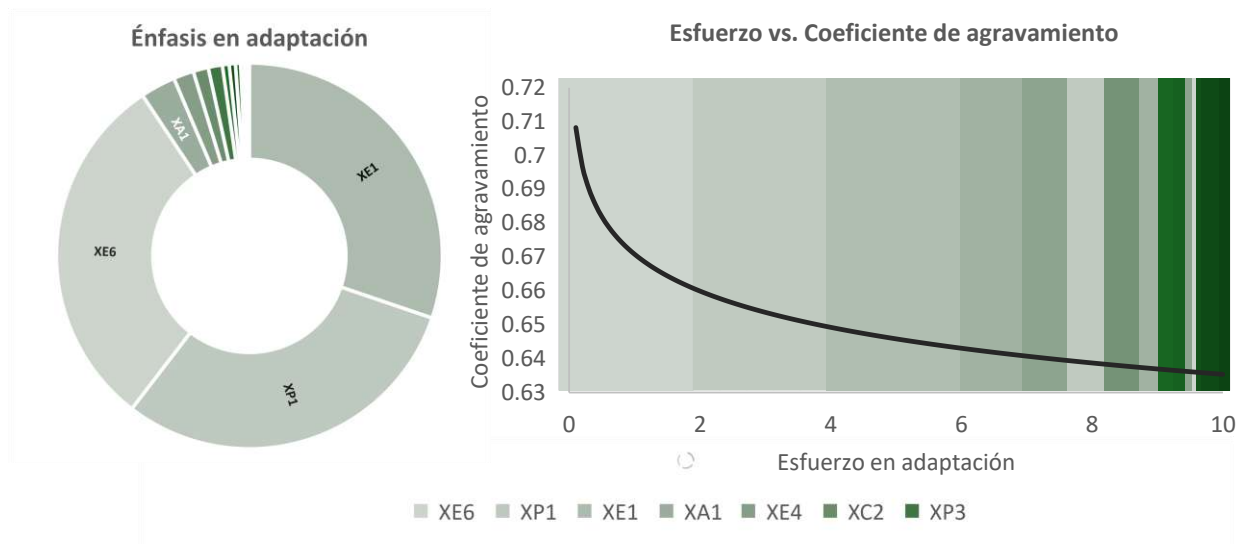
Orocué



Palermo



San Vicente del Caguán



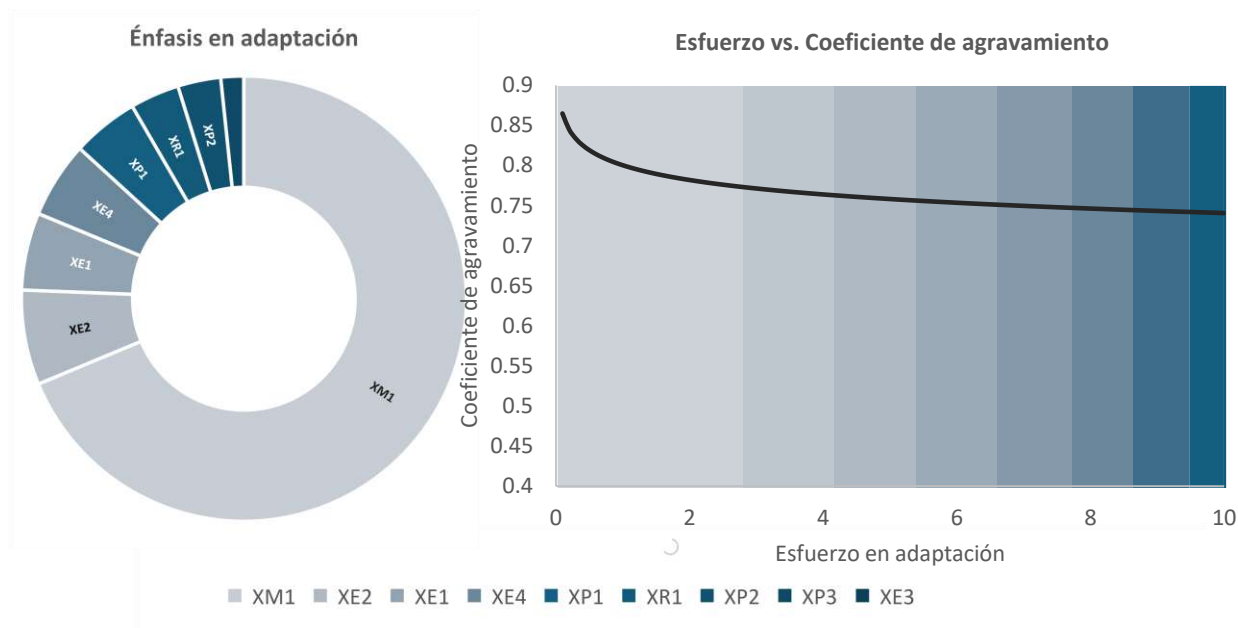
En el caso de los incendios forestales, es notable cómo los resultados resaltan la necesidad de priorizar el fortalecimiento de la implementación de la Estrategia Nacional del Ministerio de Ambiente para la educación, formación y sensibilización de diversos públicos sobre el cambio climático. Esto cobra 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

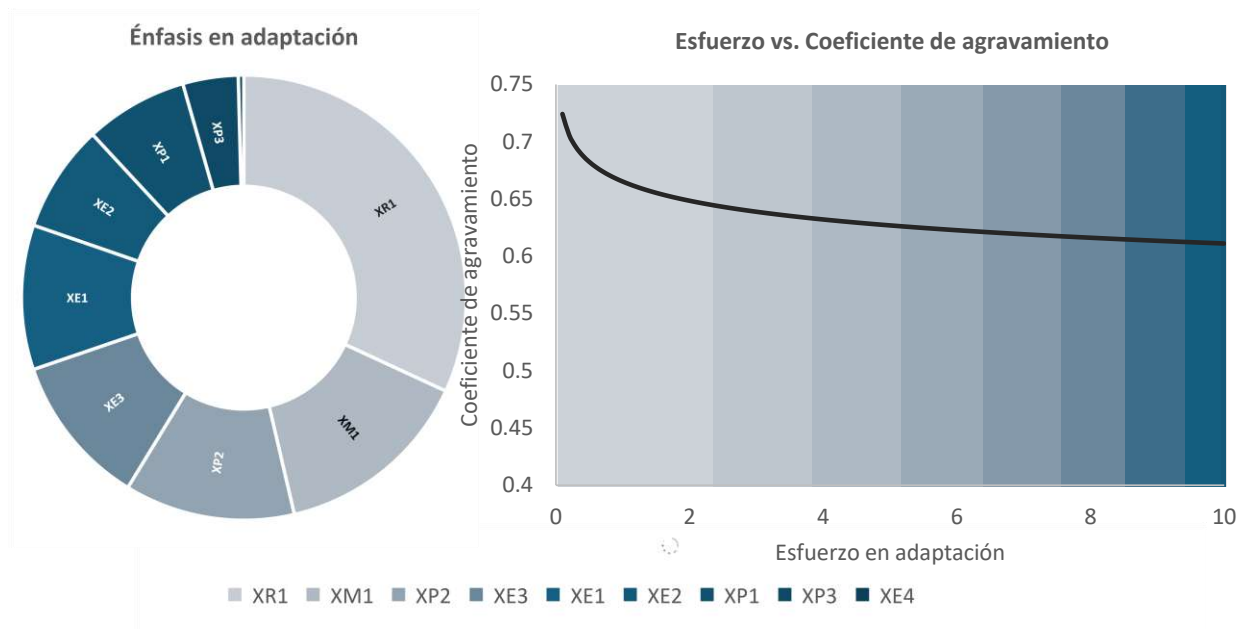
forestales, así como para promover una gestión más efectiva de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.

5.2.2.4 Huracanes

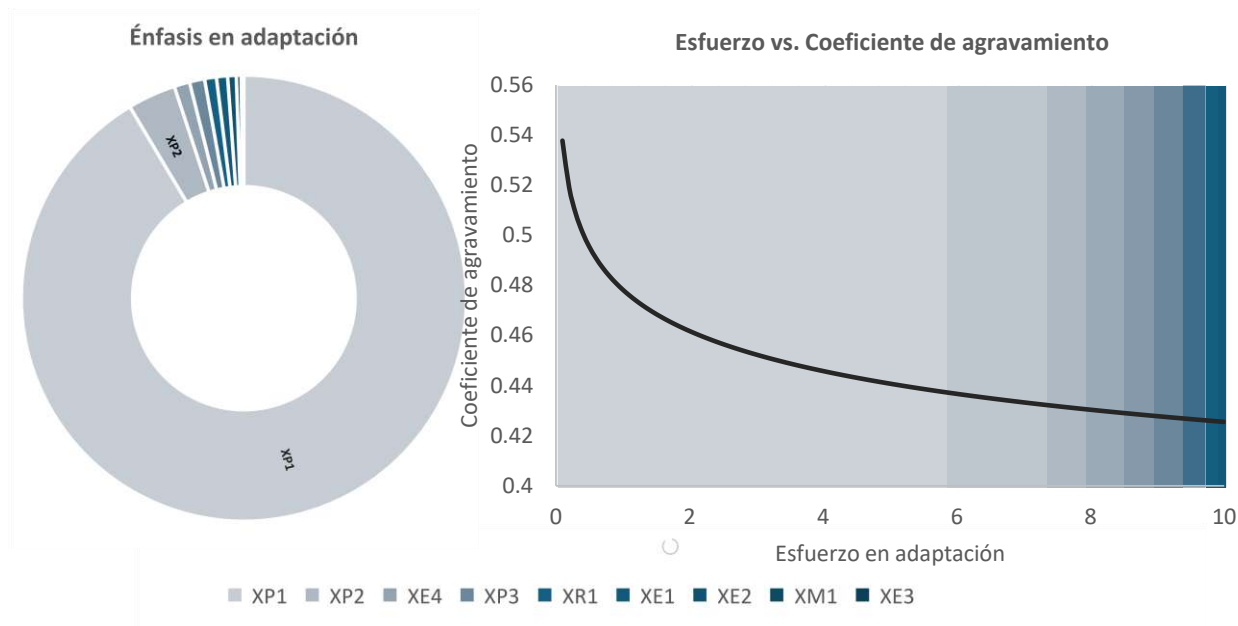
Manaure



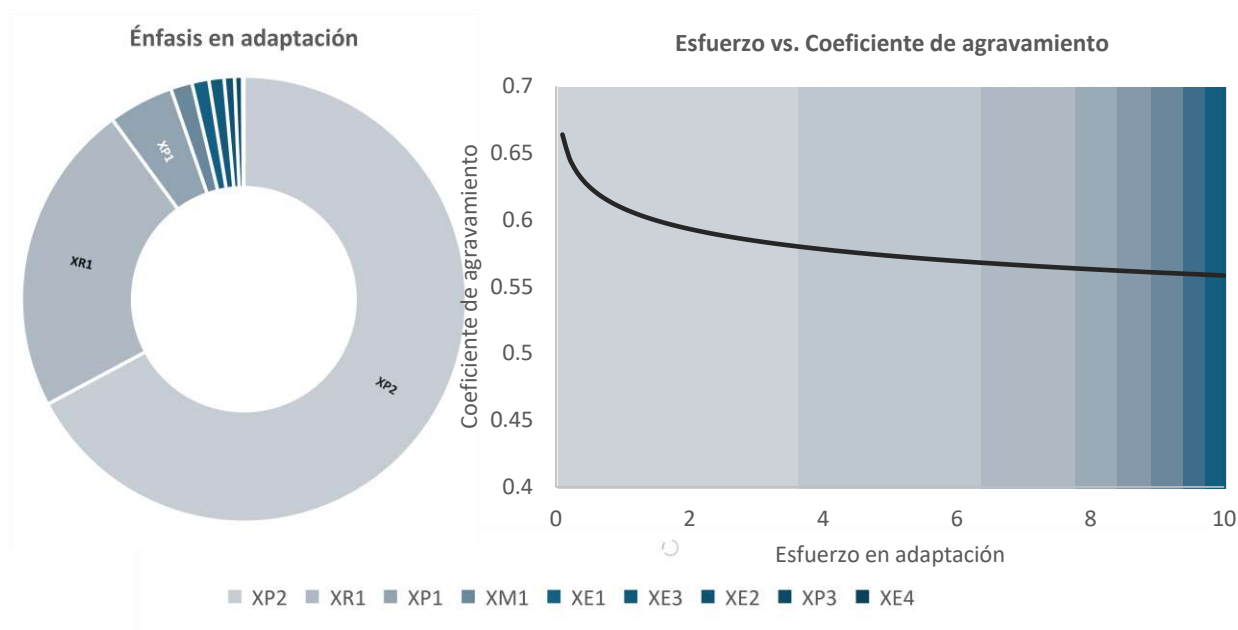
Providencia



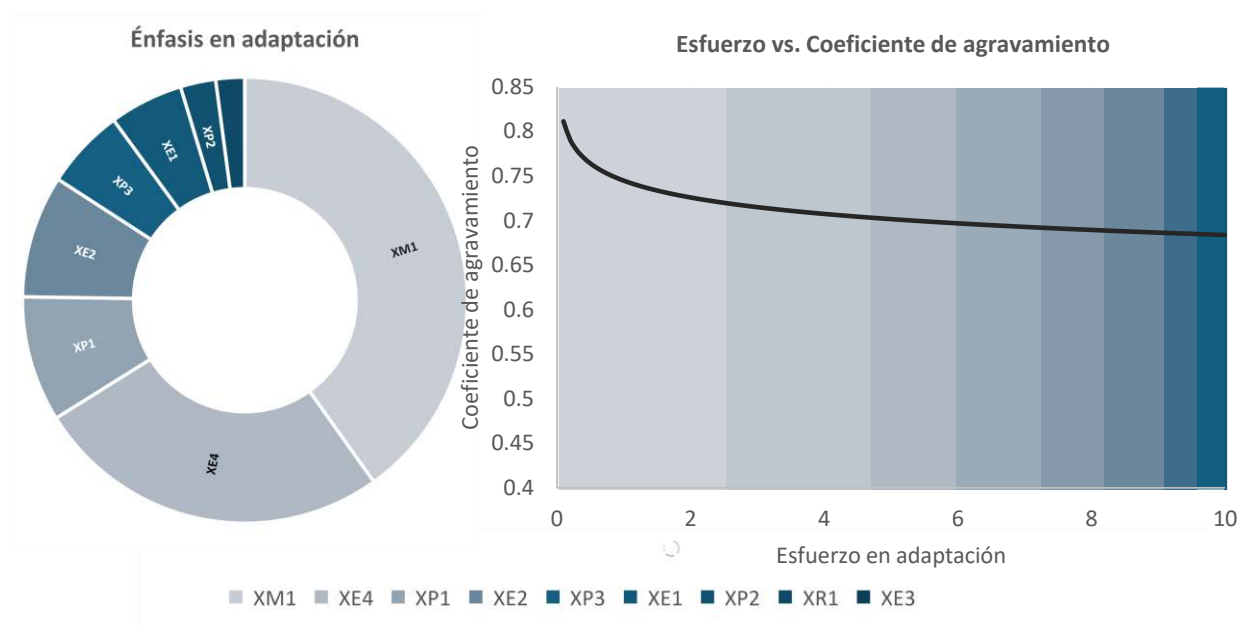
Riohacha



San Andrés



Uribia

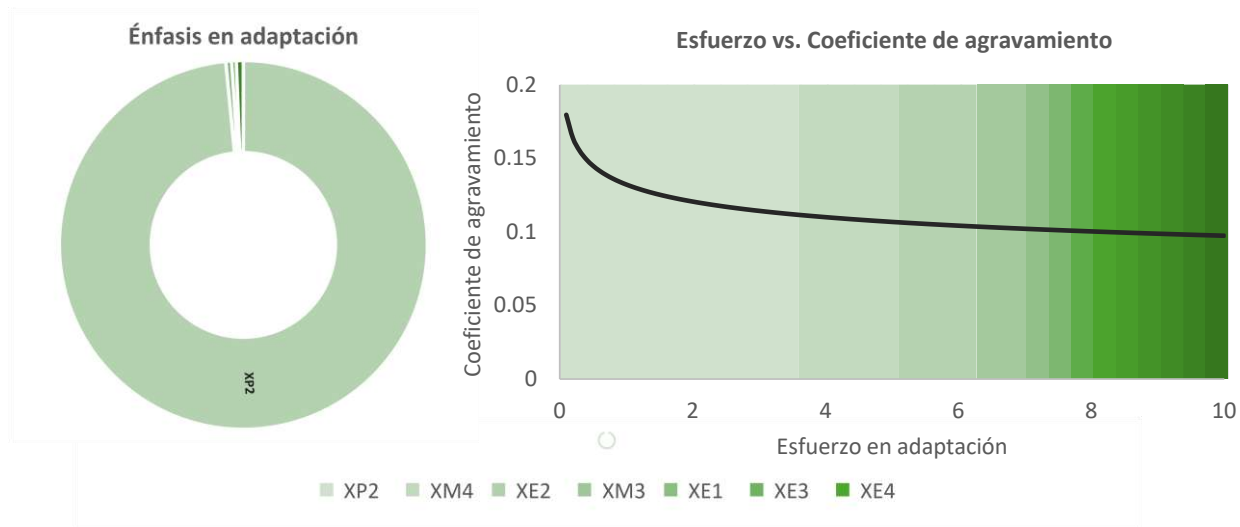


En el caso de los huracanes, destaca la situación en Riohacha, donde un solo indicador contribuye significativamente al agravamiento del riesgo. Este hallazgo subraya la necesidad de mejorar la gestión del riesgo en el municipio y de realizar una planificación territorial más efectiva para mitigar la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

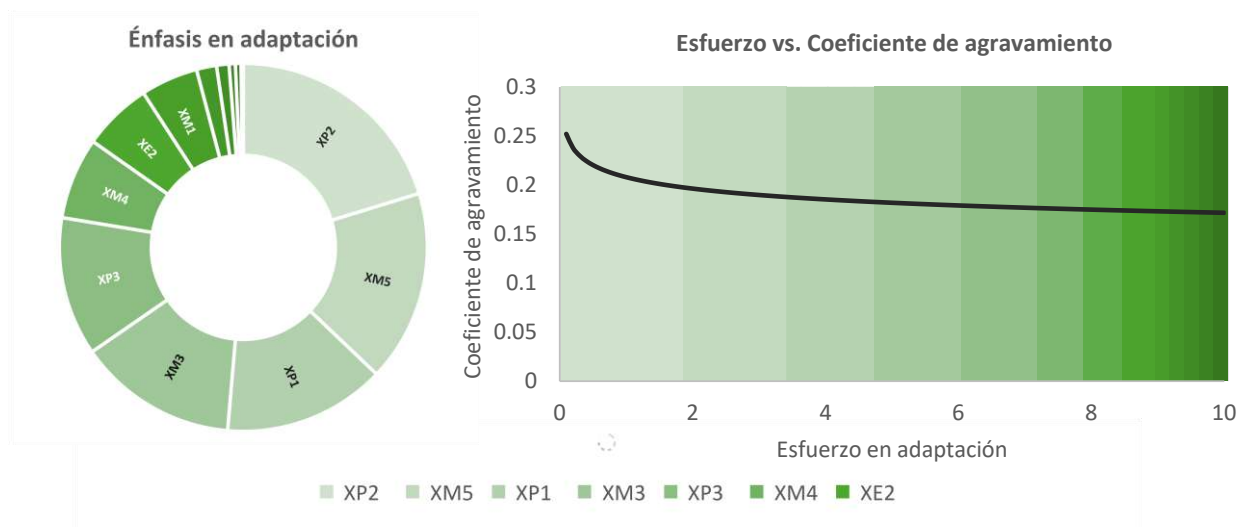
Asimismo, los resultados obtenidos en San Andrés señalan una necesidad de fortalecer las instituciones encargadas del desarrollo e implementación de medidas adecuadas y oportunas para la reducción del riesgo. Es esencial enforzar el uso de los instrumentos nacionales disponibles con este propósito, como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

5.2.2.5 Deslizamientos

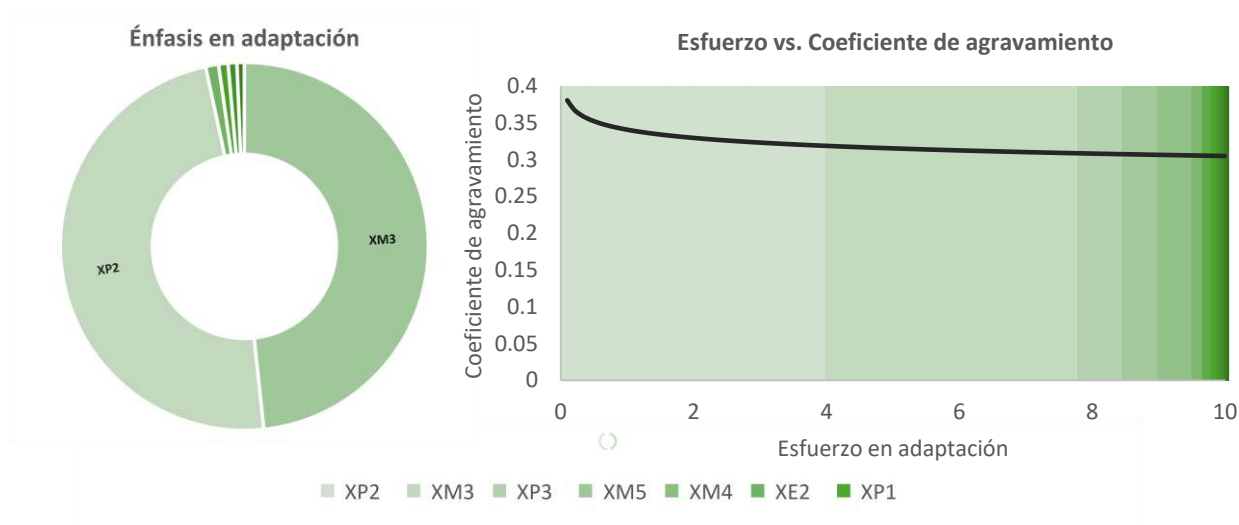
Bogotá



Manizales



Popayán



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.

6 REFERENCIAS

Agrosavia. (2024). Variedad de maíz Corpoica V-159. Recuperado de <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnologica/ladnea-agradcola/cultivos-transitorios-y-agroindustriales/material-reproductivo/48-variedad-de-maAdz-corpoica-v-159>

Álvarez, O., Ruíz, E., Mosquera, M., & Silva, J. (2018). Evaluación económica de sistemas de riego para plantaciones de palma aceitera en la Zona Norte de Colombia. *Palmas*, 38(4), 69-85.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia.

American Society of Civil Engineers. (2017). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-16). Reston, VA: ASCE

Barajas-Guzmán, M. G., & Barradas, V. L. (2013). Costos y beneficios de la aplicación de acolchados en la reforestación de los bosques tropicales caducifolios. *Botanical Sciences*, 91(3), 363-370.

Bernal, G., Cardona, O.D., Marulanda, M., Carreño, M. L. (2021). Dealing with Uncertainty using Fully Probabilistic Risk Assessment for Decision Making. Chapter 14 in: Eslamian, S., & Eslamian, F. (Eds): Handbook of Disaster Risk Reduction for Resilience. Springer Nature. In press.

CALYPSO. (2024). Plásticos agrícolas. Recuperado de <https://www.tiendascalypso.com/lamina-mulch-cal-1-2-x-1000m/p>

Cardona, O.D. (2012). Un marco conceptual común para la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático: Encuentros y desencuentros de una iniciativa insoslayable. En: Perspectivas de investigación y acción frente al cambio climático en Latinoamérica, F. Briones (Coordinador). La Red – CIGIR, pag 13-38, Talleres Gráficos Universitarios, ULA: Mérida, Venezuela. https://www.desenredando.org/public/2012/LaRed_Desastres_y_Sociedad_2012-07_web.pdf

Cardona, O.D. (2016). Evaluación probabilista del riesgo de inundación en la región de La Mojana con alternativas de intervención. Proyecto Inundación La Mojana. Fondo Adaptación.

Cardona, O.D., Bernal, G., Pabón, J.D., M. A., Marulanda, M. C., Carreño, M. L., González, D., Villegas, C., Marulanda, P., Grajales, S., Rincón, D., Molina, J.F. (2020). Entregable 2: Informe técnico con los resultados de la evaluación de riesgo de línea base. Estudio de Riesgo por Efectos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación para la Estrategia a Largo Plazo E2050 de Colombia – Fase 1. Preparado para Expertise France. INGENIAR Risk Intelligence Ltda. Bogotá.

Carreño, M. L. (2006). Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos Acciones ex ante y ex post. In TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). Universitat Politècnica de Catalunya. <http://www.tdx.cat/handle/10803/6241>

DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2005). Documento maíz tecnificado en Colombia.

DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2017). Características que se destacan en el cultivo de arroz secano (*Oryza Sativa* L.) en Colombia. Boletín mensual, Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria – Número 58.

Departamento Nacional de Planeación (2016). Lineamientos para la Construcción de Vivienda Palafítica. Guía Proyectos Tipo N°19. Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas.

Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Agricultura, Banco Agrario (2017). Construcción de Vivienda de Interés Social Rural. Guía Proyectos Tipo N°18. Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas, DNP.

Dirección de Desarrollo Urbano - Observatorio del Sistema de Ciudades. (2022). Memorias de Cálculo Índice de Ciudades Modernas.

El establo. (2024). Semilla de maíz blanco. Recuperado de <https://elestablocolombia.com/tienda/producto/semilla-maiz-blanco-v-156-x-kg/>

El semillero. (2024). Productos. Recuperado de <https://www.elsemillero.co/shop>

Fedepalma. (2024). Costos de operación de tres sistemas de riego en el campo experimental Palmar de la Sierra. Recuperado de [https://elpalmicultor.fedepalma.org/costos-tres-sistemas-de-riego-palmar-de-la-sierra/#:~:text=Durante%](https://elpalmicultor.fedepalma.org/costos-tres-sistemas-de-riego-palmar-de-la-sierra/#:~:text=Durante%20)

Frutos, J. (2015). Efecto de la utilización del mulch natural, maíz (*Zea mays* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), vicia (*Vicia sativa* L.), y avena (*Avena sativa* L.) sobre la producción del brócoli (*Brassica oleracea* L.) en el campus Querochaca, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

IDEAM (2012). Metodología para la Zonificación de Susceptibilidad General del Terreno a los Movimientos en Masa.

INGENIAR (2020). Actualización y ajuste de la información obtenida en el Estudio de Factibilidad del Seguro Agrícola Catastrófico para el cultivo de maíz blanco tradicional en los departamentos de Antioquia y Tolima. Estudio desarrollado para FINAGRO.

Lempert R.J. (2019) Robust Decision Making (RDM). En: Marchau V., Walker W., Bloemen P., Popper S. (eds) Decision Making under Deep Uncertainty. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05252-2_2

López, J. (2019). Los puntos que debe tener en cuenta para instalar riego artificial. AGRONEGOCIOS. <https://www.agronegocios.co/tecnologia/los-puntos-que-debe-tener-en-cuenta-para-instalar-riego-artificial-2844262>.

Luarte, G., & Espinoza, F. (2013). Determinación de los costos totales que incurre un pequeño agricultor en la producción de arándanos y espárragos.

Marchau, V., Walker, W., Bloemen, P., Popper, S. (2019). Decision making under deep uncertainty. Springer. Open Acces. DOI: 10.1007/978-3-030-05252-2

Martínez, A. (2013). Caracterización socioeconómica de los sistemas de producción de la región de La Mojana en el Caribe de Colombia. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 14. 165. 10.21930/rcta.vol14_num2_art:406.

Monje, R. (2017). Costes a tener en cuenta al instalar un sistema de riego. Recuperado de: <https://www.universidadderiego.com/costes-a-tener-en-cuenta-al-instalar-un-sistema-de-riego/>

Nieto, L. (2019). La mecanización agrícola en Colombia: actualidad y futuro. FOMENTA. <https://fomenta.org.co/la-mecanizacion-agricola-en-colombia-actualidad-y-futuro/>

Paz, M. D. M., & Aguilar, J. D. (2015). Evaluación de la producción de maíz (*zea mays*), ica v-305 con tres densidades, abonamiento, fertilización y su mezcla en la vereda Urubamba, finca La Sultana-municipio de Timbío - Cauca.

Perfetti, J. J., Escobar, D., Castro, F., Cuervo, B., Rodríguez, M., & Vargas, J. I. (2012). Costos de producción de doce productos agropecuarios.

Sgasemillas. (2024). Cereales. Recuperado de <https://www.sgasemillas.com/tienda/CEREALES-c149856461>

Tencio, R. (2018). Cobertura de suelo o “mulch” como práctica sostenible ante el cambio climático. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección de Desarrollo Central Oriental.

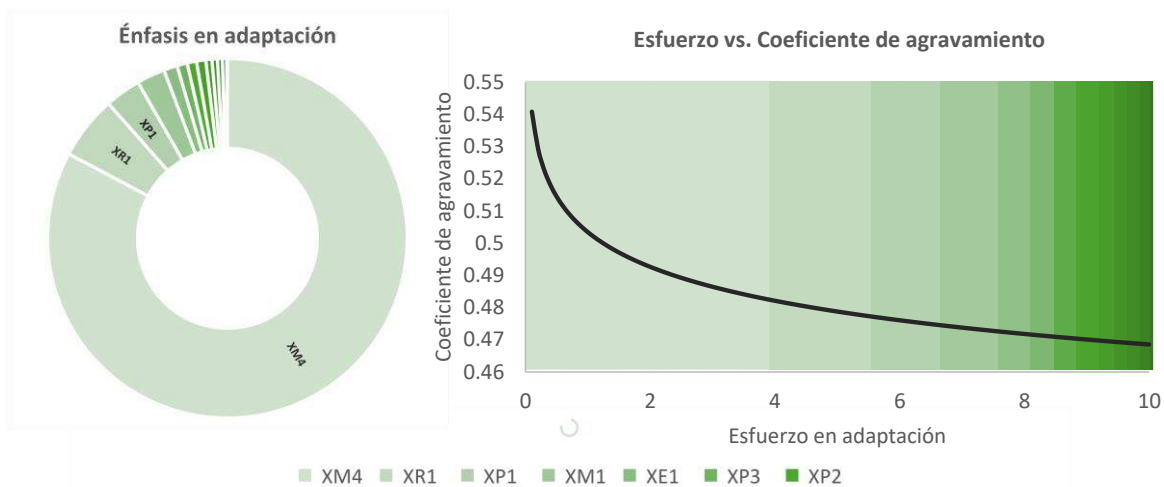
Yaxa. (2024). Semillas de yuca Manihot Esculenta. Recuperado de <https://colombia.yaxa.co/products/yegaol-garden-semillas-de-yuca-manihot-esculenta-perennes-ornamentales-sin-omg-tolerantes-a-la-sequia-comestibles-para-cocinar-al-aire-libre-5/?srsltid=AfmBOoplziMX1f7uX0cT13zvTkHBssSYrAnx94BzeSDNvFVR2rjSB3A05nw>

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

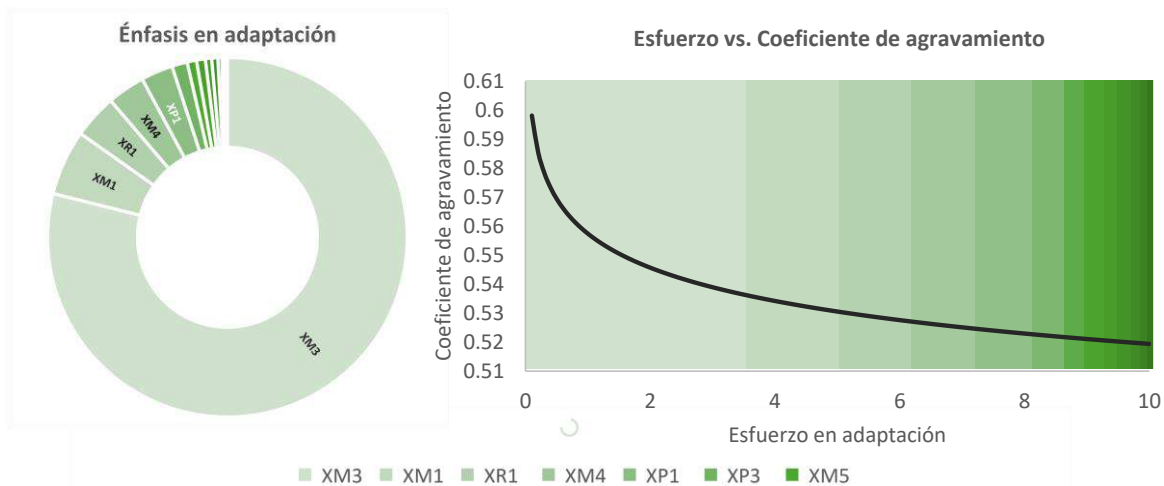
ANEXO 1. RESULTADOS DE ADAPTACIÓN DEL CONTEXTO PARA CALDAS Y CAUCA

Municipios de Caldas

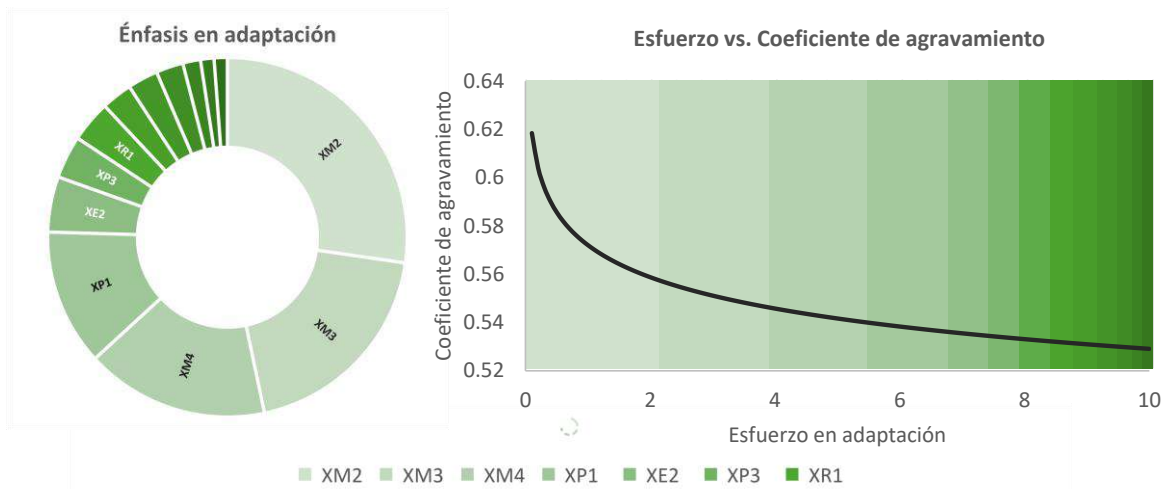
Aguadas



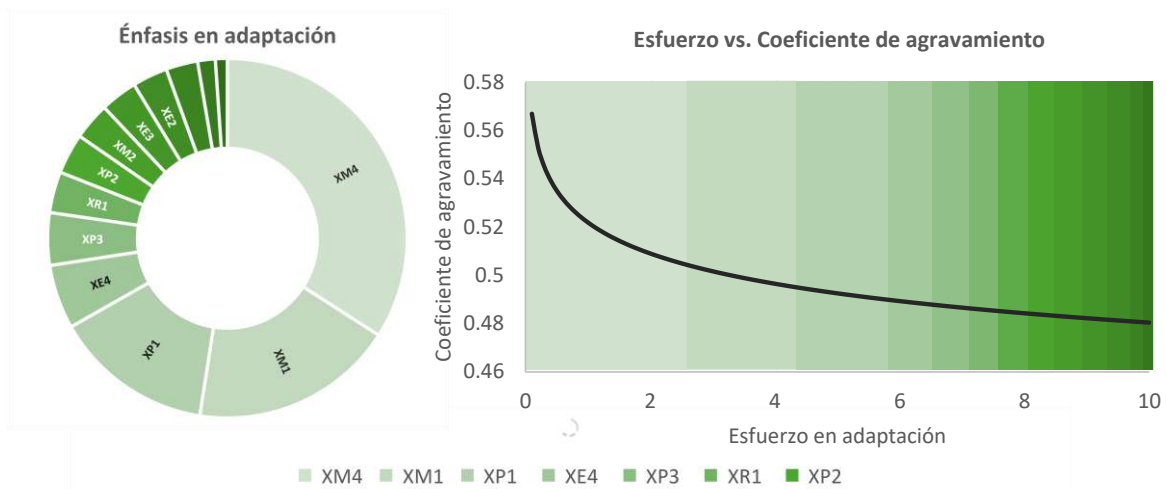
Anserma



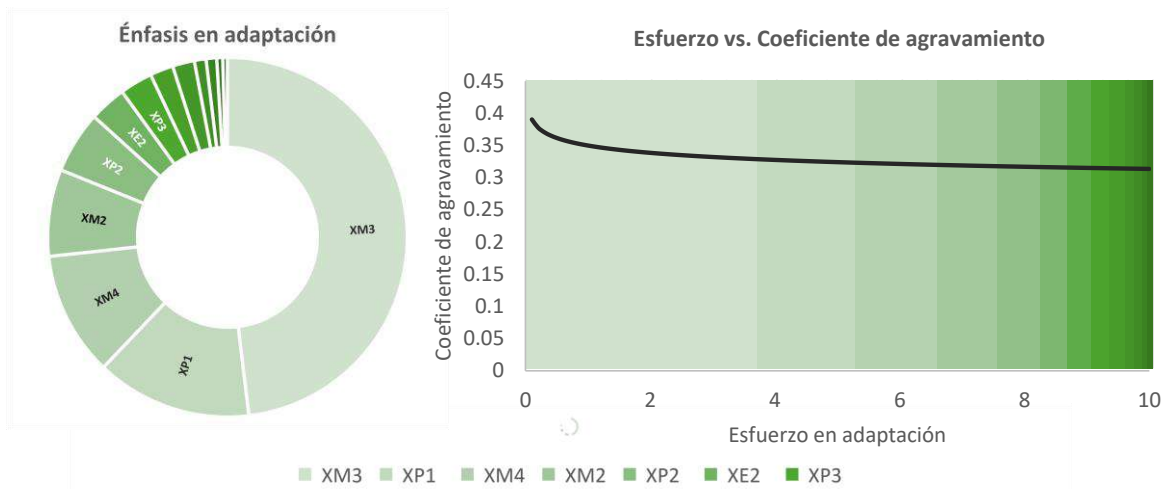
Aránzazu



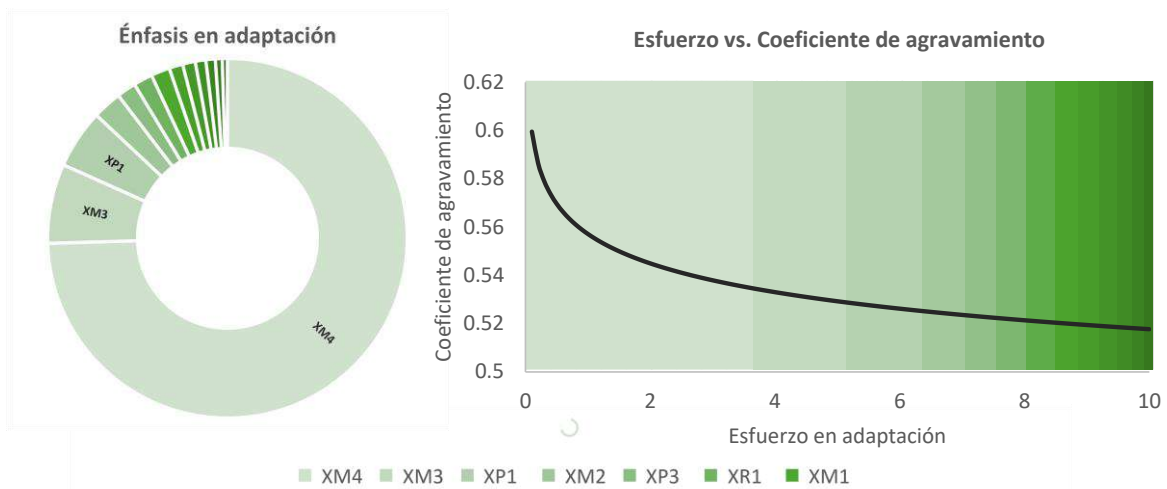
Belalcázar



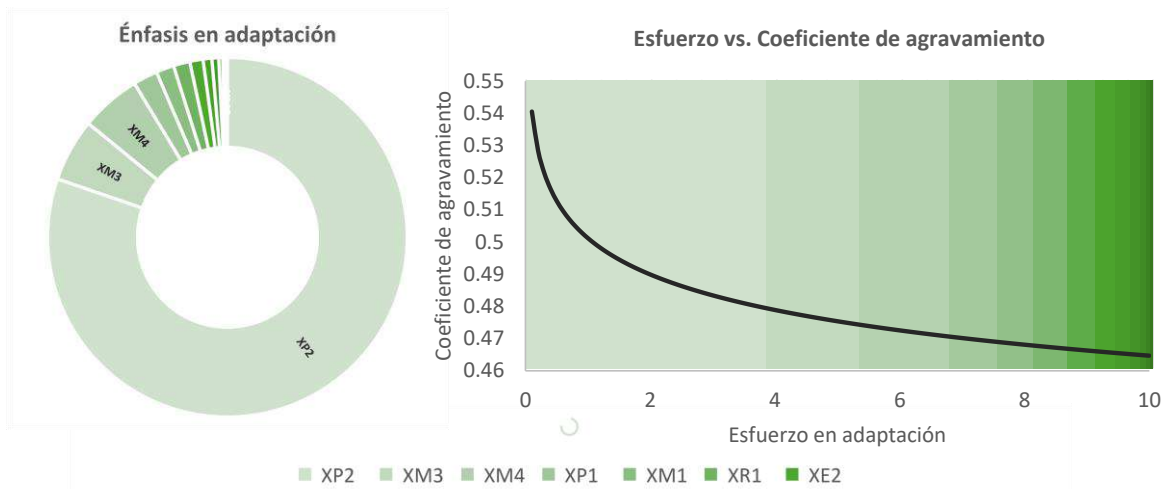
Chinchiná



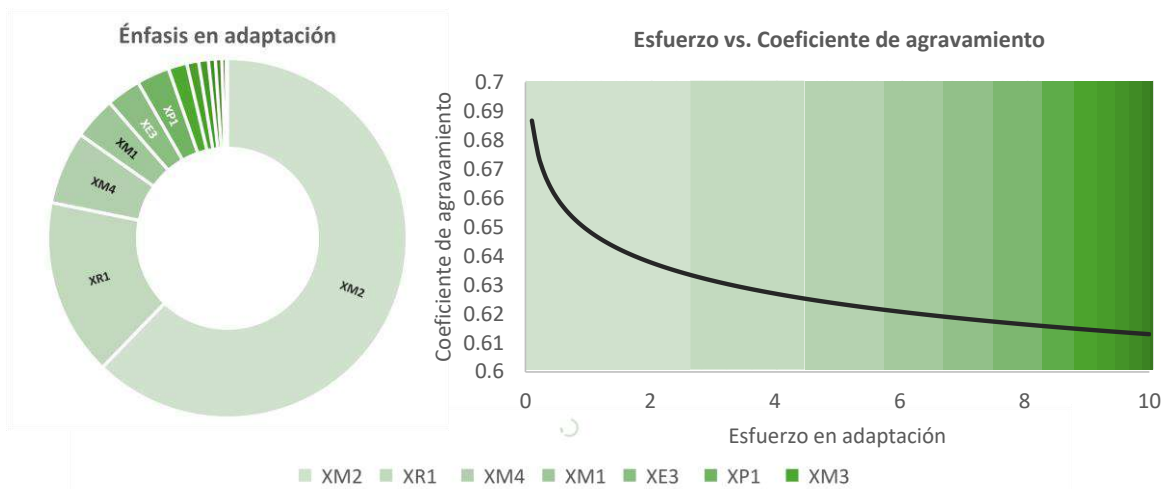
Filadelfia



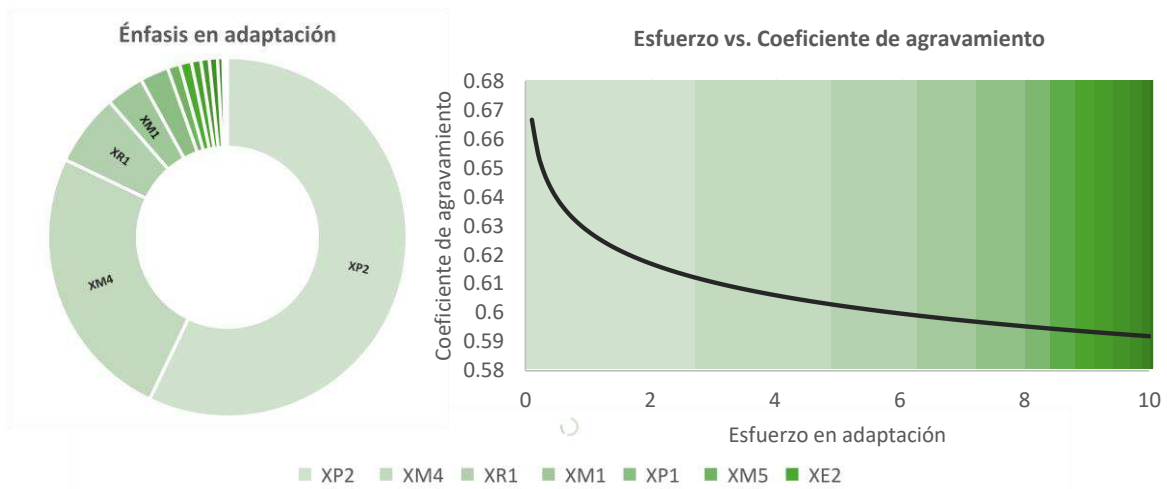
La Dorada



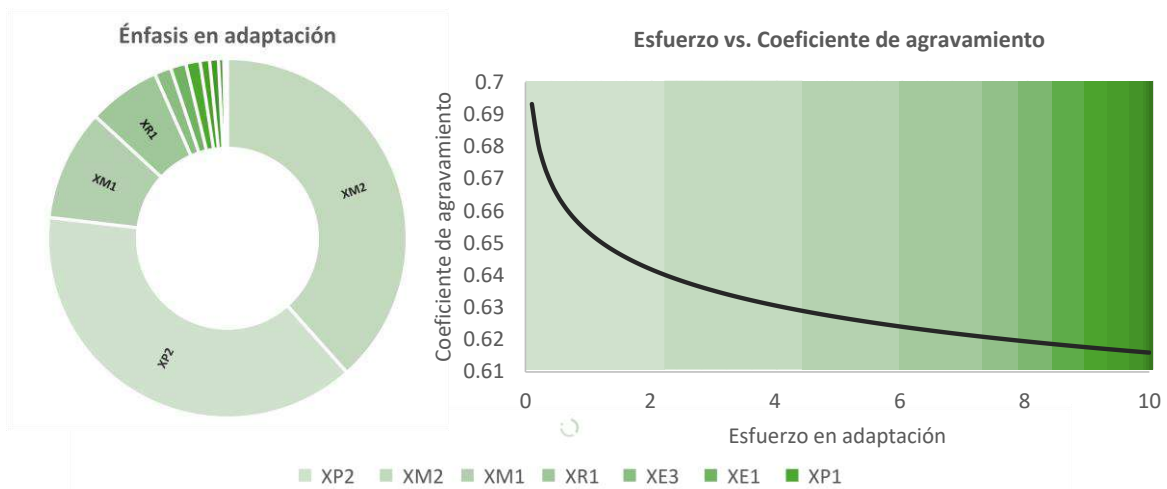
La Merced



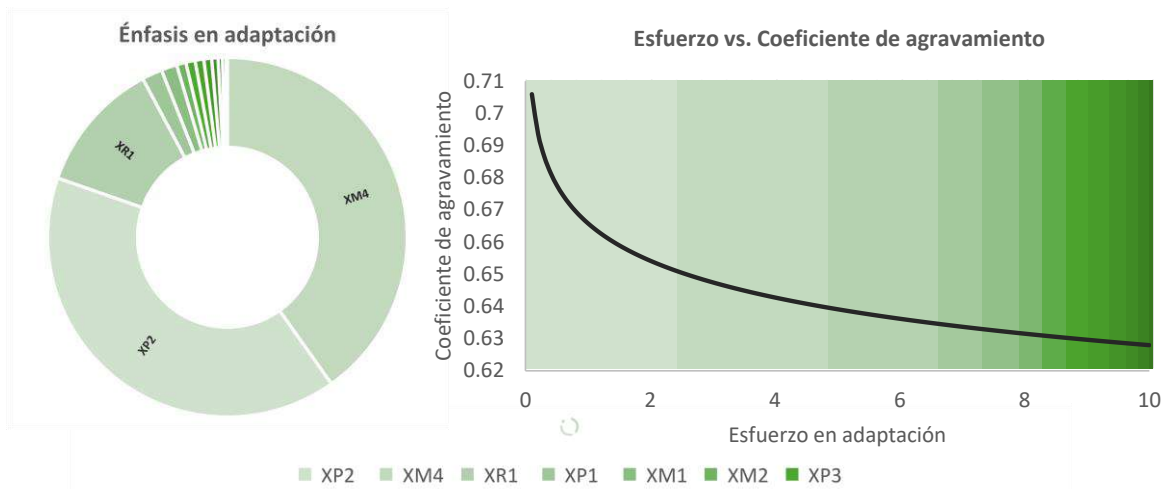
Manzanares



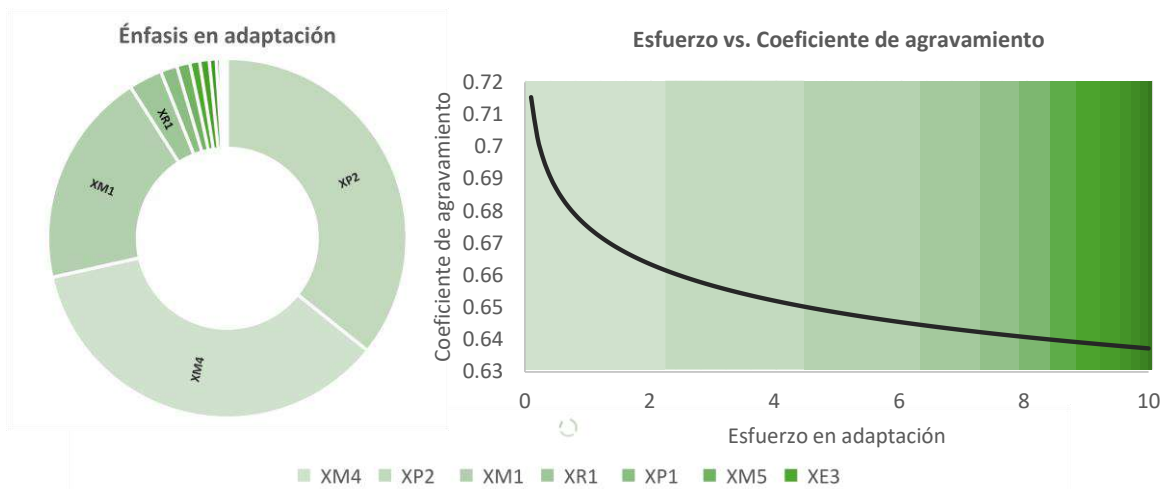
Marmato



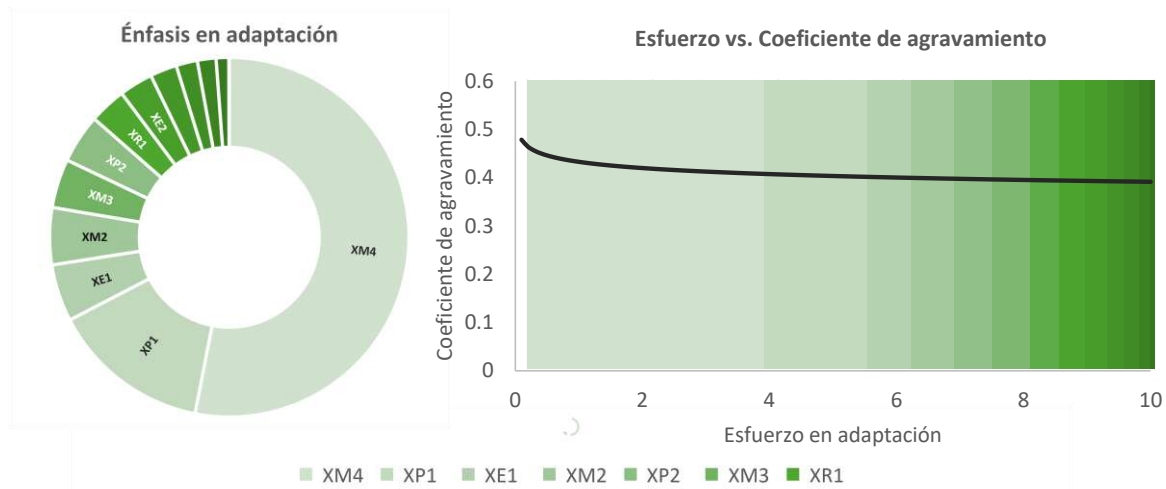
Marquetalia



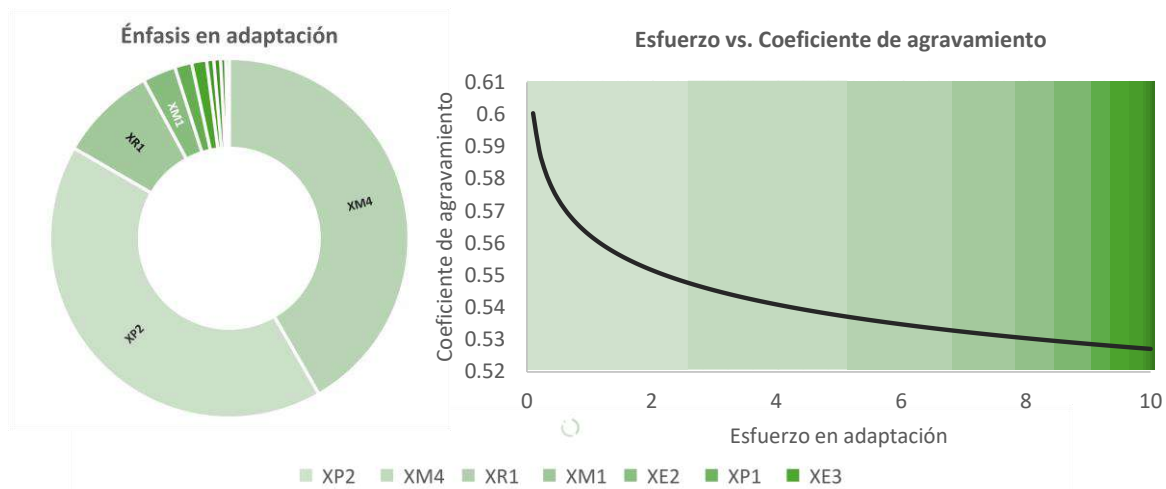
Marulanda



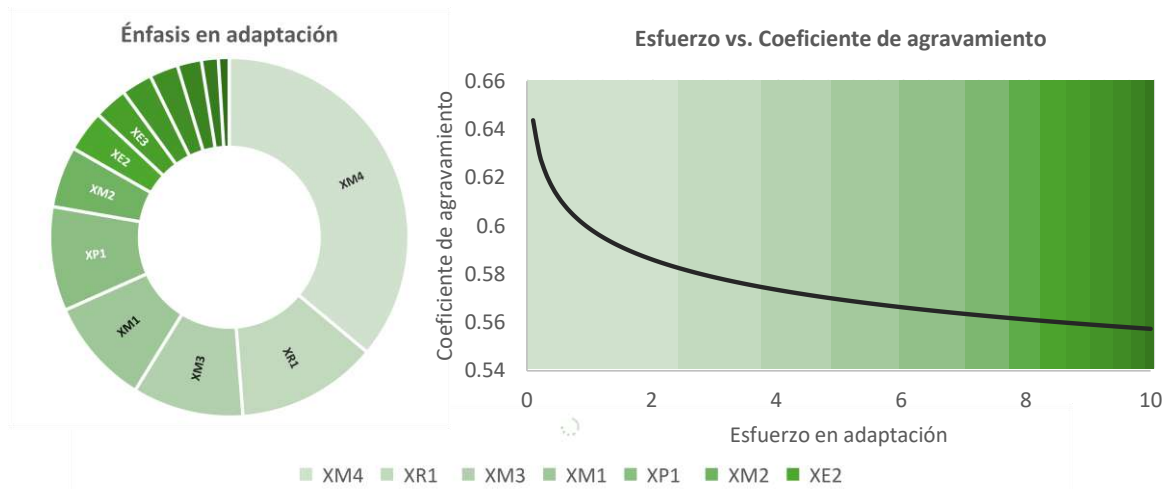
Neira



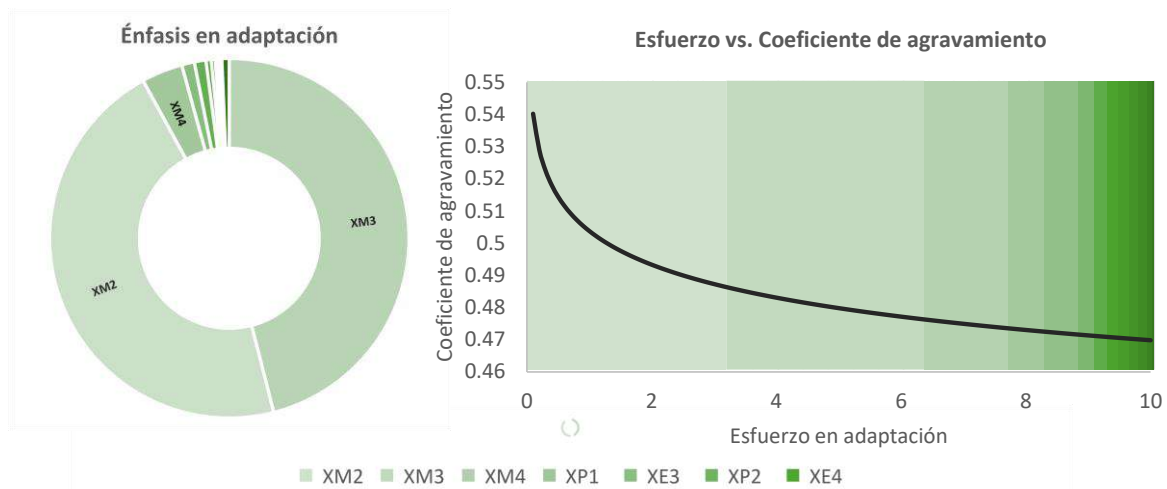
Norcasia



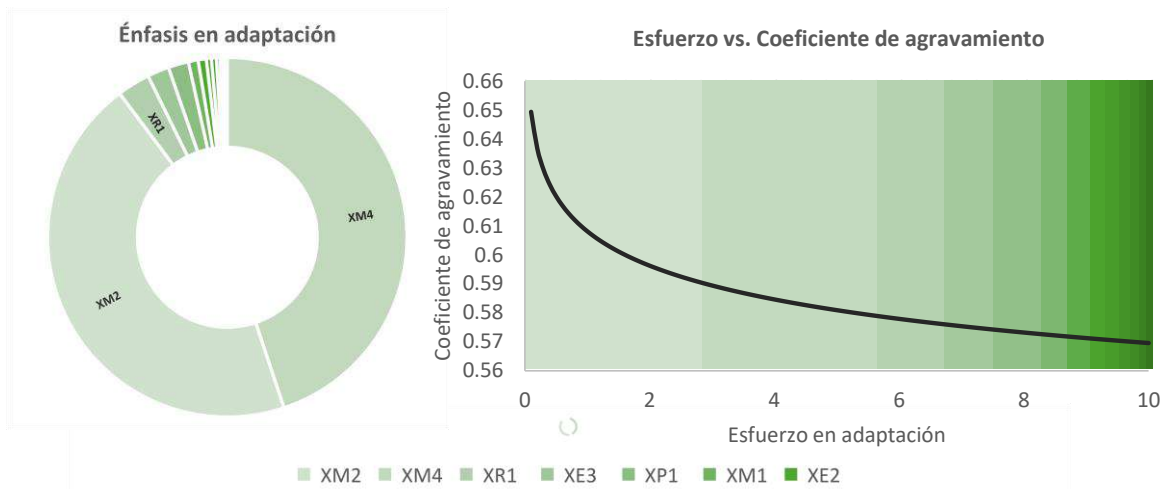
Pácora



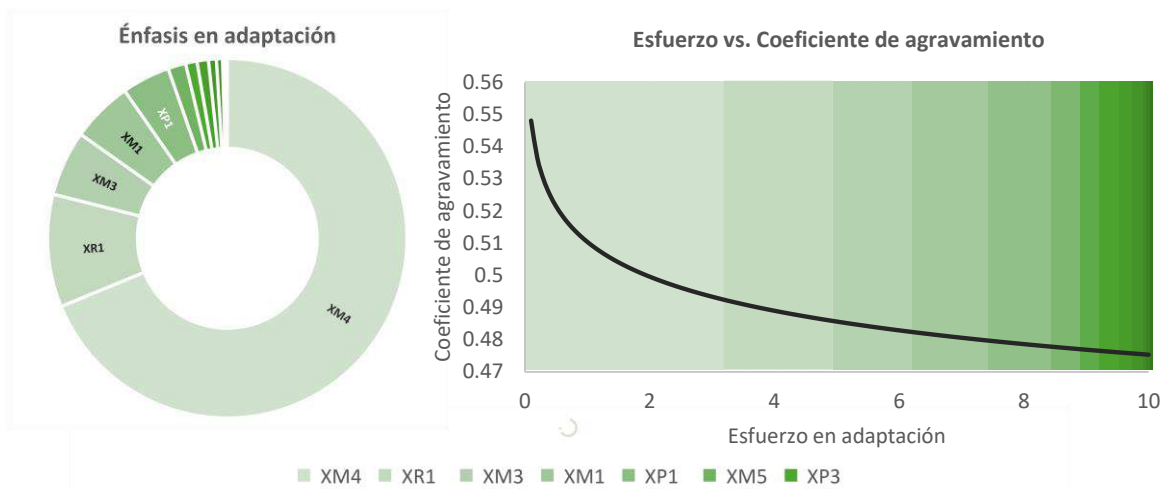
Palestina



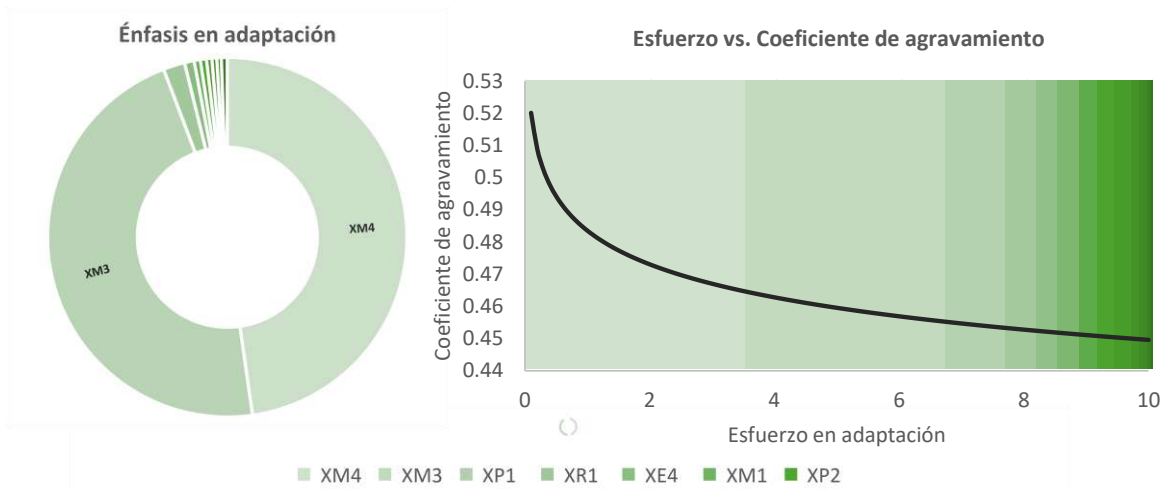
Pensilvania



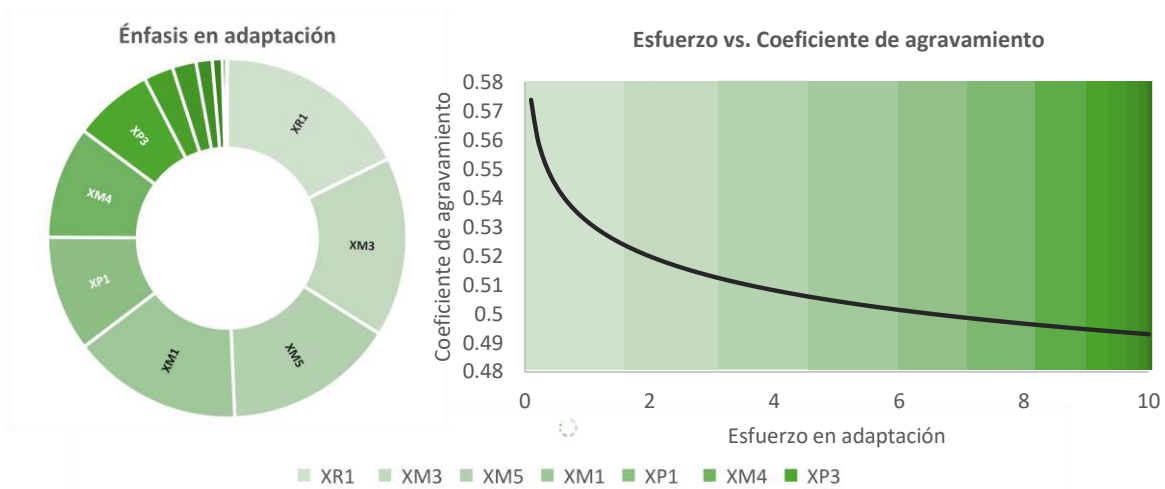
Riosucio



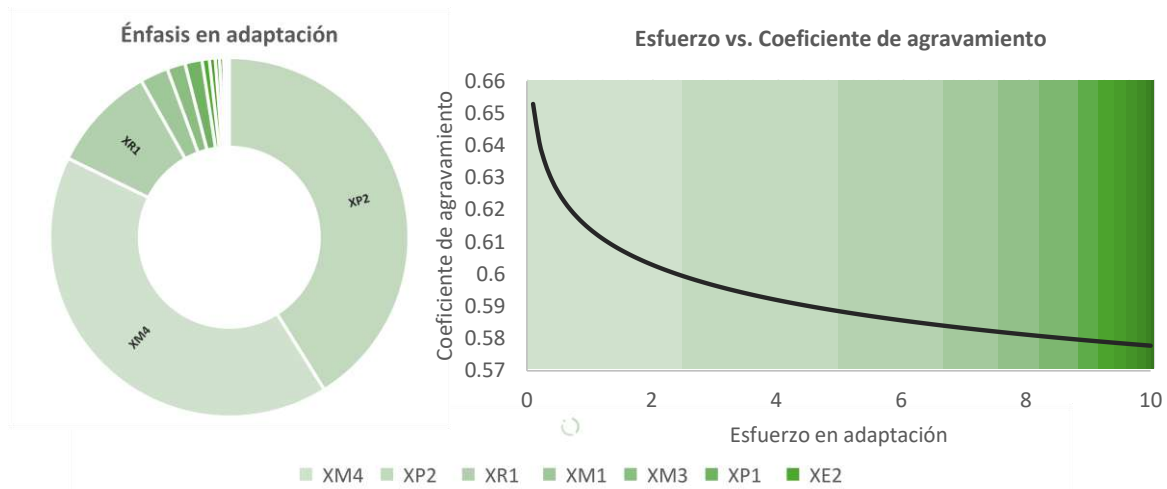
Risaralda



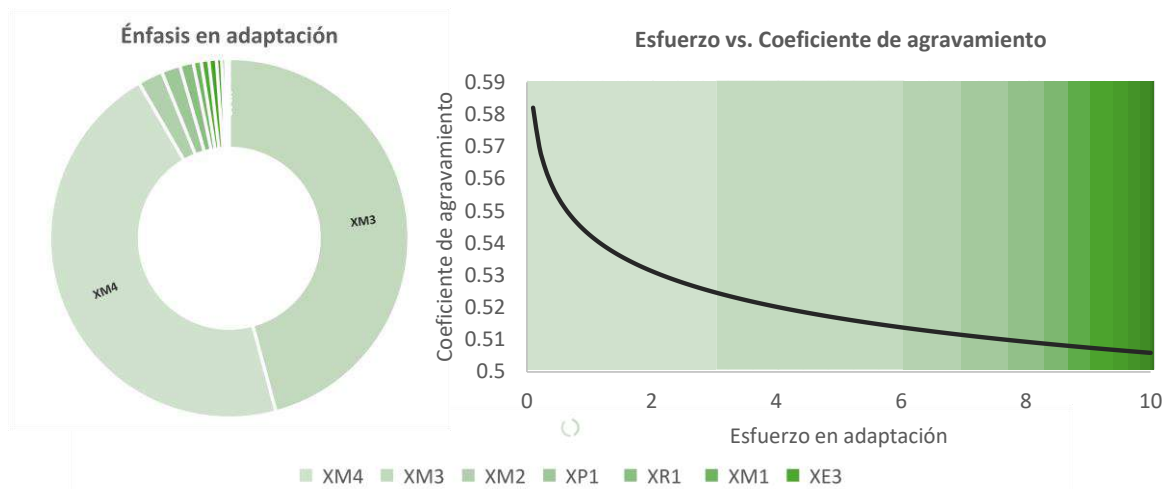
Salamina



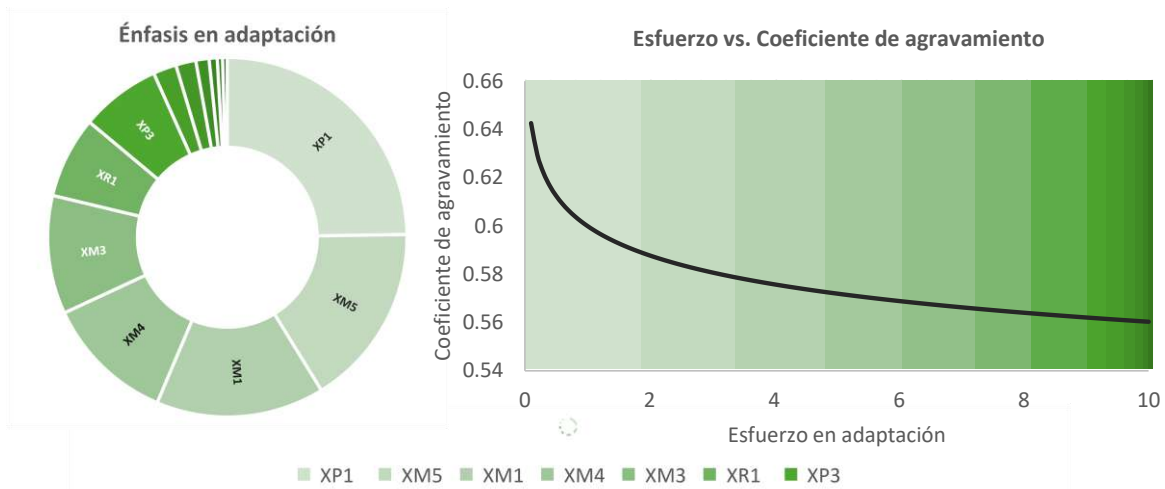
Samaná



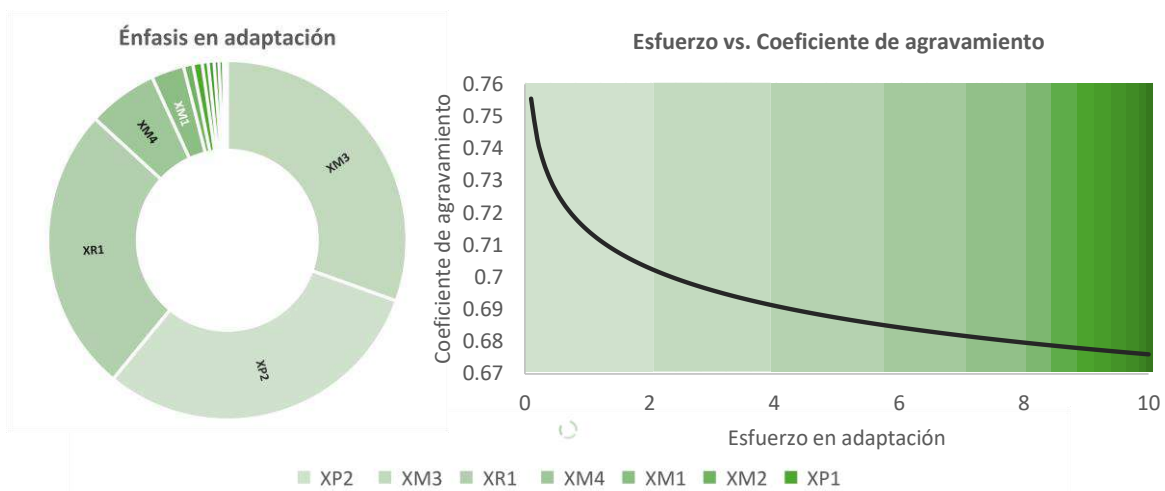
San José



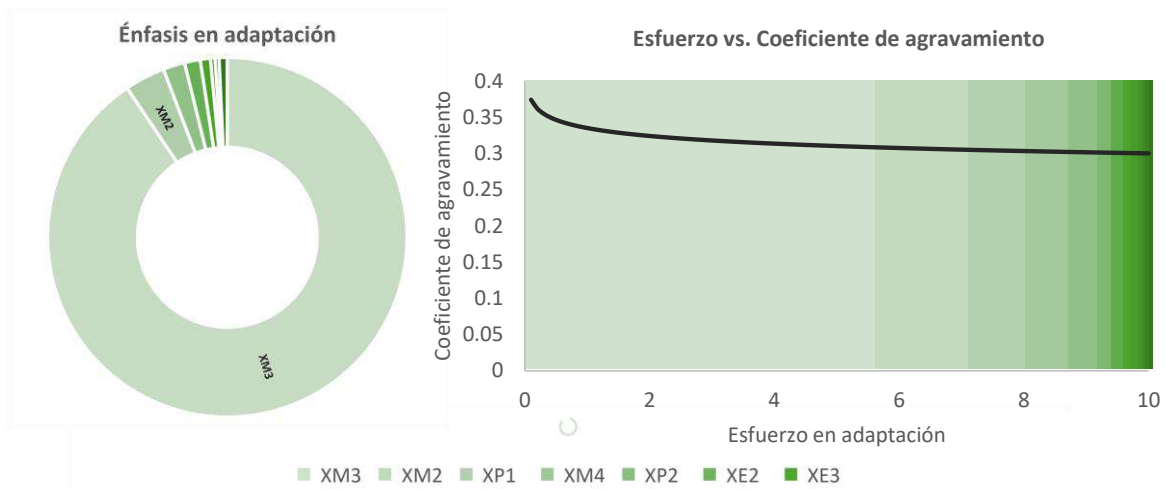
Supía



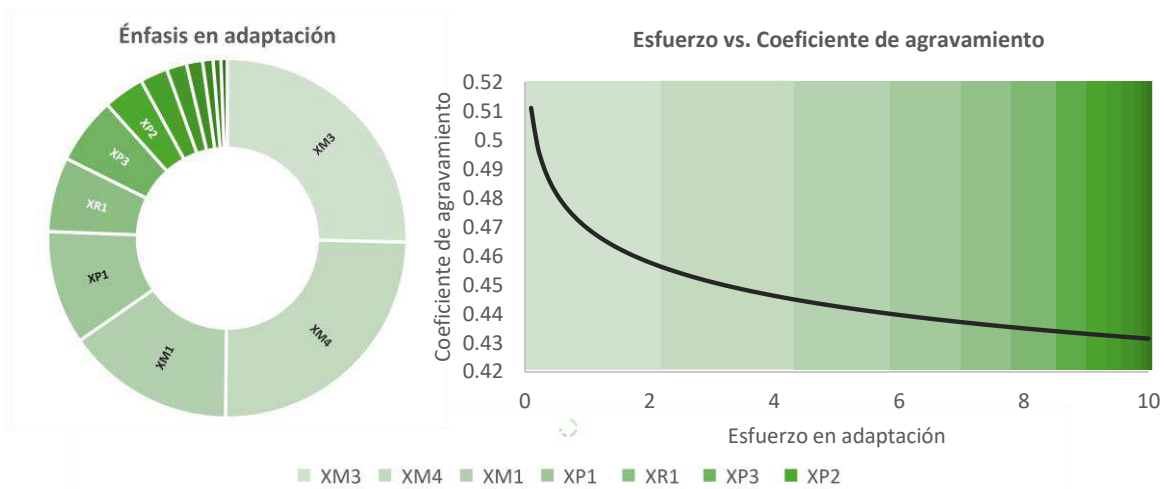
Victoria



Villamaría

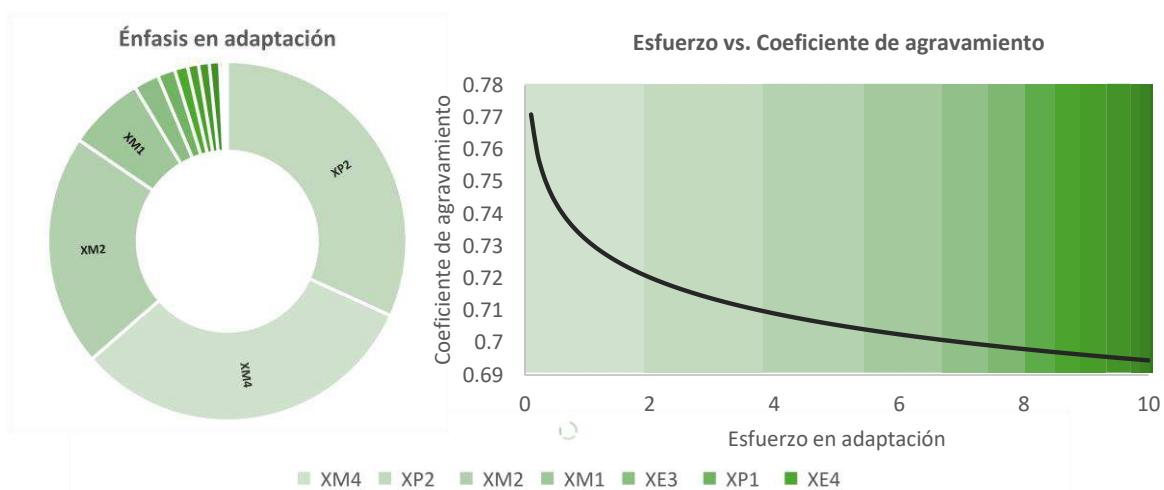


Viterbo

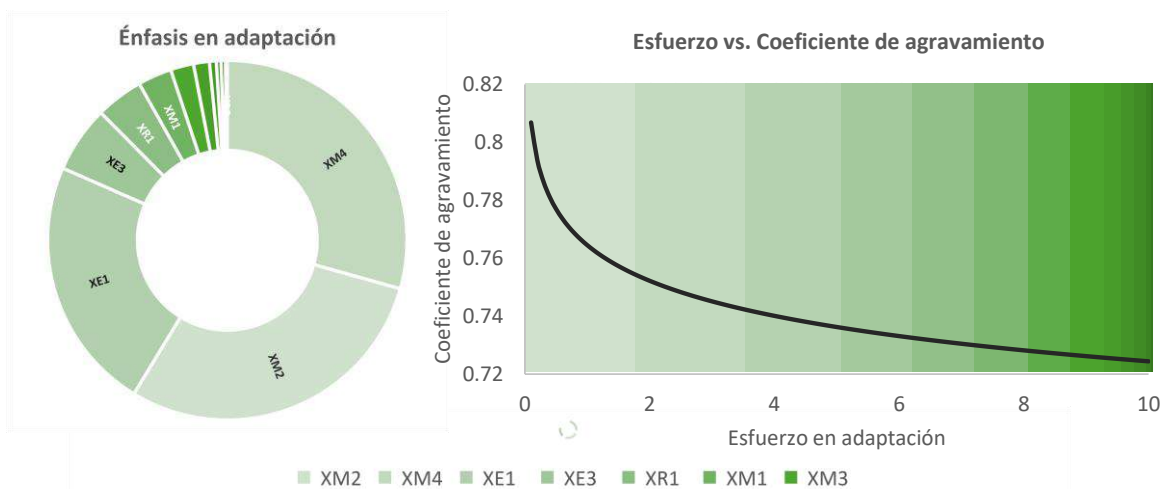


Municipios de Cauca

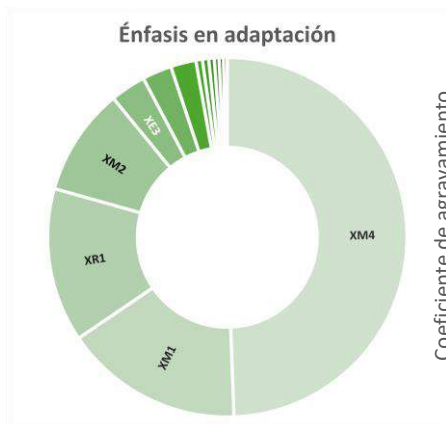
Almaguer



Argelia

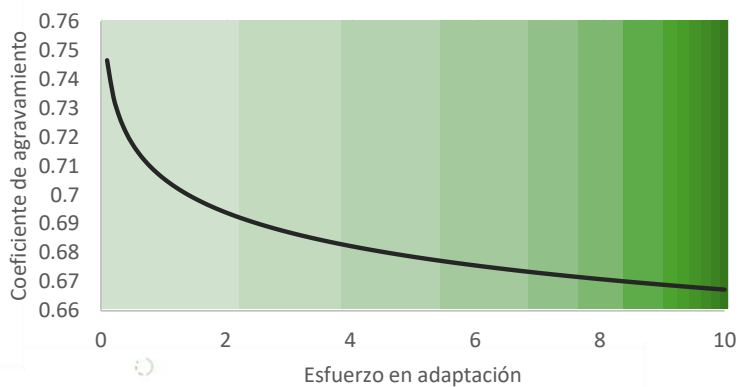


Balboa

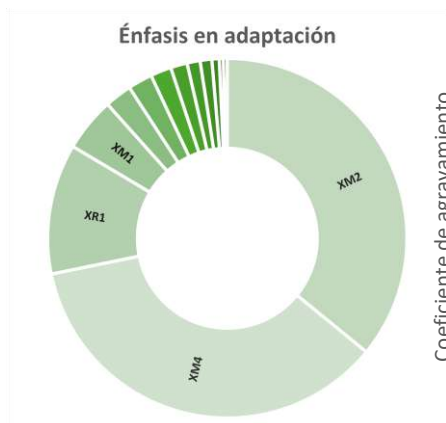


■ XM4 ■ XM1 ■ XR1 ■ XM2 ■ XE3 ■ XP1 ■ XE1

Esfuerzo vs. Coeficiente de agravamiento

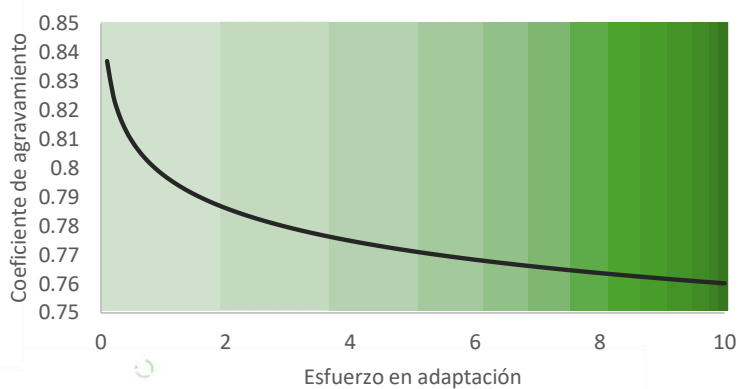


Bolívar

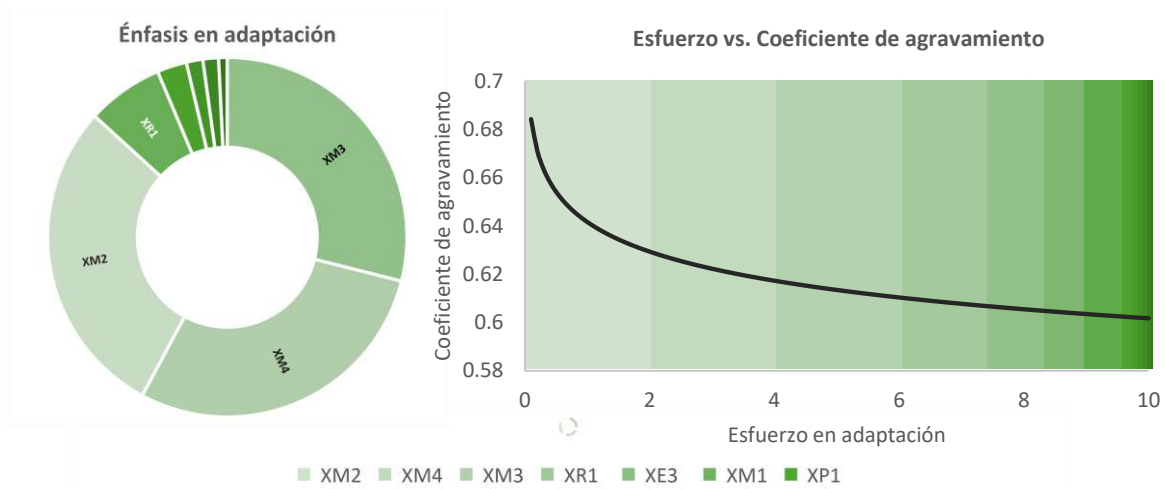


■ XM4 ■ XM2 ■ XR1 ■ XM1 ■ XM3 ■ XE3 ■ XP1

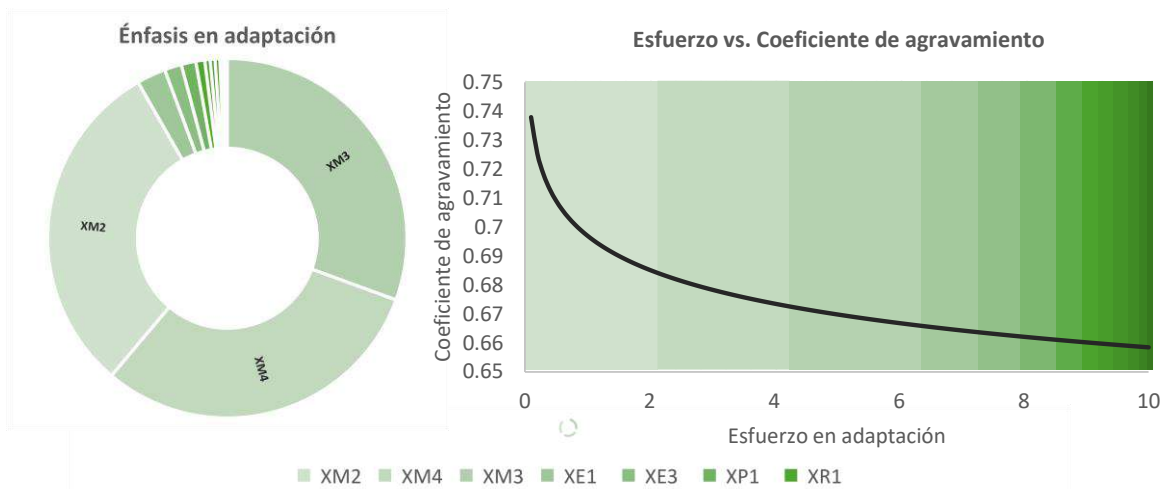
Esfuerzo vs. Coeficiente de agravamiento



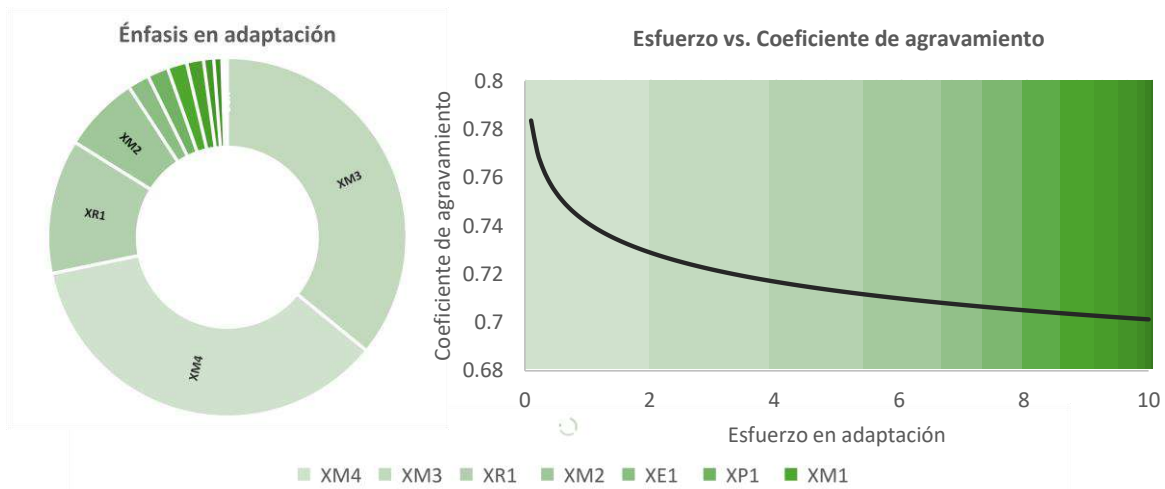
Buenos Aires



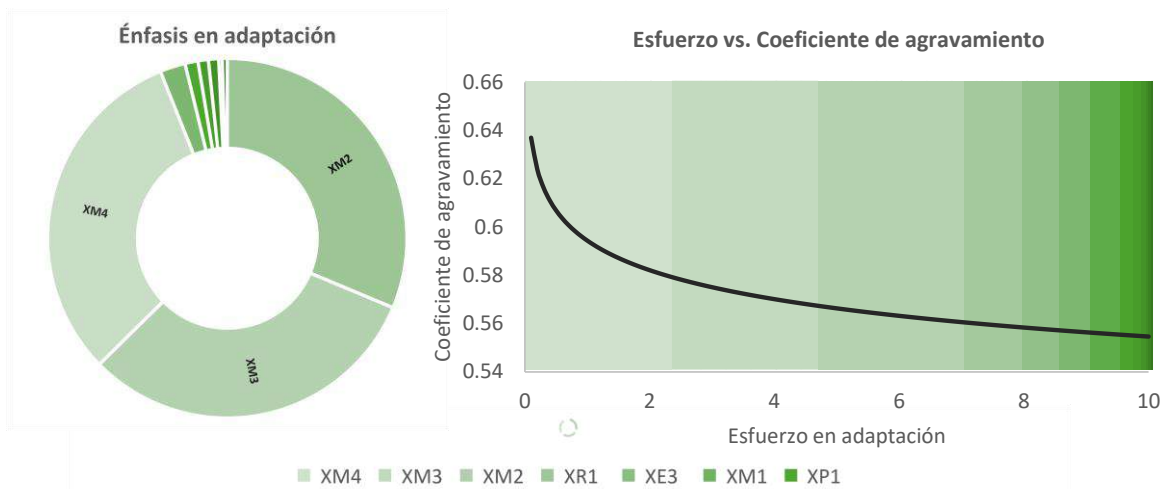
Cajibío



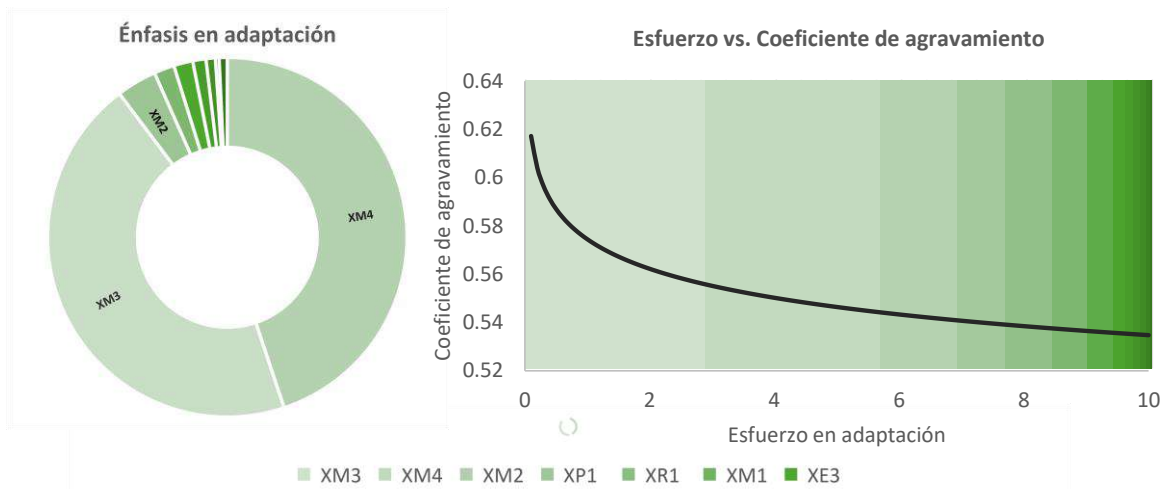
Caldono



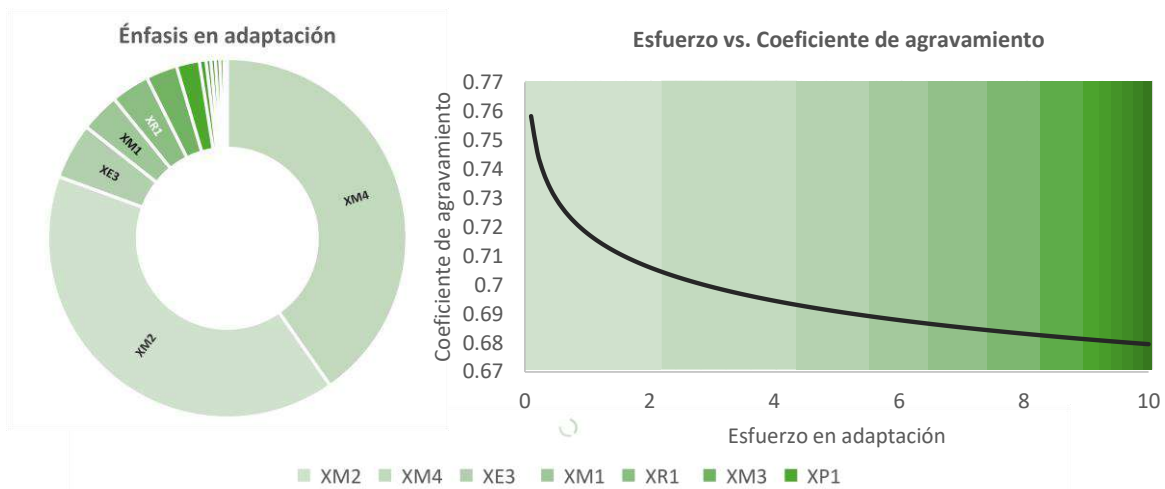
Caloto



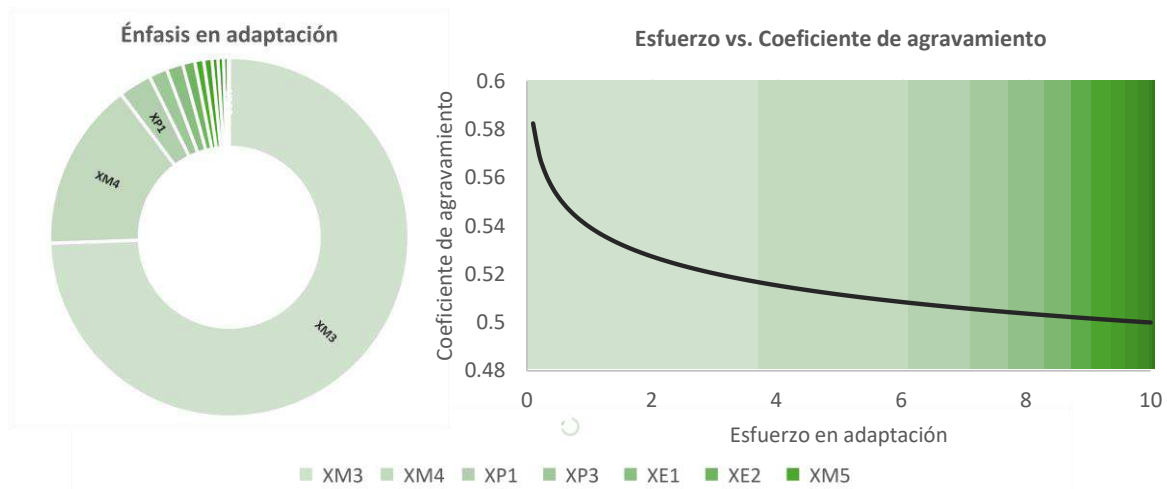
Corinto



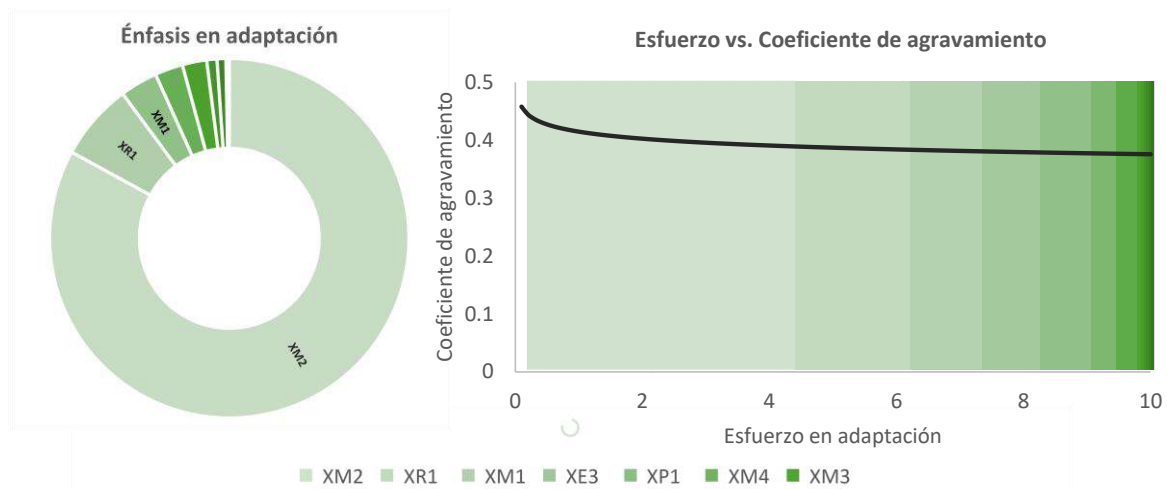
El tambo



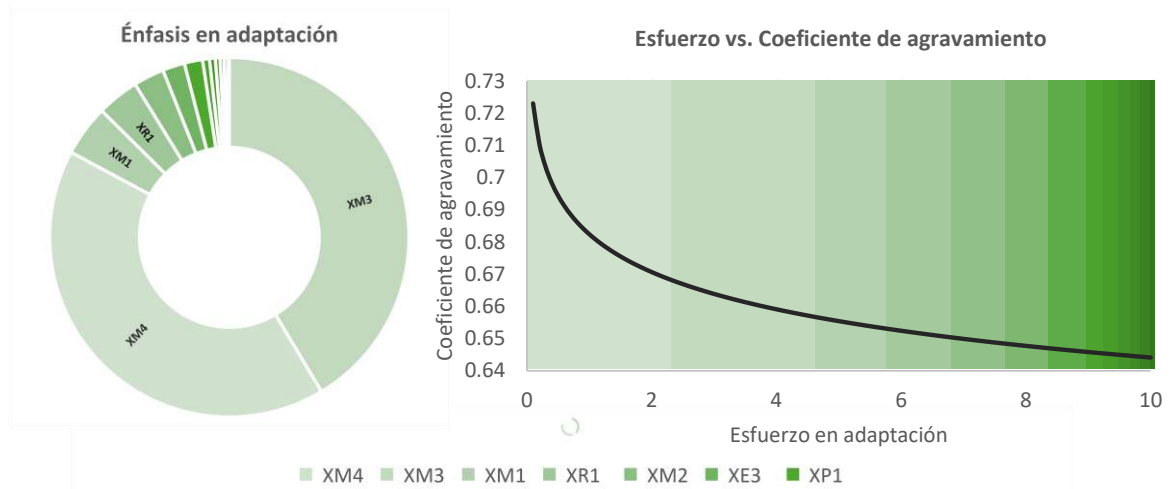
Florencia



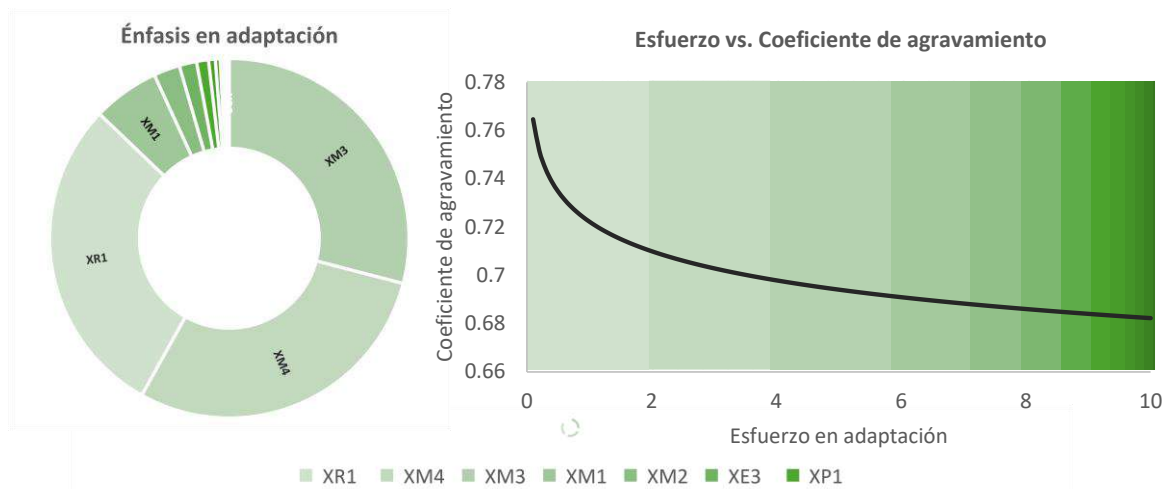
Guachené



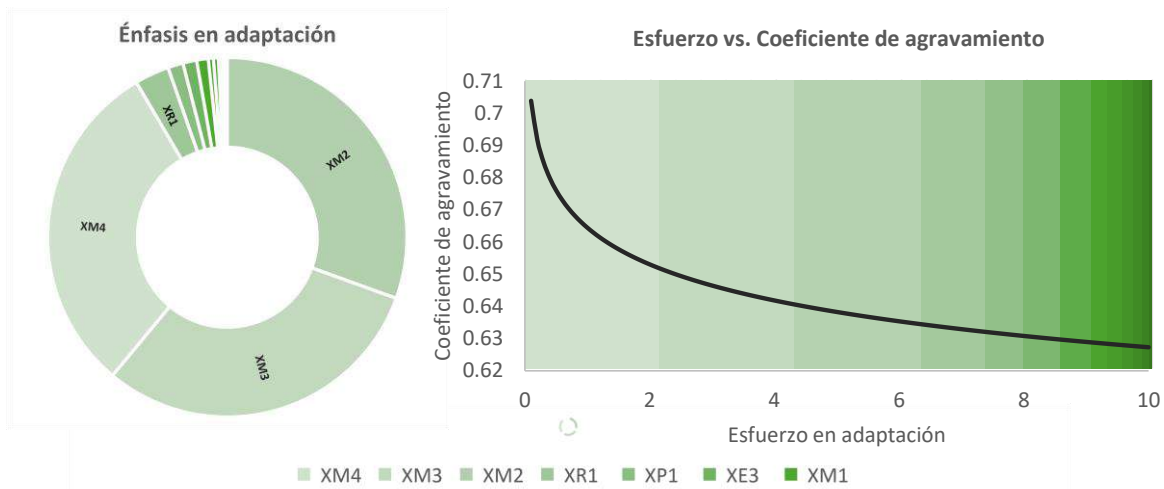
Inzá



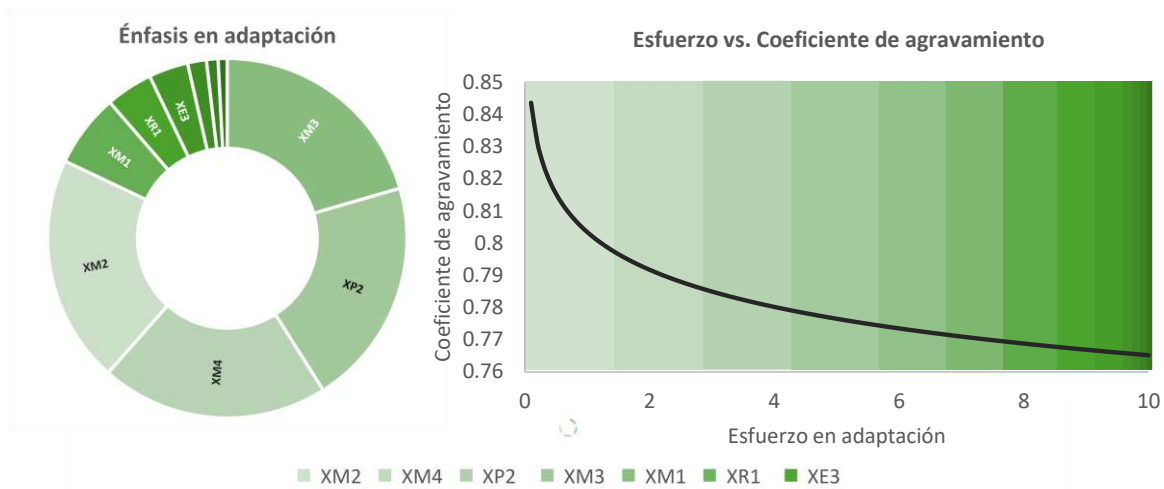
Jambaló



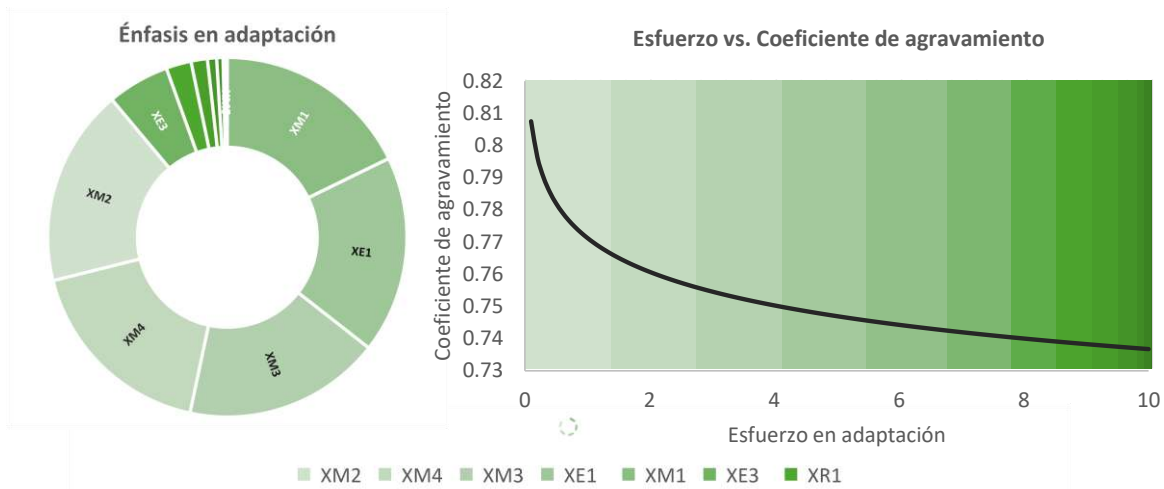
La Sierra



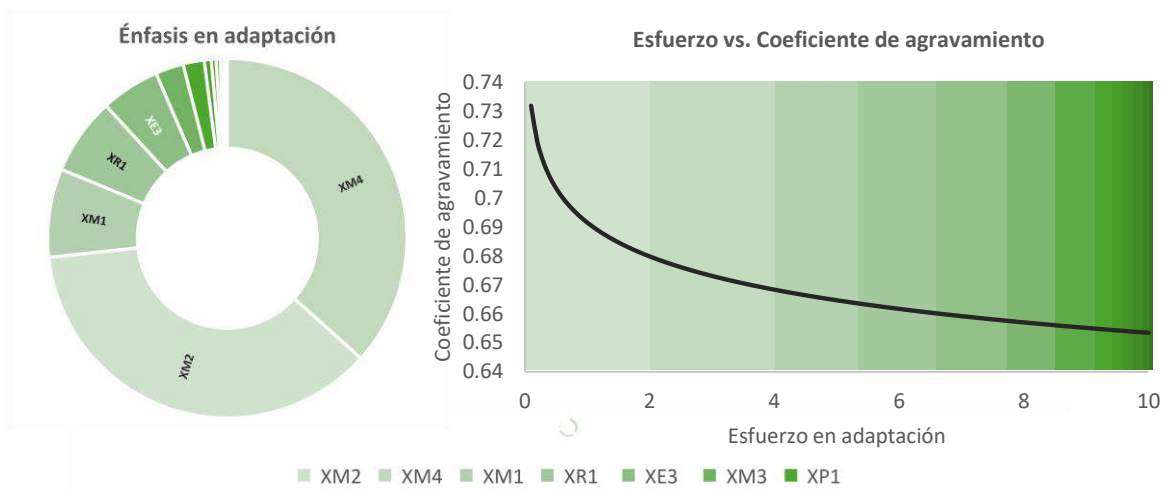
La Vega



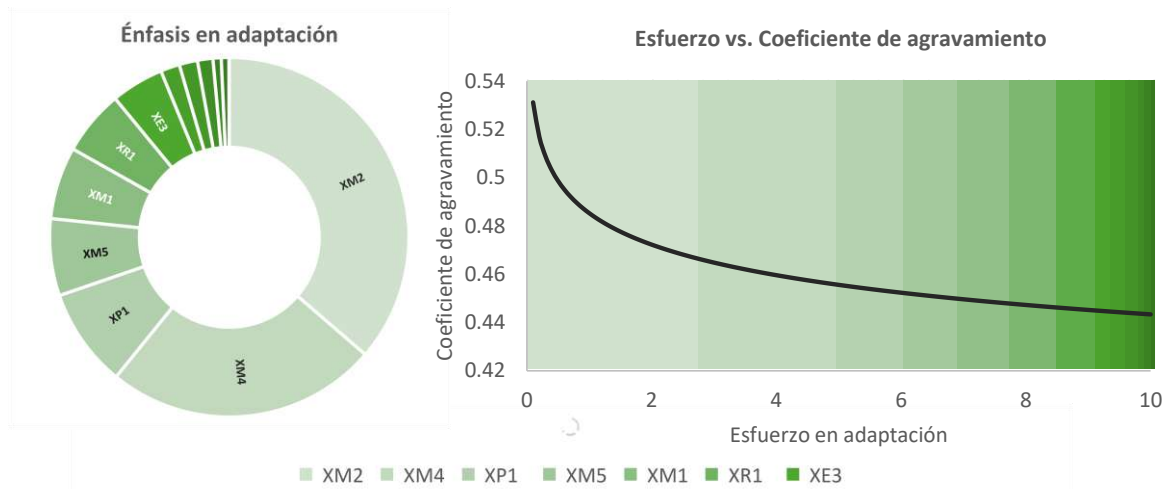
López de Micay



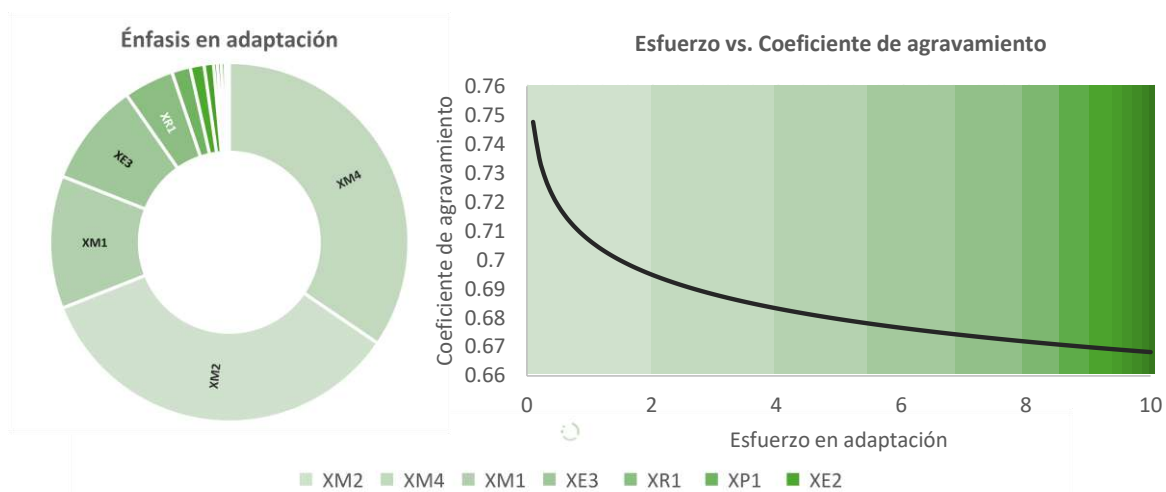
Mercaderes



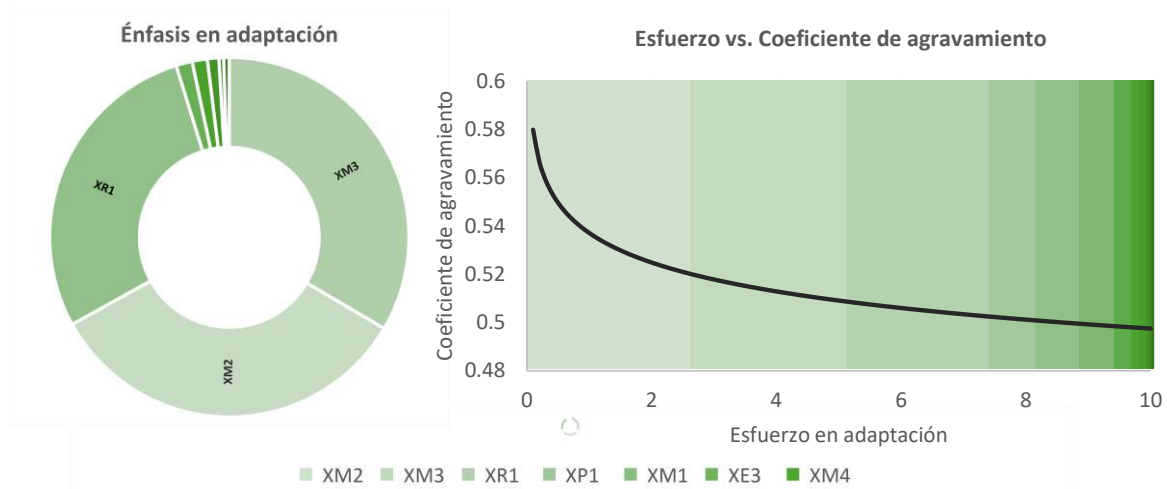
Miranda



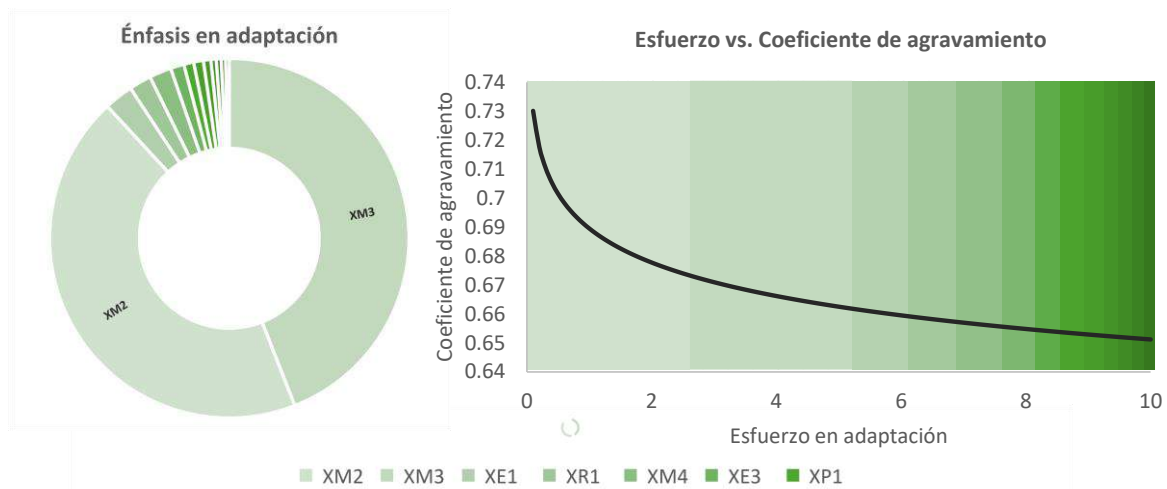
Morales



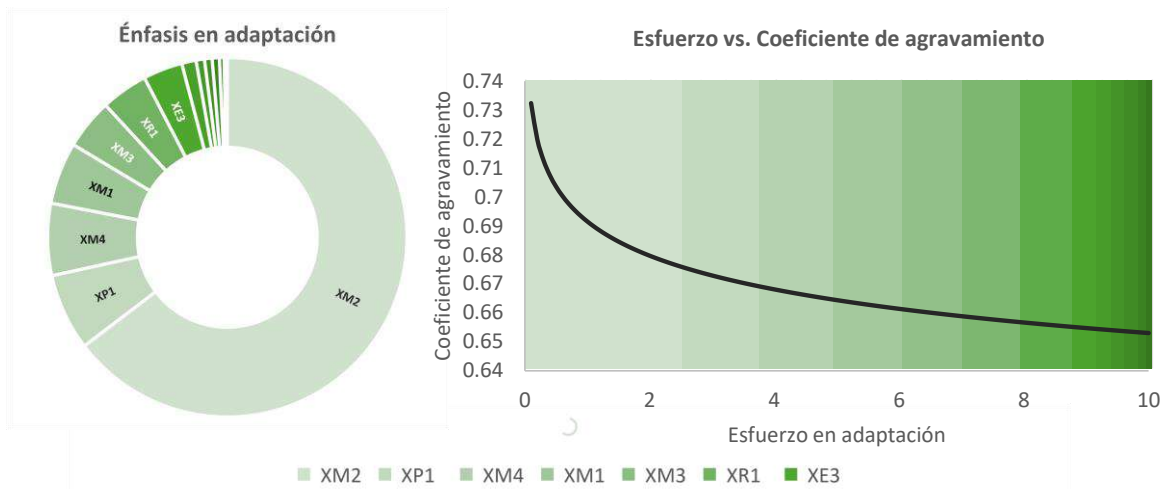
Padilla



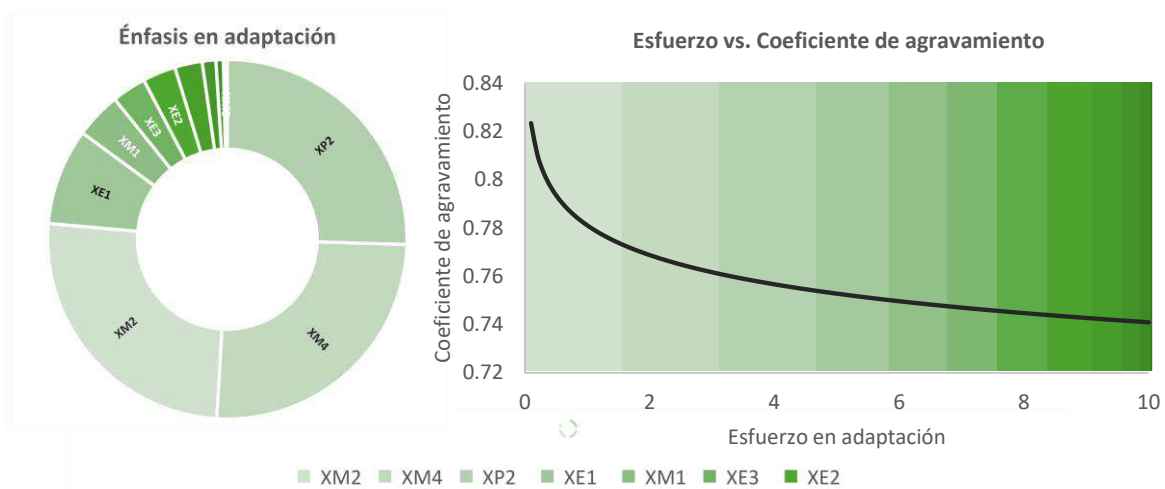
Páez



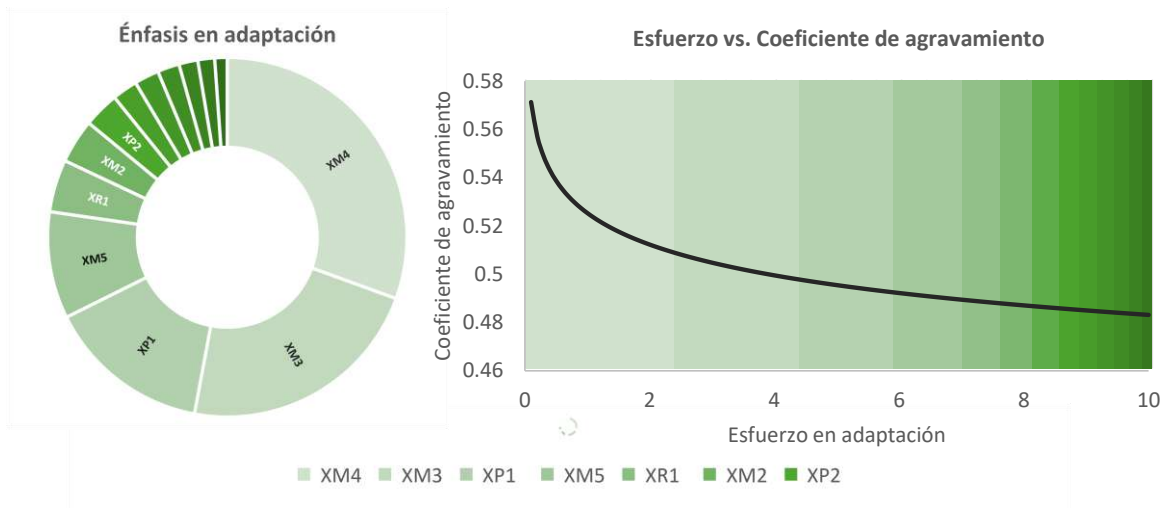
Patía



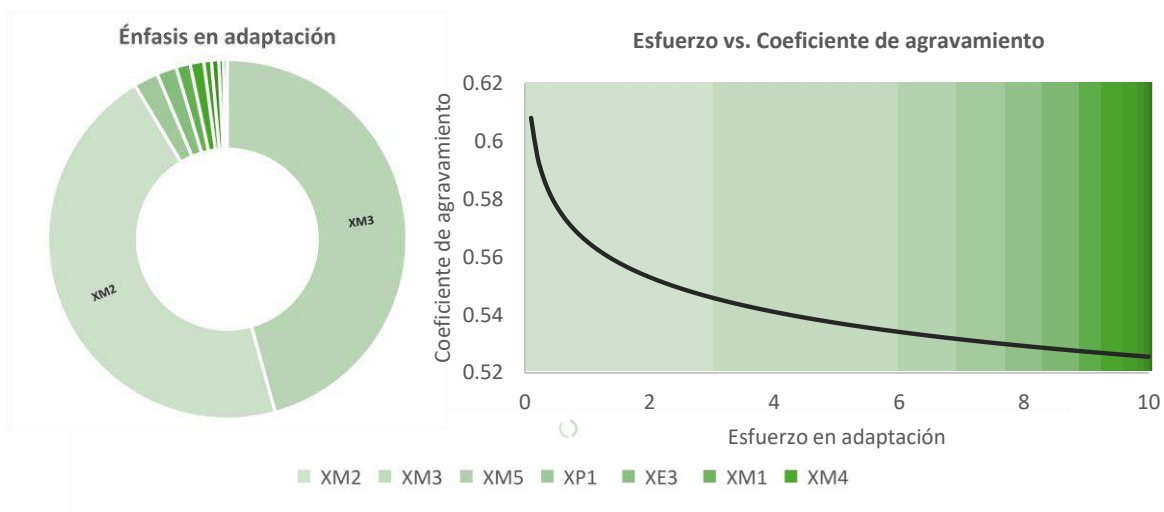
Piamonte



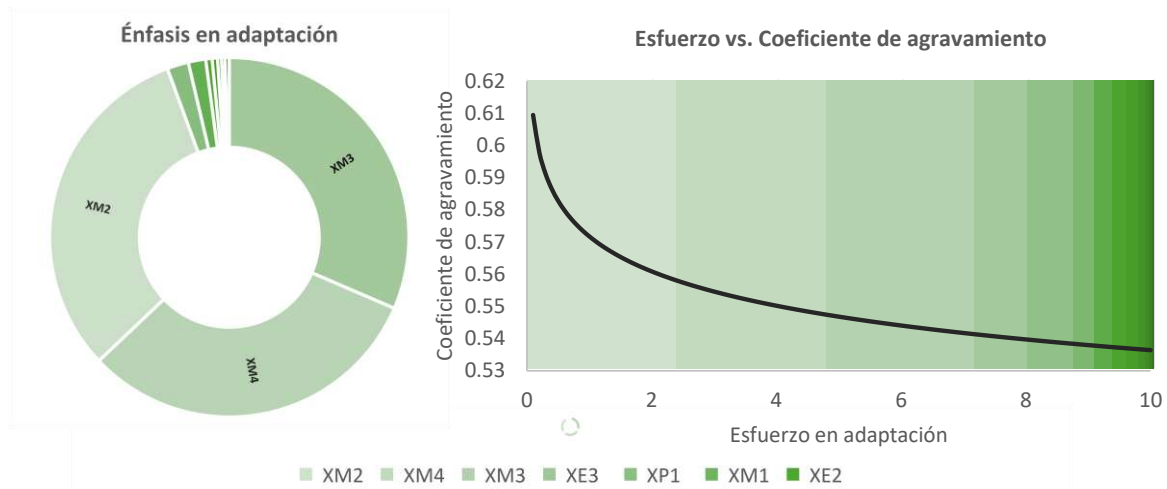
Piendamó – Tunía



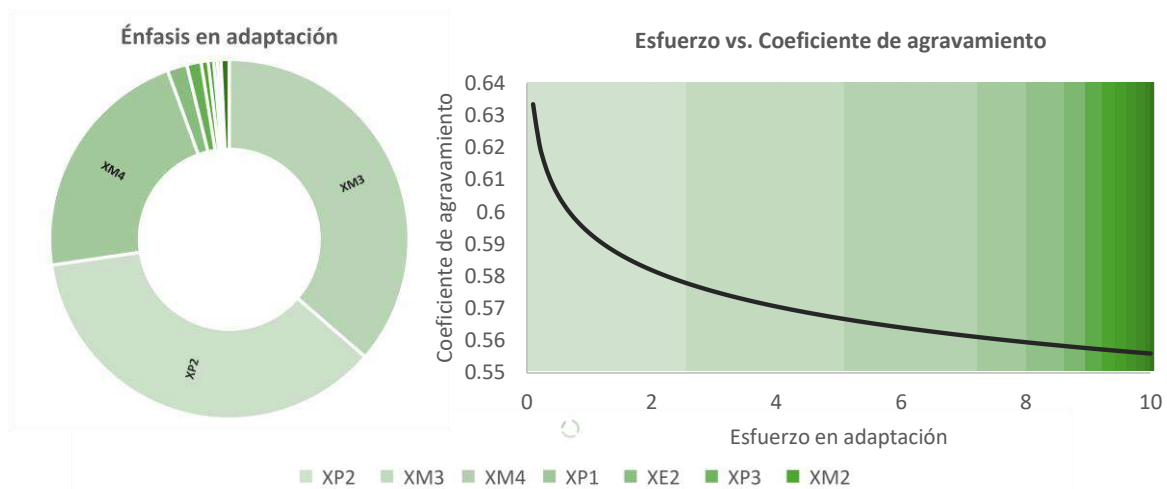
Puerto Tejada



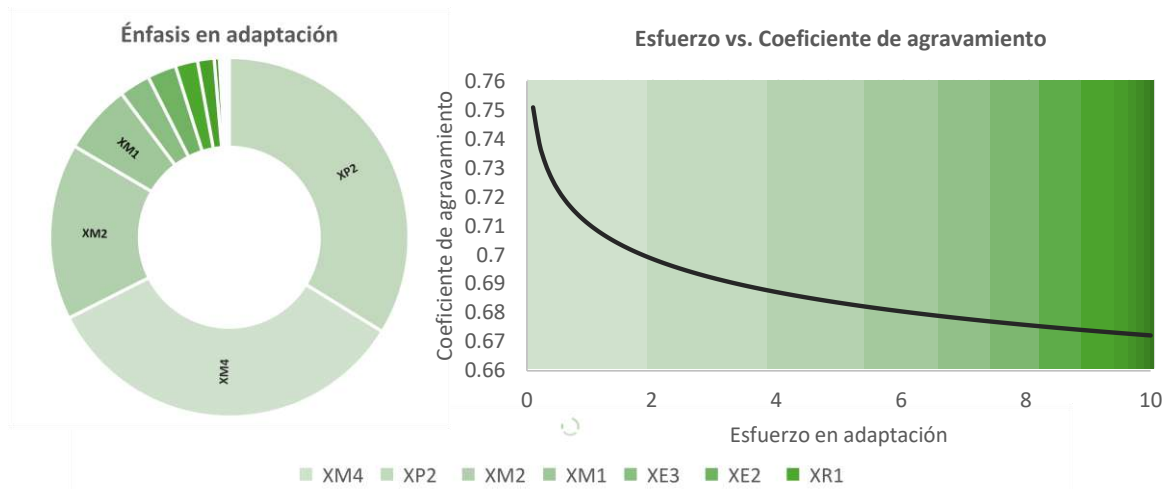
Puracé



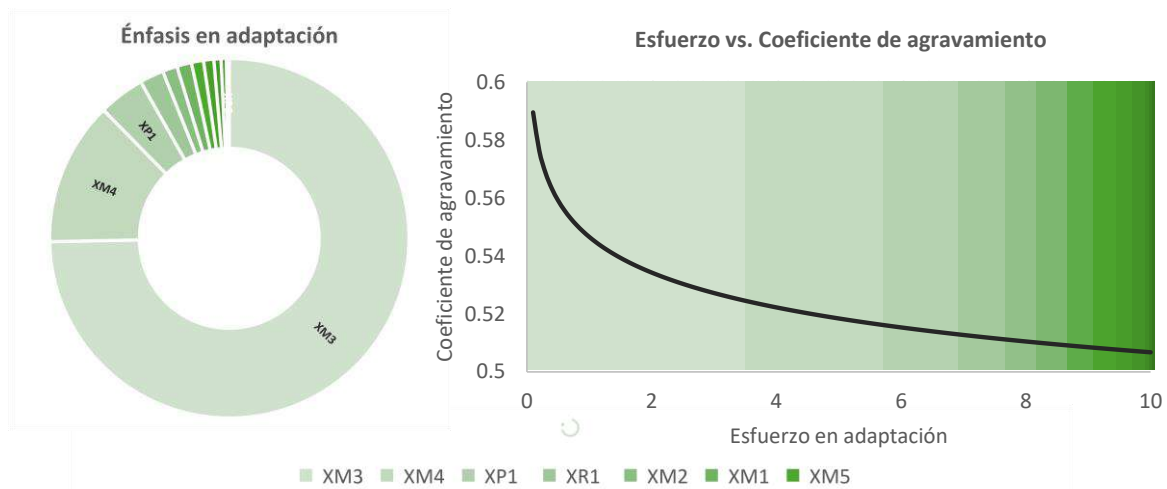
Rosas



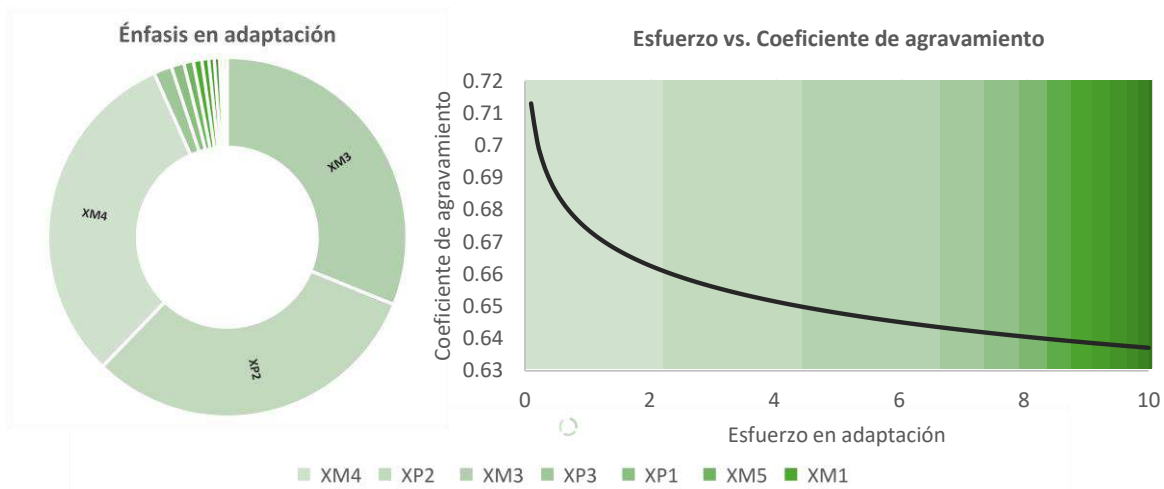
San Sebastián



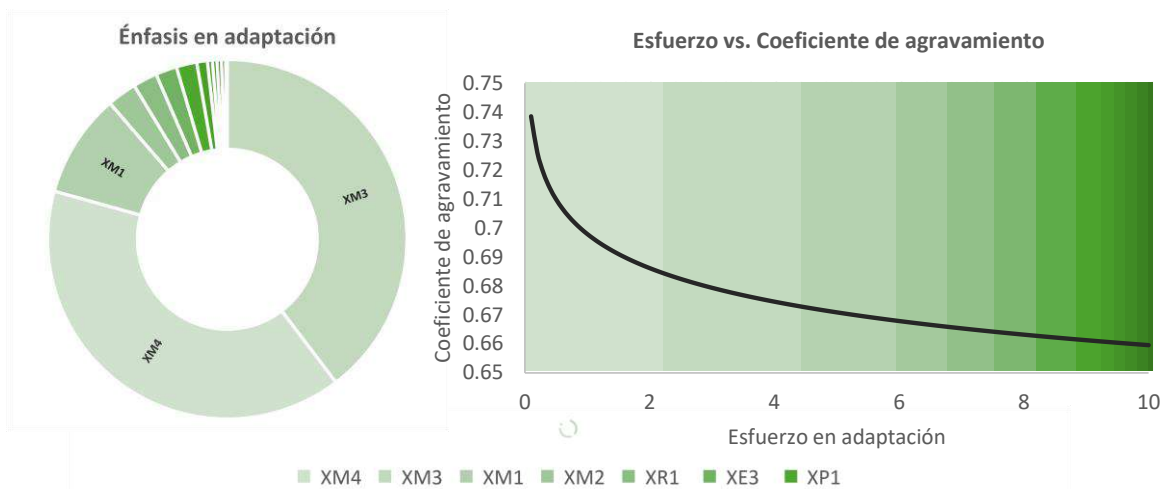
Santander de Quilichao



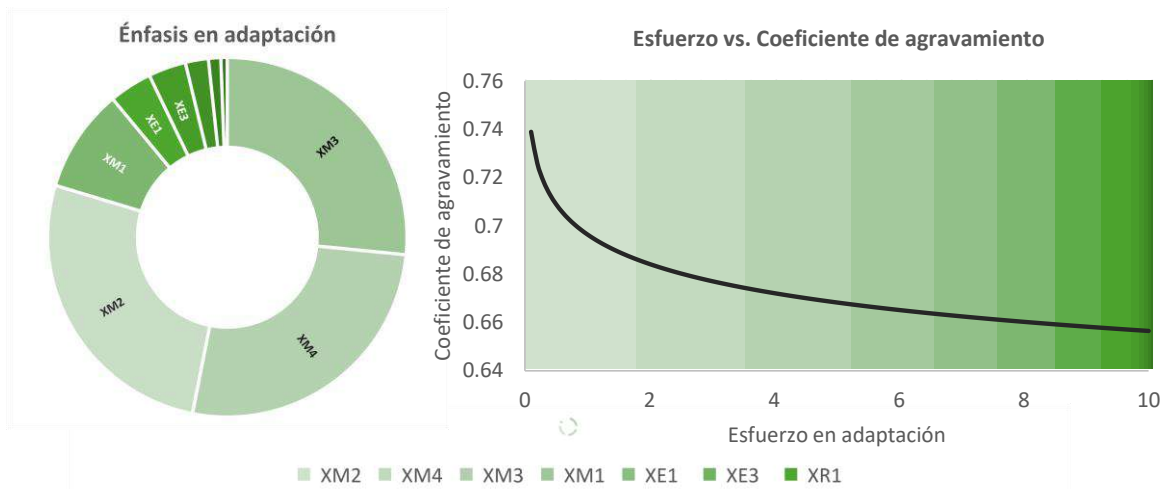
Santa Rosa



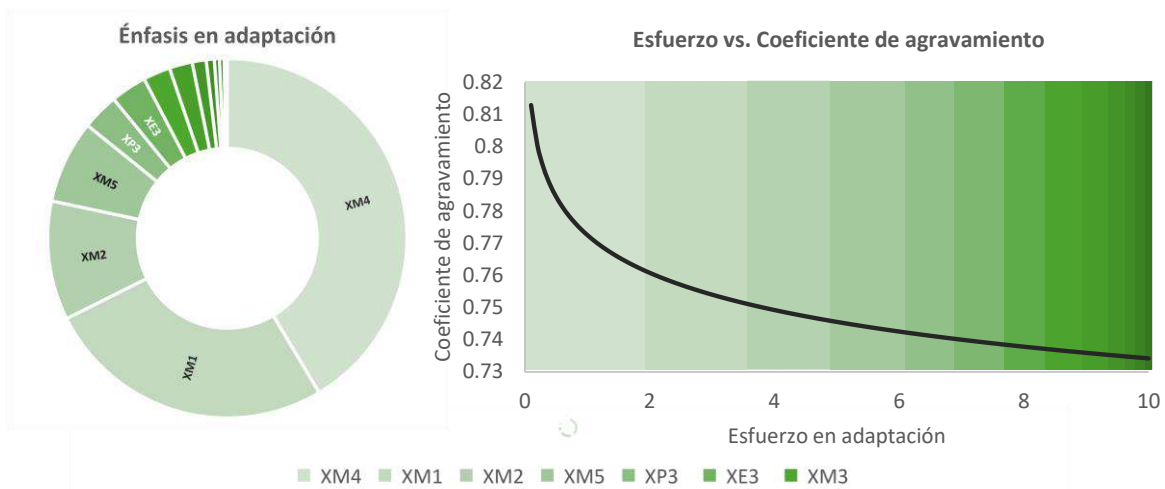
Silvia



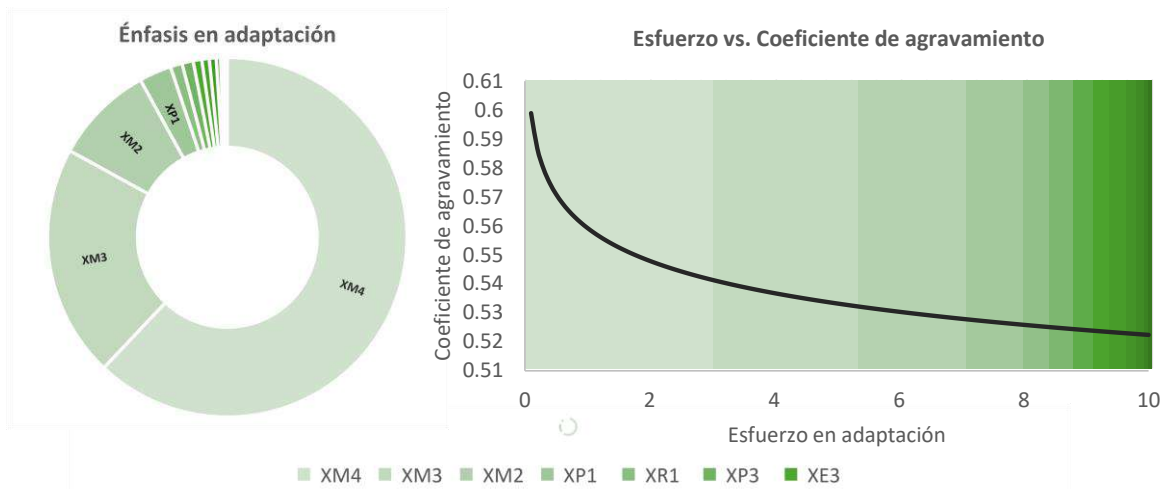
Suárez



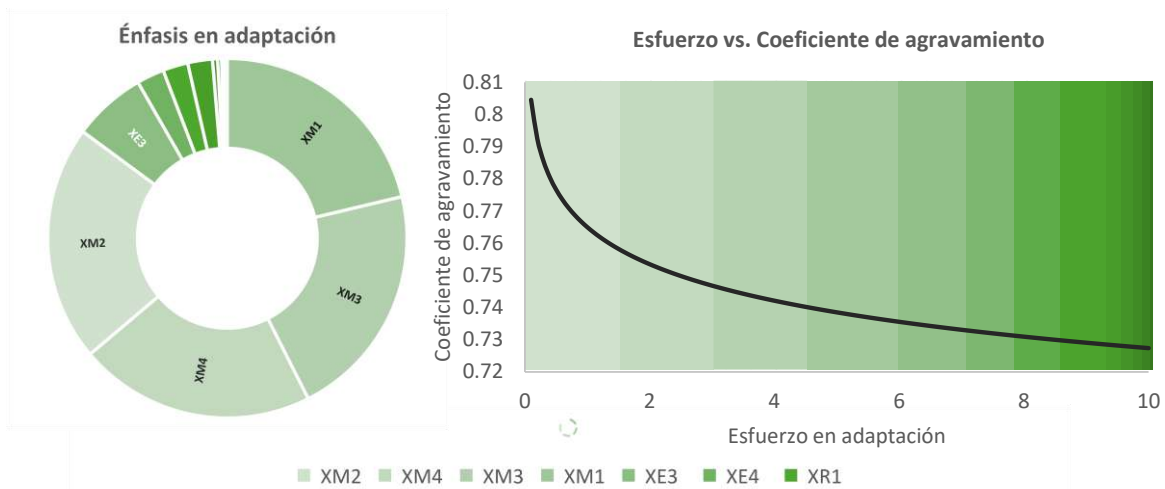
Sucre



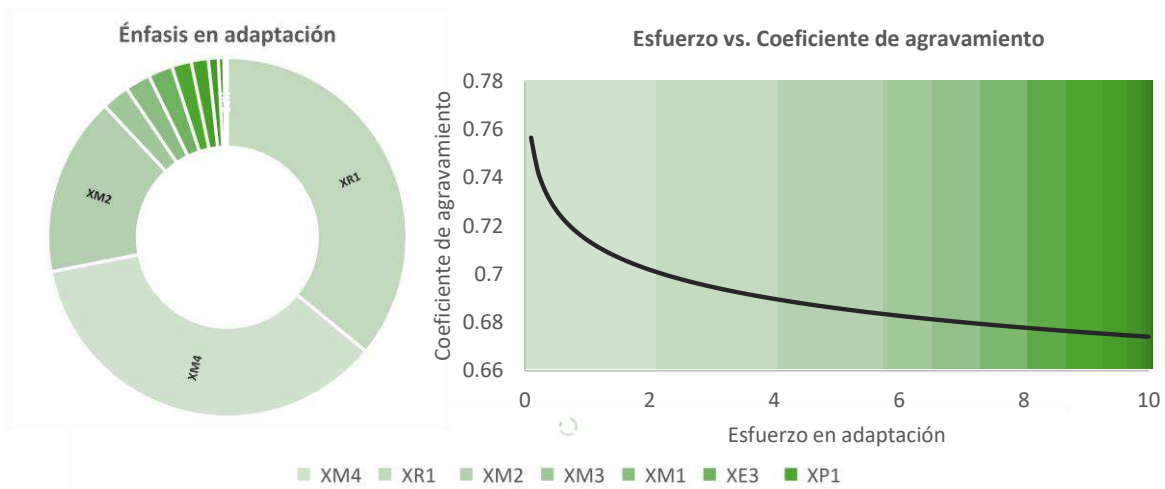
Timbío



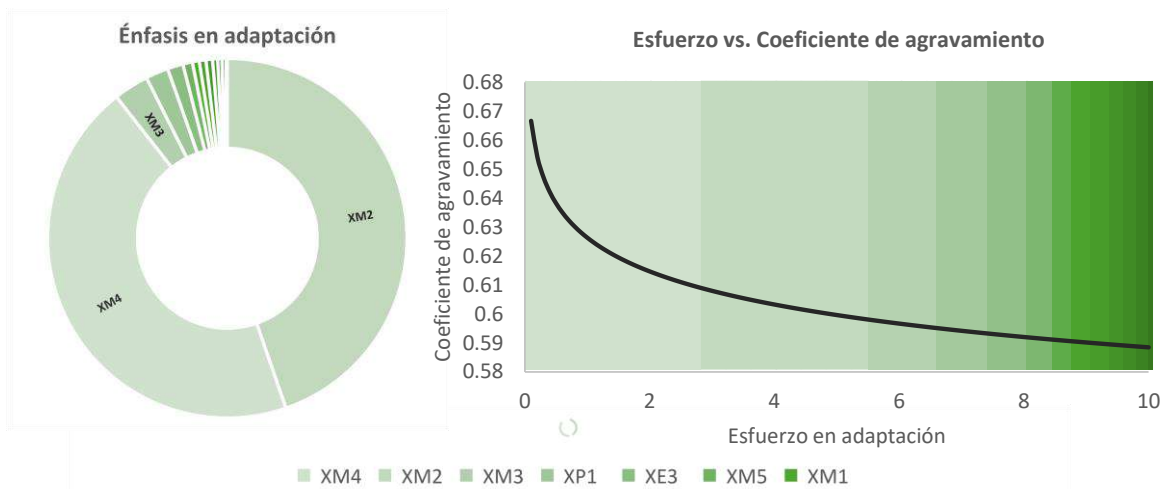
Timbiquí



Toribío



Totoró



Villa Rica

