

*Análisis de riesgo
y vulnerabilidad
climática con enfoque
ecosistémico*

BUCARA MANGA

NaBa

Nature-Based Resilient Cities

*Análisis de riesgo
y vulnerabilidad
climática con enfoque
ecosistémico*

BUCARA MANGA

Las ciudades son particularmente vulnerables a los impactos del cambio climático, como inundaciones, lluvias intensas, sequías y olas de calor, y es importante tomar medidas para adaptarse a estos riesgos.

Financiado por



Implementado por



WORLD
RESOURCES
INSTITUTE



El proyecto es implementado por **ICLEI Colombia**, en alianza con **ICLEI América del Sur**, el **World Resource Institute** y el **Instituto Alexander von Humboldt**.

ICLEI Colombia

Director Ejecutivo

Alejandro González Valencia

Equipo de trabajo

Maria Fernanda Esquivel Torrez
Roxana García Cienfuegos
Maria Camila Moreno Carvajal
Maria Alejandra Palacio Villa
Carlos Vicente Rey
Maria Fernanda Riveros Bustos
Leonardo Ruales
Edwin Uribe
Melissa Velásquez Zuleta
Juliana Vélez Duque

ICLEI América del Sur

Director Ejecutivo

Rodrigo Perpetuo

Equipo de trabajo

Leta Vieira
Isadora Buchala
Keila Ferreira
Íris Coluna
Tiago Mello
Sarah Gimenes
Lucas Rocha

Alcaldía de Bucaramanga

Diseño editorial

.Puntoaparte Editores

Un agradecimiento especial a todas las personas que con sus conocimientos aportaron en la creación de este producto:

Participantes de la alcaldía de Bucaramanga, instituciones públicas y privadas, representantes de las comunidades, academia, organizaciones no gubernamentales y sociedad civil.

Mayo, 2023

Copyright:

Todos los derechos reservados
ISBN: 978-628-7526-24-2

ICLEI - Gobiernos Locales por la Sustentabilidad es una organización no gubernamental internacional que actúa como una red global de gobiernos locales y subnacionales comprometidos con el desarrollo sostenible y la mitigación de los efectos de la emergencia climática en un contexto urbano. ICLEI América del Sur reúne a sus 130 miembros en este movimiento global, en ocho países de la región, se ha destacado en el desarrollo y ejecución de proyectos sobre los temas de clima y desarrollo bajo en carbono, resiliencia, residuos sólidos, biodiversidad urbana, entre otros.

El Análisis de Riesgo y Vulnerabilidad Climática señala los riesgos y vulnerabilidades del territorio ante el cambio climático, a partir de la verificación de datos actuales y proyección de escenarios futuros, enfocándose en la construcción colectiva y participativa. Este análisis se realiza mediante la caracterización de componentes de riesgo, identificando cómo los diferentes grupos sociales, ecosistemas y biodiversidad se ven afectados por los efectos del cambio climático, y cuál es su nivel de resiliencia para adaptarse y responder a dichos efectos.

Este informe recoge los principales hallazgos del Análisis de Riesgo y Vulnera-

bilidad Climática construido de manera participativa, en el marco del proyecto NaBa: Ciudades Resilientes basadas en la Naturaleza. Como parte del programa UK PACT en Colombia, NaBa apoya al país en la transición hacia un futuro más verde y resiliente, a través de soluciones basadas en la naturaleza para enfrentar la crisis climática y la pérdida de biodiversidad. El proyecto es implementado por ICLEI Colombia, en alianza con ICLEI América del Sur, el World Resource Institute y el Instituto Alexander von Humboldt.

Este resultado busca integrarse con los demás instrumentos de planificación urbana y con importantes caminos que hacen que las ciudades en el ámbito del proyecto NaBa caminen hacia el desarrollo sostenible.



Rodrigo Perpetuo

Secretario Ejecutivo
ICLEI América del Sur

CONTENIDO

p. 6

INTRODUCCIÓN

p. 8

Capítulo 1

METODOLOGÍA

p. 10

Fase 1. Lente climática

p. 11

Fase 2. Identificación de riesgos

p. 17

Fase 3. Identificación de la sensibilidad

p. 18

Fase 4. Mapeo participativo

p. 19

Fase 5. Geoprocesamiento de datos

p. 25

Fase 6. Análisis de cambio climático

p. 28

Fase 7. Validación y monitoreo

p. 32

Capítulo 2

DIAGNÓSTICO

p. 33

Diagnóstico inicial

p. 35

Riesgos asociados al cambio climático

p. 41

Priorización de riesgos

p. 46

Conclusiones y principales hallazgos

p. 48

Resultados Scorecard

p. 50

Capítulo 3

RESULTADOS ESPACIALES

p. 53

Delimitación del área de estudio

p. 54

Riesgo por Movimientos de remoción en masa

p. 68

Riesgo por Inundación

p. 80

Riesgo por Enfermedades transmitidas por vectores

p. 84

Riesgo Crítico

p. 90

Escenarios de Cambio Climático

p. 98

Análisis de índices de Cambio Climático

p. 110

Capítulo 4

PRINCIPALES HALLAZGOS Y RECOMENDACIONES

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es resultado de la acción humana en los últimos 50 años, con la economía mundial y la urbanización como principales factores. Las ciudades son particularmente vulnerables a los impactos del cambio climático, como inundaciones, lluvias intensas, sequías y olas de calor, y es importante tomar medidas para mitigar y adaptarse a estos riesgos.

Colombia es un país altamente vulnerable al cambio climático, con efectos visibles en los ecosistemas, como el derretimiento de los nevados y el blanqueamiento de los corales. El aumento de la temperatura global debido a las actividades humanas ya ha alcanzado aproximadamente 1 °C con respecto a los niveles preindustriales, y es probable que aumente a 1,5 °C en las próximas décadas. Para enfrentar efectivamente los impactos del cambio climático, es necesario establecer estrategias técnicas, institucionales y políticas que integren a las comunidades y aumenten la resiliencia de los sistemas socioecológicos. El presente producto busca proporcionar información a los gobiernos locales para identificar los principales riesgos y el nivel de vulnerabilidad de las ciudades ante el cambio climático, y orientar los programas y planes de adaptación climática.

El concepto de riesgo en el contexto del cambio climático se integra con la práctica de reducción del riesgo de desastres, abordando los impactos generados por fenómenos naturales o antrópicos. El IPCC define el riesgo como el potencial de consecuencias adversas para los sistemas humanos o ecológicos, que surge de la interacción entre sus tres

componentes: las amenazas, la exposición y la vulnerabilidad de los sistemas socio-ecológicos afectados. La exposición se refiere a la presencia de elementos que pueden verse afectados negativamente, mientras que la vulnerabilidad se define como la propensión a ser afectado negativamente, involucrando los conceptos de sensibilidad y capacidad. El proceso de adaptación es clave para reducir la vulnerabilidad e inclusive la exposición al cambio climático. La evaluación del riesgo se enfoca en la interrelación entre el cambio climático y los sistemas socio-ecológicos.

El Análisis de Riesgo y Vulnerabilidad Climática (ARVC) se enfoca en evaluar y analizar los riesgos climáticos, y cómo estos pueden incrementar con el cambio climático. Este análisis se realiza mediante la caracterización de los componentes del riesgo, identificando cómo diferentes grupos sociales, ecosistemas y biodiversidad son afectados por los efectos del cambio climático, y cuál es su nivel de resiliencia para adaptarse y responder a dichos efectos. Incluir el análisis climático participativo en este proceso proporciona información adicional crucial y mejora la precisión del diagnóstico.

El diagnóstico del análisis climático participativo es una herramienta muy eficiente

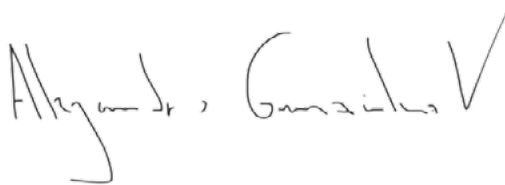
para la planificación urbana, ya que permite recoger información de las personas que viven directamente los eventos extremos y contribuye a la educación de las poblaciones. La interacción entre el gobierno local, la academia, el sector público, el sector privado y la sociedad civil genera insumos importantes para la toma de decisiones y el desarrollo de políticas públicas, considerando el cambio climático desde diferentes contextos.

La metodología propuesta para el ARVC abarca la integración de seis dimensiones propias de los sistemas socioecológicos propuestas por la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (TCNCC): recurso hídrico, seguridad alimentaria, biodiversidad, infraestructura, salud y hábitat humano, con base en la información disponible en las ciudades y con el fin de fortalecer los procesos de toma de decisión a nivel urbano-regional y la implementación de planes de adaptación al cambio climático que integren la Adaptación basada en Ecosistemas y Soluciones basadas en la Naturaleza.

A nivel nacional, existen dos políticas públicas que abordan la gestión del riesgo de desastres y el cambio climático. La primera es la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, que establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD). La segunda es la Política Nacional de Cambio Climático, que tiene como objetivo integrar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono. Dentro de esta política surge el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), con el objetivo de reducir el riesgo y los impactos asociados a la variabilidad y al cambio climático. Se reconoce la necesidad de trabajar conjuntamente la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático para reducir la exposi-

ción y la vulnerabilidad ante los fenómenos climáticos y sus diferentes impactos. En el marco del proyecto y desarrollo del ARVC, es importante considerar las definiciones y comparar ambas políticas.

El alcance del ARVC estará limitado por la información disponible en cada ciudad y se representará por medio de cartografía detallada para contribuir en la toma de decisiones. Los territorios se interpretan como escenarios para estimar la interacción entre el clima y el riesgo en el futuro, y se representan por medio de mapas para evaluar y priorizar las acciones de intervención. Este producto hace parte de los resultados del proyecto NaBa en su año 1. El proyecto “NaBa: Ciudades Resilientes Basadas en la Naturaleza”, hace parte del portafolio del programa de UK-PACT en Colombia, que tiene como objetivo apoyar al país en una transición a un futuro más verde y resiliente. El foco de trabajo para el proyecto es la implementación y promoción de soluciones basadas en la naturaleza ante la crisis climática. Para lograr la formulación de estas soluciones, se considera necesario tener un diagnóstico de los riesgos climáticos que posee Montería. Este documento busca tener incidencia en planes, programas y políticas a nivel local, regional y nacional, y está dirigido a tomadores de decisión, incluyendo alcaldes, secretarios de ambiente y planeación, funcionarios públicos, sector privado, academia, entidades de investigación, ONG y sociedad civil.



Alejandro González

Director Ejecutivo
ICLEI Colombia

*Capítulo 1*

METODOLOGÍA

p. 10

Fase 1. Lente climática

p. 11

Fase 2. Identificación de riesgos

p. 17

Fase 3. Identificación de la sensibilidad

p. 18

Fase 4. Mapeo participativo

p. 19

Fase 5. Geoprocesamiento de datos

p. 25




Fase 6. Análisis de cambio climático

p. 28

Fase 7. Validación y monitoreo

Para desarrollar la metodología implementada se recurrió a distintos documentos nacionales e internacionales, así como a experiencias exitosas de Colombia y Brasil:

Tabla 1. Documentos y experiencias de base para el desarrollo de la metodología.

Internacionales	
	Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (ARC6, IPCC, 2021)
	Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (ARC5, IPCC, 2014)
	Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook (GIZ, 2017)
	The Vulnerability Sourcebook (GIZ, 2014)
	Disaster Resilience Scorecard for Cities MCR2030
Nacionales	
	Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (TCNCC, 2017)
	Análisis del Riesgo al Cambio Climático, Manizales 2020 (URBAN-LEDS, 2022)
	Análisis del Riesgo al Cambio Climático, Cartago 2020 (URBAN-LEDS, 2022)
	Ley 1523 de 2012 sobre la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones
Experiencias exitosas de Brasil	
	Método Participativo de Análisis de Riesgo de Cambio Climático (MMA, 2018)
	La infraestructura verde como instrumento estratégico para la adaptación y el aumento de la resiliencia urbana: un estudio de caso en Belo Horizonte, MG (Buchala, 2022)

La metodología utiliza un modelo conceptual que se basa en tres elementos que componen el riesgo: amenaza climática, vulnerabilidad y exposición. Estos elementos interactúan entre sí y determinan el riesgo de impacto relacionado con el clima. Las amenazas climáticas se refieren a eventos extremos que van más allá de la variabilidad considerada normal, como sequías, fuertes lluvias y olas de calor, entre otros.

La vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad de un entorno a sufrir daños cuando se enfrenta a una amenaza, y es específica a las amenazas que afectan el territorio. Por lo tanto, un sistema puede ser vulnerable a ciertas perturbaciones en el territorio y no a otras. La exposición es la medida en que el sistema está sujeto al contacto con la amenaza climática.

Es importante destacar que los cambios en el sistema climático y en los procesos socioeconómicos son factores que impulsan las amenazas, la vulnerabilidad y la exposición en las ciudades. Por lo tanto, las acciones de mitigación y adaptación pueden interferir directamente en la relación entre el impacto, el riesgo y la ocurrencia.

La metodología ARVC sigue una serie de pasos para analizar el territorio y las ocurrencias climáticas locales. Estos pasos incluyen la aplicación de la lente climática, la identificación de riesgos y sensibilidades, el mapeo participativo, el geoprocesamiento de datos, y la evaluación de escenarios futuros. Estos pasos ayudan a guiar el proceso de análisis del territorio y a desarrollar estrategias para la adaptación de los impactos del cambio climático.

Fase 1.

LENTE CLIMÁTICA

En la primera etapa de la metodología para abordar la gobernanza climática a nivel municipal, fue fundamental evaluar los planes, políticas, proyectos y programas ya existentes en el municipio, para conocer cuál era la visión en cuanto a la gestión del cambio climático. Esto permite tener un punto de partida y comprender cómo se maneja el tema en la región. Además, fue importante aplicar la lente climática para sensibilizar a los actores involucrados en la importancia de la problemática y su impacto potencial en las políticas públicas municipales.

Para llevar a cabo esta evaluación, se recolectó información de diversas fuentes,

incluyendo instituciones gubernamentales a nivel nacional y municipal, organizaciones internacionales como la ONU y el IPCC, instituciones de enseñanza e investigación, organizaciones no gubernamentales y el sector privado. Con la información recolectada, se aplicó la lente climática en conjunto con el municipio para identificar los actores relevantes y así llevar a cabo el trabajo de manera colaborativa y coordinada.

Dentro de los actores relevantes se incluyeron las secretarías, investigadores de academias, organizaciones sociales, personas del sector privado y sociedad civil, para contar con la representación de grupos de poblaciones vulnerables.

Fase 2.

IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

En esta segunda etapa, se procedió inicialmente con una evaluación cualitativa del riesgo al cambio climático, con el objetivo de identificar los riesgos e impactos presentes en Bucaramanga. En segunda instancia, se identificaron indicadores que permitieran evaluar desde cada uno de los componentes del riesgo (amenaza, exposición y vulnerabilidad), los impactos de los diferentes riesgos climáticos sobre las seis dimensiones de la TCNCC.

La evaluación cualitativa partió de determinar amenazas e impactos, vulnera-

bilidades y riesgos climáticos derivados del cambio climático presentes en la ciudad a través del conocimiento técnico y del territorio de los actores locales involucrados. Para el desarrollo de la herramienta, se tomó como base la *Guía para la elaboración de planes de adaptación al cambio climático para organizaciones* (Klima 2050), acorde con las afectaciones y las dimensiones del bienestar. Para esta evaluación se utilizaron las siguientes Tablas:

Tabla 2. Probabilidad de ocurrencia de las amenazas.

Grado	Impactos
Muy probable	Es muy probable que suceda o puede ocurrir varias veces al año.
Bastante probable	Es probable que suceda o puede ocurrir una vez al año.
Probable	Es tan probable que suceda como que no o puede ocurrir una vez cada 10 años.
Poco probable	Es improbable que suceda o puede ocurrir una vez cada 25 años.
Improbable	Es muy improbable que suceda en los próximos 25 años.

Tabla 3. Grado de vulnerabilidad ante los impactos.

Grado	Recurso hídrico (RH)	Seguridad alimentaria (SA)	Biodiversidad
Muy grave	Afectaciones o daños al RH muy graves (afecta en totalidad las características de potabilidad del RH y escasea en gran parte del municipio la disponibilidad del mismo)	Repercusiones muy graves (poblaciones completas sin disponibilidad alimento por daños en cultivos y transporte de alimentos al municipio)	Repercusiones muy graves (pérdida del 80 % o más de las áreas protegidas del municipio y su EEP)
Grave	Afectaciones al RH graves (afecta en una parte importante las características de potabilidad del RH y escasea en gran parte del municipio la disponibilidad del mismo)	Repercusiones graves en SA (una parte importante de la población sin disponibilidad de alimento por daños en cultivos y transporte de alimentos al municipio)	Repercusiones graves (pérdida de entre el 60 y 80 % de las áreas protegidas del municipio y su EEP)
Importante	Afectaciones al RH importantes (afecta las características de potabilidad del RH y se presenta escasez en algunas zonas del municipio)	Repercusiones en la SA notables. (una parte importante de la población sin disponibilidad de alimentos locales por daños en cultivos)	Repercusiones notables (pérdida de entre el 40 y 60 % de las áreas protegidas del municipio y su EEP)
Moderado	Afectaciones al RH menores (afecta las características de potabilidad del RH de forma leve y se presenta escasez en algunas zonas del municipio)	Repercusiones en la SA asumibles (pérdida de cultivos locales en una zona específica del municipio)	Repercusiones asumibles (pérdidas de entre el 20 y 40 % de las áreas protegidas del municipio y su EEP)
Mínimo	Afectaciones al RH mínimas (afecta las características de potabilidad del RH de forma leve pero continua)	Repercusiones en la SA mínimas (pérdida parcial de cultivos locales en una zona específica del municipio)	Repercusiones mínimas (pérdidas menores del 20 % de las áreas protegidas del municipio y su EEP)
Nulo	Sin afectaciones al recurso hídrico	Sin repercusiones en la seguridad alimentaria de la población	Sin repercusiones

Grado	Salud	Infraestructura	Hábitat humano
Muy grave	Pérdidas o daños humanos muy graves (muchas personas heridas y fallecidas ante el riesgo climático)	Repercusiones muy graves (pérdida total de infraestructura de red vial, acueducto, alcantarillado, energía, centros de salud)	Pérdida total de viviendas, espacios públicos de esparcimiento, educación y recreación en un área significativa (barrio, urbanización, ciudadela)
Grave	Daños humanos graves (algunas personas heridas y fallecidas ante el riesgo climático)	Repercusiones graves (pérdida parcial de infraestructura de red vial, acueducto, alcantarillado, energía, centros de salud)	Pérdidas parciales de viviendas, espacios públicos de esparcimiento, educación y recreación en un área significativa (barrio, urbanización, ciudadela)
Importante	Daños humanos importantes (algunas personas heridas de gravedad)	Repercusiones notables (pérdida parcial de infraestructura de red vial, acueducto, alcantarillado)	Pérdidas parciales de viviendas
Moderado	Daños humanos menores (algunas personas heridas con poca gravedad)	Repercusiones asumibles (pérdida parcial de infraestructura de la red vial)	Pérdidas parciales de espacios públicos de esparcimiento, educación y recreación
Mínimo	Daños humanos mínimos (pocas personas heridas con leve gravedad)	Repercusiones mínimas (daños puntuales en algún tipo de infraestructura de servicios)	Daños puntuales a las de viviendas, espacios públicos de esparcimiento, educación y recreación a (barrio, urbanización, ciudadela)
Nulo	Sin daños humanos	Sin afección a ninguna infraestructura	Sin afección a ninguna infraestructura de hábitat urbano

A partir de esta relación entre probabilidad y grado de vulnerabilidad se obtuvo el nivel de consecuencia del riesgo climático. Para facilitar la comprensión de los riesgos climáticos más importantes para el análisis, se adoptaron valores para cada nivel de consecuencia (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación del riesgo climático.

		Consecuencia					
		Nulo	Mínimo	Moderado	Importante	Grave	Muy grave
Probabilidad	Improbable	Nulo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Medio
	Poco probable	Nulo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto
	Probable	Nulo	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
	Bastante probable	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Muy alto
	Muy probable	Nulo	Medio	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: ihobe, Gobierno Vasco, 2019.

Tabla 5. Valor de las clases de riesgo.

Valor de Riesgo		
Valor según la clase de riesgo	Nulo	0
	Muy bajo	0,2
	Bajo	0,4
	Medio	0,6
	Alto	0,8
	Muy alto	1

Los riesgos analizados en el municipio de Bucaramanga fueron:



A continuación, se priorizaron los tres riesgos que requieren mayor gestión. Luego se evaluó cómo estos riesgos afectan las seis dimensiones de la TCNCC. Para cada dimensión, se presenta una definición y los criterios que se utilizaron para su evaluación.

1 Recurso hídrico: Esta dimensión hace referencia, por una parte, a la disponibilidad y acceso a agua potable por parte de la población. Por otra parte, considera el estado en el que se encuentran los cuerpos de agua. Para su evaluación, se con-

siderará la capacidad de los acueductos municipales, la eficiencia en el consumo y el acceso, con el fin de analizar la disponibilidad del recurso hídrico.

2 Seguridad alimentaria: Bajo esta dimensión, se considerarán las actividades agrícolas que se desarrollan en el municipio, las cuales representan un aporte significativo para la disponibilidad de alimentos en el mismo. Su evaluación integrará criterios para establecer las capacidades técnicas de las prácticas agrícolas.

- 3 **Biodiversidad:** Con esta dimensión se busca identificar los efectos de los impactos climáticos en los ecosistemas y la biodiversidad de las ciudades. En este sentido, se contemplarán las condiciones y capacidades de los hábitats naturales urbanos, considerando sus coberturas y las características de las especies que los habitan.
- 4 **Infraestructura:** En esta dimensión se incluirá la infraestructura asociada al transporte, como vías principales y aeropuertos, alcantarillado y acueducto, energía, centros de salud, y cómo esta puede verse afectada por los diferentes tipos de riesgo.
- 5 **Salud:** Dentro de esta dimensión se considerará la población más sensible, entre la cual se encuentran los niños menores de 10 años y los adultos mayores de 60 años. También se evaluará el acceso de la población a centros de salud, así como la capacidad instalada de estos centros.
- 6 **Hábitat humano:** Mediante esta dimensión se considerará la densidad y el tipo de viviendas presentes en la ciudad, así como las condiciones físicas en las que se encuentran los asentamientos. Además, se tomará en cuenta la infraestructura asociada a centros educativos y culturales, y las zonas de esparcimiento, como plazoletas y parques.

En cuanto a la caracterización de los componentes del riesgo, las amenazas se pueden identificar a través de señales climáticas y sus impactos físicos directos. Además, los impactos indirectos deben ser considerados para establecer la rela-

ción entre las señales climáticas y el riesgo de interés.

La exposición a los impactos del cambio climático está determinada por diversos factores que deben ser considerados. Entre ellos se encuentran elementos importantes como la presencia de población, ecosistemas, especies, infraestructura y medios de vida, entre otros. Es importante diferenciar los factores de exposición, como por ejemplo la presencia de personas en una zona afectada por inundaciones, de los atributos de dicha población, tales como edad, ingresos y condiciones de salud, los cuales están asociados al componente de vulnerabilidad.

A continuación, se identificaron los atributos que hacen a la ciudad vulnerable a riesgos climáticos, y los mecanismos necesarios para reducir dichos riesgos. Se identificaron factores de sensibilidad y capacidad y se analizaron aspectos físicos, económicos y culturales. Además, se consideraron las habilidades ecológicas de Bucaramanga y los indicadores asociados a las Contribuciones de la Naturaleza para las Personas (NCP, por sus iniciales en inglés).

Con la metodología de GIZ (2017) se desarrollaron indicadores de la condición de la ciudad en relación con los factores de cada componente de riesgo, a nivel municipal y nacional, para explicar la condición de los factores identificados para cada relación entre los riesgos prioritarios y las dimensiones.

Fase 3.

IDENTIFICACIÓN DE LA SENSIBILIDAD

En esta fase se profundizó en el proceso de diagnóstico de los atributos que reflejan la sensibilidad de la gobernanza de la ciudad con respecto a los riesgos climáticos. Para llevar a cabo esta tarea, se usó la herramienta Scorecard, desarrollada por la iniciativa Making Cities Resilient 2030 (MCR2030), liderada por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), junto con organizaciones globales como ICLEI, C40 y el Grupo del Banco Mundial.

El Scorecard es una herramienta que permite a los gobiernos locales evaluar su resiliencia ante los desastres, basándose en los diez fundamentos de UNDRR para hacer que las ciudades sean resilientes. Estos fundamentos incluyen evaluaciones de riesgos y amenazas múltiples, protección y mejora

de la infraestructura, protección de los servicios esenciales como la educación y la salud, construcción de reglamentos y planes de uso y ocupación de suelos, capacitación y concientización pública, protección ambiental y fortalecimiento de ecosistemas, preparación y respuesta ante emergencias, y recuperación y reconstrucción de la comunidad.

Para evaluar la resiliencia de los gobiernos ante los desastres, se aplicó el nivel 1 del Scorecard, que incluye la evaluación de diez aspectos esenciales. Esta evaluación ayuda a monitorear y revisar el progreso y los desafíos en la implementación del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres: 2015-2030 y apoya el análisis de referencia para la preparación de estrategias de resiliencia y reducción del riesgo de desastres.





Fase 4.

MAPEO PARTICIPATIVO

Los mapas participativos son una herramienta valiosa para representar la percepción de los participantes sobre los condicionantes de riesgo en un territorio determinado. El objetivo principal de los mapas participativos es fomentar la participación de los diferentes actores comunitarios que viven en la ciudad, de manera que su visión y percepción espacial del territorio se integren en el análisis de los riesgos y debilidades del lugar.

En el proceso de creación de los mapas participativos, se contó con un mapa detallado de algunos lugares vulnerables para permitir que los participantes del taller los identificaran correctamente. Además, los participantes identificaron los factores de riesgo asociados con el territorio. Estos factores de riesgo pueden ser clasificados en impacto, exposición, sensibilidad y capacidad.

El siguiente paso consistió en la creación de leyendas, donde se identificó cada factor de riesgo utilizando marcadores y bolígrafos de colores para hacer la leyenda. De esta manera, se creó un mapa para visualizar de forma clara los diferentes factores de riesgo presentes en el territorio.

Finalmente, los participantes identificaron en el mapa las zonas que tienen una mayor afectación por cada uno de los riesgos priorizados. El resultado del mapa refleja la opinión del grupo y se convirtió en un producto para la toma de decisiones relacionadas con la sostenibilidad y el urbanismo en el territorio.

Fase 5.

GEOPROCESAMIENTO DE DATOS

En el contexto de la sostenibilidad y el urbanismo, la medición y evaluación de los riesgos son fundamentales para tomar decisiones informadas y tomar medidas de adaptación. En este sentido, los indicadores son herramientas clave para cuantificar los riesgos y sus impactos en diferentes dimensiones.

En esta evaluación se analizó cómo las dimensiones de la TCNCC se ven afectadas por los riesgos climáticos priorizados. Una vez completada la evaluación, se espacializó la información base para

la construcción de cada indicador. Para ello, se utilizaron datos georreferenciados y herramientas de geoprocésamiento para analizar la información y construir los indicadores de cada componente de riesgo. La Tabla 6 muestra la información base que se utilizó para la construcción de los indicadores. Este proceso permitió identificar y priorizar los riesgos climáticos más importantes para la zona evaluada, lo que facilitará la toma de decisiones en materia de adaptación ante los riesgos climáticos.

Tabla 6. Información base por componente de riesgo para la construcción de los indicadores.

Amenaza

-
- 1 Series históricas de precipitación, temperatura y humedad relativa de las estaciones de monitoreo de la ciudad

 - 2 Registros o cartografía de ocurrencia de inundaciones

 - 3 Registros o cartografía de ocurrencia de deslizamientos

 - 4 Mapa hidrológico y/o hidrográfico

 - 5 Mapas de islas de calor y/o temperatura superficial

 - 6 Mapas de temperatura, humedad y precipitación total anual

 - 7 Imágenes satelitales y fotografías aéreas

Exposición

- 1 Censo poblacional
- 2 Mapa de asentamientos formales e informales
- 3 Mapa de vías principales
- 4 Mapa de construcciones
- 5 Mapas de usos del suelo y actividades
- 6 Modelo de elevación digital (DEM)
- 7 Mapas de suelos de protección, áreas protegidas y/o de importancia ecosistémica
- 8 Mapa de cultivos

Sensibilidad

- 1 Índice de pobreza multidimensional
- 2 Censo poblacional
- 3 Mapa o clasificación por edades
- 4 Mapa de asentamientos formales e informales y comunidades y/o barrios extremadamente afectados
- 5 Acceso a servicios públicos
- 6 Mapa de construcciones
- 7 Mapas de usos del suelo y actividades
- 8 Mapa de parques y zonas verdes públicas y privadas
- 9 Modelo de elevación digital (DEM, por sus iniciales en inglés)
- 10 Mapa de clasificación suelo permeable e impermeable (NDVI, por sus iniciales en inglés)
- 11 Mapa de cultivos
- 12 Mapa geológico
- 13 Mapa de tipo de suelo (pedología)
- 14 Imágenes satelitales y fotografías aéreas

Sensibilidad

- 15 Mapas de suelos de protección, áreas protegidas y/o de importancia ecosistémica

- 16 Áreas priorizadas para dragar, adecuación de rondas, jarillones, etc. y prevención de incendios

- 17 Inventarios de biodiversidad del municipio

- 18 Estructura ecológica principal

- 19 Mapa de arbolado e inventario forestal

- 20 Mapa de parques y zonas verdes públicas y privadas

- 21 Mapa de vías principales y tasas de flujo vehicular

- 22 Registro de muertes y casos de dengue, zika, chikungunya

Capacidad (adaptativa y de respuesta)

- 1 Planes de Manejo Ambiental de ecosistemas naturales, de siembra, silvicultura, restauración ecológica o relacionados

- 2 Proyectos de adaptación y sostenibilidad, incluyendo soluciones basadas en la naturaleza implementadas

- 3 Programas de seguridad alimentaria, vacunación y mejora de viviendas informales

- 4 Documento de mapeo de SE o NCP

- 5 Sistemas de alerta temprana para prevención de desastres

- 6 Mapa hidrológico y/o hidrográfico

- 7 Mapa o registro de la capacidad del sistema de drenaje de la ciudad

- 8 Mapa de vías principales

- 9 Equipamiento urbano (educación, cultura y centros de salud)

- 10 Mapa de arbolado e inventario forestal

- 11 Dotación de camas hospitalarias

- 12 Registros de sistemas de riego para cultivos en la ciudad

Por último, para determinar el indicador de un riesgo particular en relación con una dimensión específica, se utiliza una ecuación que pondera los componentes del riesgo. Esta ponderación requiere la determina-

ción de pesos asociados a cada componente de riesgo, donde se debe decidir si un componente influirá más que los demás. Para esta evaluación se asignó el mismo peso a los tres componentes del riesgo.

Ecuación 1

$$R_{kl} = \frac{(A_{kl} * W_A) + (E_{kl} * W_E) + (V_{kl} * W_V)}{W_A + W_E + W_V}$$

Donde:

R_{kl} representa el valor del indicador de riesgo | para la dimensión k.

A_{kl} representa el valor del indicador de amenaza del riesgo | para la dimensión k.

E_{kl} representa el valor del indicador de exposición del riesgo | para la dimensión k.

W representa el peso asociado a cada uno de los componentes del riesgo.

Para determinar el riesgo multidimensional, se realizó una ponderación para la cual se establecieron los pesos asociados a cada dimensión de la TCNCC. La ponderación se

llevó a cabo a través de la ecuación 2, que permite obtener los indicadores de riesgo asociados a cada uno de los riesgos prioritarios identificados.

Ecuación 2

$$R_l = \frac{\sum (R_{kl} * W_k)}{\sum W_k}$$

Donde:

R_l representa el valor del indicador del riesgo l.

R_{kl} representa el valor del indicador de riesgo l para la dimensión k.

W_k representa el peso asociado a cada dimensión k.

Finalmente, el proceso metodológico para la evaluación del riesgo crítico implica la ponderación de los indicadores asociados a los riesgos priorizados. Los pesos para cada riesgo fueron definidos por actores relevantes del municipio y por el equipo técnico de ICLEI, y se aplicaron para obtener el indicador de riesgo crítico.

En la evaluación de riesgos, se utiliza la Tabla 7 para determinar el nivel de riesgo asociado a cada riesgo priorizado, así como para el riesgo crítico. Esta tabla establece diferentes clases de riesgo, cada una con una escala de colores asociada que se utiliza para determinar fácilmente las zonas con mayor nivel de riesgo dentro de cada ciudad.

A partir de la clasificación de los indicadores obtenidos para cada dimensión evaluada, se pueden determinar los niveles de riesgo para cada uno de los riesgos priorizados. La evaluación de riesgos es fundamental para la implementación de medidas de adaptación basadas en ecosistemas, ya que permite priorizar las zo-

nas más críticas y enfocar los recursos en la implementación de medidas que sean más efectivas y eficiente.

La Figura 1 representa el proceso completo desde la recolección de información espacial hasta la obtención del indicador de riesgo crítico, el cual integra todos los riesgos priorizados en una sola medida. Este indicador permite identificar espacialmente las zonas con mayor nivel de riesgo dentro de una ciudad y así establecer medidas de adaptación basadas en ecosistemas.

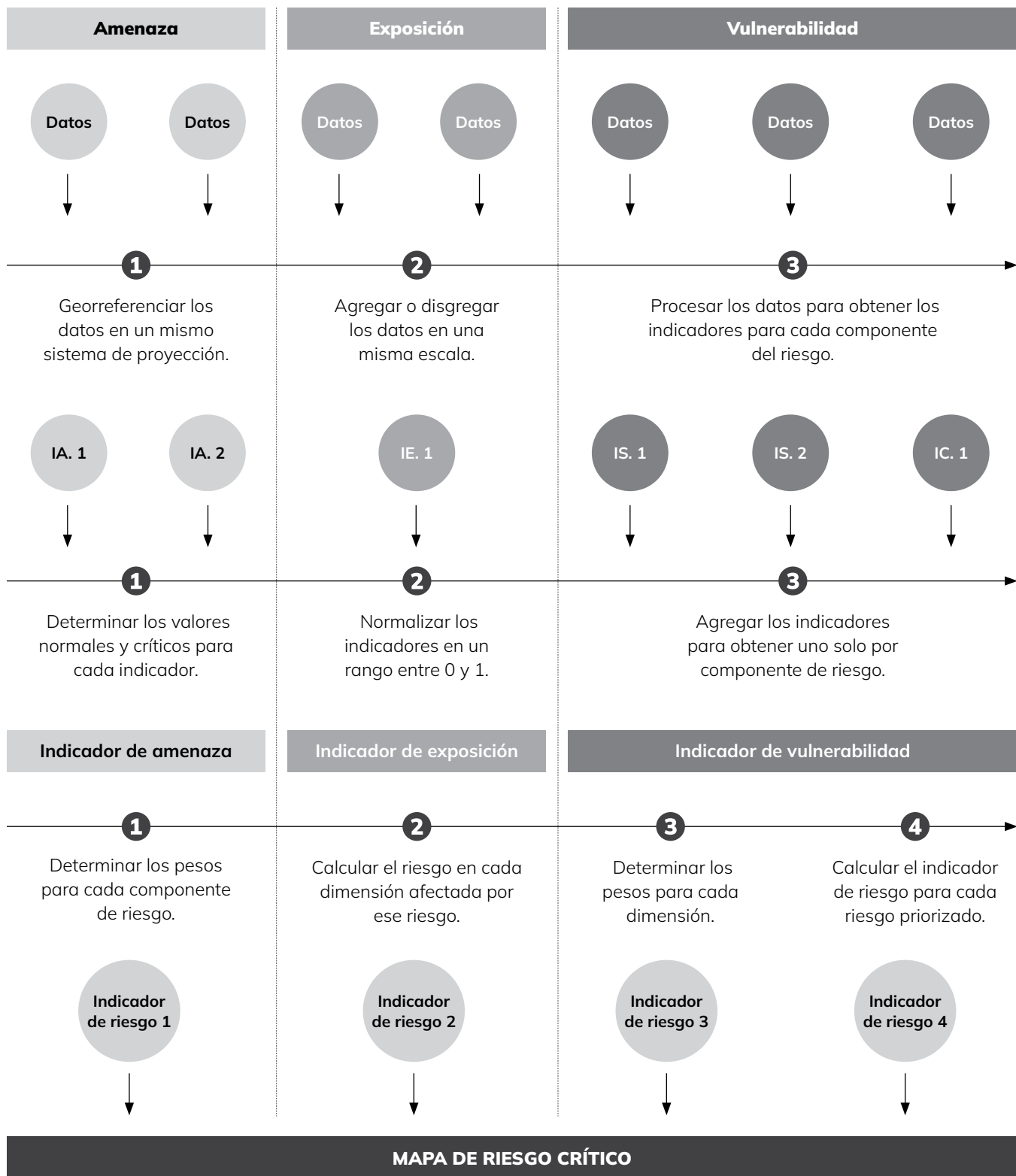
Es importante mencionar que, una vez obtenidos los mapas analíticos finales, su análisis contribuirá a que, en evaluaciones posteriores, se desarrollen consideraciones y recomendaciones para implementar medidas que permitan reducir el riesgo en las zonas prioritarias. Estas consideraciones pueden incluir la implementación de infraestructuras verdes, la promoción de prácticas sostenibles en la gestión del agua y la tierra, y la implementación de políticas de gestión de riesgos.

Tabla 7. Asociación entre métricas de riesgo con las clases según su magnitud.

Valor de la métrica de riesgo entre 0 y 1	Clase de riesgo	Descripción
0 - 0,2	1	Muy bajo
> 0,2 - 0,4	2	Bajo
> 0,4 - 0,6	3	Medio
> 0,6 - 0,8	4	Alto
> 0,8 - 1	5	Muy alto

Fuente: GIZ, 2017.

Figura 1. Modelo conceptual del flujo metodológico para el análisis espacial de riesgo y vulnerabilidad asociados al cambio climático. IA: indicador de amenaza, IE: indicador de exposición, IS: indicador de sensibilidad, IC: indicador de capacidad.



Fase 6.

ANÁLISIS DE CAMBIO CLIMÁTICO

En esta etapa se evaluó cómo los riesgos asociados a eventos climáticos extremos pueden aumentar en el futuro. Para esto, se realizaron las proyecciones de cambio en la precipitación y temperatura, y además se calcularon los indicadores de riesgo, considerando estos pronósticos. Asimismo, se mantuvieron constantes los demás indicadores de riesgo para identificar si se necesitan medidas de adaptación para incrementar la resiliencia de las ciudades. Por otra parte, se calcularon índices de cambio climático para identificar tendencias en el comportamiento de la temperatura y la precipitación que puedan reforzar el impacto de los riesgos climáticos.

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Las acciones realizadas para la consolidación y análisis espacial de los escenarios de cambio climático se describen a continuación:

- 1 **Revisión documental:** se revisó la información, documentos y recursos relacionados con la metodología y elaboración del downscaling estadístico, que fueron elaborados en la TCNCC y fuentes académicas.
- 2 **Recopilación y organización de los datos:** se llevaron a cabo procedimientos para organizar las series de datos extraídos de la TCNCC Colombia, la climatología base 1975-2005 complementada con la climatología

1980-2010, y los archivos de escenarios de cambio climático RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5 para los horizontes temporales 2011-2040, 2040-2070 y 2070-2100. Estos datos se organizaron en formato espacial shapefile y series de tiempo

- 3 **Diagnóstico y selección de la información:** se realizó un diagnóstico espacial utilizando herramientas SIG y de programación para identificar las estaciones climáticas cercanas a las áreas de estudio. Esto permitió determinar las estaciones que se utilizarían para establecer las climatologías y los escenarios en los diferentes periodos y RCP.
- 4 **Consolidación de datos para las ciudades:** después de determinar la información disponible sobre climatología y escenarios, se utilizó técnicas de análisis espacial para establecer un área de influencia de 10 a 30 km y extraer las estaciones influyentes en cada una de las ciudades.
- 5 **Establecimiento de métodos de interpolación para salidas ráster:** con los datos seleccionados para cada ciudad, se establecieron métodos de interpolación para lograr una resolución espacial de 100 × 100 m. En el caso de la temperatura, se utilizó un método de interpolación basado en el gradiente altitudinal, mientras que en la precipitación se utilizó IDW.

Los indicadores establecidos dentro de los escenarios de cambio climático incluyen las variables de precipitación, temperatura media y temperatura máxima. El horizonte temporal se establece mediante la combinación de los tres periodos propuestos en la TCNCC (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) para generar un periodo hasta el año 2100.

En cuanto a los escenarios (RCP) seleccionados como indicadores dentro de la metodología, se establecieron de dos maneras. Para la variable de precipita-

ción, se identificaron los RCP más críticos y con mayor variabilidad en los patrones de lluvia, tal como se describe en la tabla siguiente. En el caso de la temperatura, se seleccionaron los escenarios que reflejan un mayor aumento en la estimación del cambio de la variable. Este segundo criterio se infiere a partir de los resultados de la validación realizada por el IDEAM en 2023 de los últimos diez años, concordando con los RCP más críticos en términos de cambio de humedad, temperatura y precipitación.

Tabla 8. RCP más críticos y con mayor variabilidad en los patrones de lluvia.

Escenario RCP	Descripción	Condiciones de humedad	Cambios de temperatura	Cambios de precipitación
RCP2.6	Bajas emisiones, políticas de mitigación ambiciosas	Reducción de la disponibilidad de agua. Posibles cambios en patrones de precipitación y aumento de sequías en algunas regiones.	Aumento de la temperatura global limitado a aproximadamente 2 °C por encima de los niveles preindustriales.	Patrones de precipitación variables, con posibles aumentos en algunas regiones y disminuciones en otras.
RCP4.5	Aumento moderado de emisiones, implementación de políticas de mitigación	Condiciones de humedad relativamente estables en comparación con los escenarios de mayor emisión. Disponibilidad adecuada de agua en la mayoría de las regiones.	Aumento moderado de la temperatura global, con una estimación de alrededor de 2-3 °C por encima de los niveles preindustriales.	Posibles cambios en patrones de precipitación, con aumentos en algunas regiones y disminuciones en otras.
RCP6.0	Aumento moderado de emisiones, falta de políticas de mitigación significativas	Posible aumento de la demanda y escasez de agua. Mayor variabilidad en patrones de precipitación, con riesgo de sequías e inundaciones más frecuentes.	Aumento significativo de la temperatura global, con una estimación de alrededor de 3-4 °C por encima de los niveles preindustriales.	Mayor variabilidad en patrones de precipitación, con aumentos en algunas regiones y disminuciones en otras.
RCP8.5	Altas emisiones, sin medidas significativas de mitigación	Aumento significativo de la demanda y escasez de agua. Aumento de sequías en algunas regiones y mayor riesgo de eventos extremos relacionados con el agua.	Aumento sustancial de la temperatura global, con una estimación de más de 4 °C por encima de los niveles preindustriales.	Patrones de precipitación más variables, con aumentos en algunas regiones y disminuciones en otras. Mayor probabilidad de eventos extremos de precipitación.

DATOS UTILIZADOS

Se estableció que las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura media en periodicidad de 2011-2040, 2040-2070, 2070-2100 y la climatología del 1976-2005, complementada con la climatología 1980-2010 que se usaron en la TCNCC, establecieron la línea base de los escenarios RCP 4.5, 6.0 y 8.5 para complementar los análisis de vulnerabilidad y riesgo climático. Es importante mencionar que los datos se consultaron y extrajeron de la tercera comunicación nacional, liderada por

el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Con el objetivo de determinar tendencias en la precipitación y la temperatura para monitorear y detectar el cambio climático, y cómo este incrementa el riesgo de desastres asociados a los eventos climáticos que son de interés para el presente estudio, se seleccionaron siete índices recomendados por el equipo de expertos para la detección y monitoreo del cambio climático (ETCCDI, por sus iniciales en inglés) y avalados por el IPCC.

Tabla 9. Lista de índices de cambio climático.

Sigla	Nombre	Definición	Unidades
R25	Días con precipitación muy intensa	Número de días en un año con prec. diaria ≥ 25 mm	días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación total anual en que la prec. diaria $>$ percentil 95	mm
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con prec. diaria ≥ 1 mm	días
R5D	Precipitación máxima en 5 días	Cantidad máxima de precipitación en 5 días consecutivos	mm
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con prec. diaria < 1 mm	días
TX90p	Días calientes	Porcentaje de días en que la temp. Max. diaria $>$ percentil 90	%
WSDI	Duración del periodo cálido	Número de días en un año con al menos 6 días consecutivos con temp. Max. diaria $>$ percentil 90	días

Fuente: adaptado de Zhang *et al.* (2018).

De los índices presentados en la tabla anterior, R25 y R95p se asocian al riesgo por inundaciones, ya que representan características de la frecuencia y la intensidad de eventos de precipitación extremos. Por otra parte, los índices CWD y R5D fueron asociados al análisis de movimientos de remoción en masa, ya que estos permiten identificar zonas con lluvias prolongadas que pueden incrementar el riesgo. En cuanto al riesgo de sequía, este fue asociado al índice CDD, que permite identificar los extremos relacionados con ausencia de precipitación. Finalmente, los índices Tx90p y WSDI se asocian al aumento de temperatura en las zonas urbanas.

Para el cálculo de estos índices, se seleccionaron las estaciones meteorológicas del IDEAM más cercanas al área de estudio con disponibilidad de información para el periodo comprendido entre 1993 y 2022. Para cada estación se realizó el cálculo de cada índice utilizando el paquete

RCLimDex (Zhang *et al.*, 2018). Para la espacialización de cada indicador y de su tendencia en los últimos 30 años se utilizó la herramienta de interpolación *Inverso de la Distancia Ponderada* (IDW), que ofrece buena precisión para este tipo de análisis (Aragón-Moreno & Lerma-Lerma, 2019).

REFERENCIAS

- Zhang, X., Feng, Y., & Chan, R. (2018). User's manual: Introduction to RCLimDex v1.9 Climate Research Division Environment Canada Downsview. *Ontario Canada December, 12, 2018.*
- Aragón-Moreno, J. A., & Lerma-Lerma, B. D. (2019). Análise espaço temporal (1981-2010) da precipitação na cidade de Bogotá: avanços na geração de índices extremos. *Revista Facultad de Ingeniería, 28(51), 51-71.*

Fase 7.

VALIDACIÓN Y MONITOREO

Este último paso de la metodología se divide en dos etapas. La primera consiste en validar los resultados del ARVC mediante la revisión de los mapas de riesgo generados para cada ciudad. En esta etapa, es importante realizar talleres con el GTR y los diferentes actores de la sociedad civil para determinar si las zonas de mayor riesgo identificadas en la cartografía coinciden con las áreas que históricamente han experimentado los mayores impactos derivados de los eventos climáticos extremos.

En la segunda etapa, se propone, como parte de la metodología, llevar a cabo un monitoreo continuo del ARVC a mediano

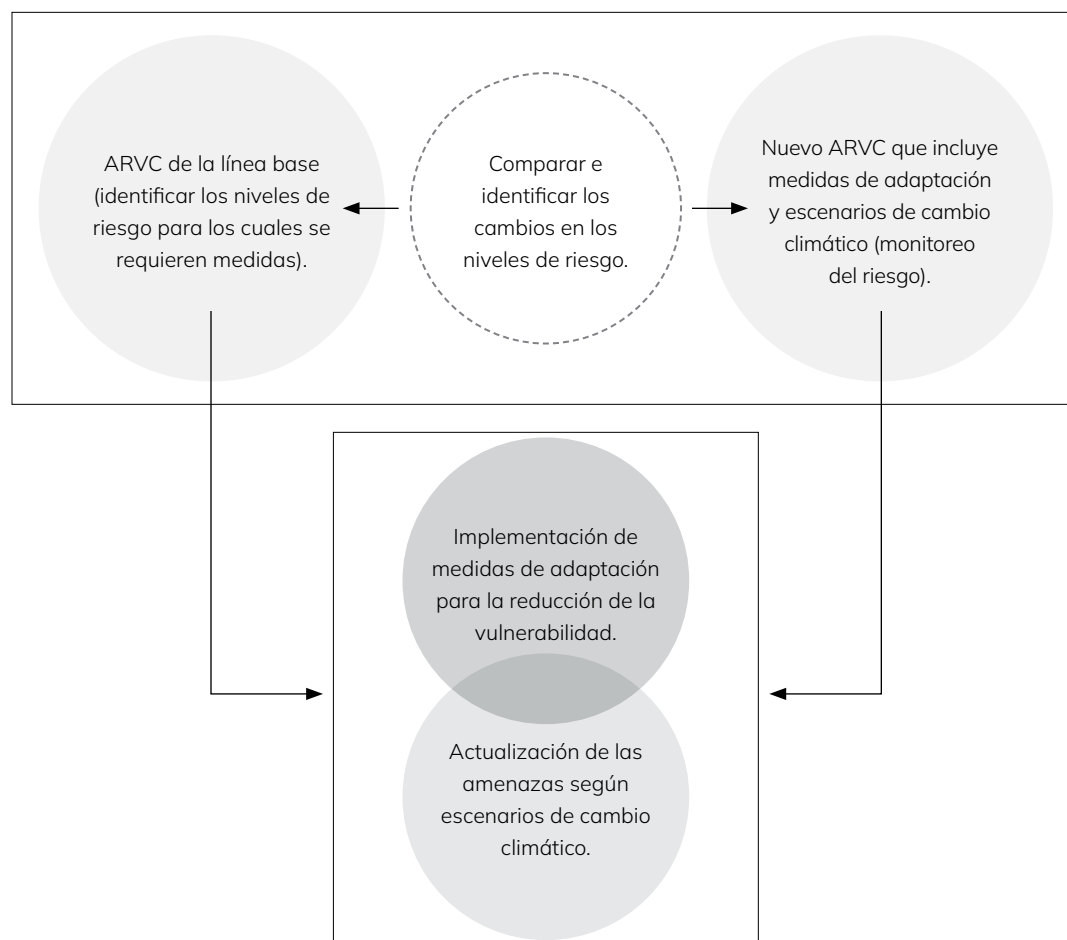
plazo (5-10 años). Este monitoreo implica que el municipio actualice las cadenas de impacto identificadas, incluyendo los efectos del cambio climático para ese periodo de evaluación, así como los beneficios obtenidos a través de la implementación de medidas de adaptación (por ejemplo, soluciones basadas en la naturaleza). También se recalculan los indicadores establecidos en la línea base. En la Figura 2 se muestra el proceso metodológico para realizar el monitoreo y poder identificar, en los ejercicios de monitoreo, en qué medida han cambiado los niveles de riesgo en las diferentes zonas de las ciudades.

Además, el municipio debe desarrollar indicadores que permitan medir el éxito en la implementación de programas de reducción de riesgos climáticos. Estos indicadores deben ser desarrollados por las diferentes secretarías de la alcaldía en base a una planificación estratégica, preferiblemente de manera transversal, para que se acerquen lo más posible a la realidad. La planificación estratégica para la adecuación del municipio debe considerar algunos criterios como las prioridades identificadas por el ARVC, las prioridades de la gobernanza local, el contexto político actual y el presupuesto municipal que estará disponible. Tomando lo anterior como base, los

municipios pueden desarrollar planes de acción climática y de biodiversidad que les permitan implementar las recomendaciones generadas por el ARVC y cuyo desarrollo se pueda monitorear mediante indicadores de éxito.

Mediante estos indicadores las ciudades podrán tener una trazabilidad del uso que se le dan a los resultados del ARVC dentro de los diferentes programas y proyectos, y la calidad de sus contribuciones a la adaptación urbana. Los indicadores de éxito acompañarán todo el proceso de implementación de las recomendaciones del ARVC, ya sea en políticas públicas o en obras de infraestructura para el municipio.

Figura 2. Modelo conceptual para el monitoreo del ARVC considerando escenarios de cambio climático y medidas de adaptación.



Fuente: Adaptado de GIZ, 2017.

BIBLIOGRAFÍA

- BUCHALA, I. C. F. (2022). Infraestructura verde como instrumento estratégico de adaptación e aumento da resiliência urbana: estudo de caso em Belo Horizonte, MG. (Tesis de maestría). Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- DNP, MADS, IDEAM, SNGRD, UNGRD. (2012). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Colombia.
- FRITZSCHE, K., SCHNEIDERBAUER, S., BUBECK, P., KIENBERGER, S., BUTH, M., ZEBISCH, M.,... KAHLENBORN, W. (2014). The Vulnerability Sourcebook. Concepts and guidelines for standardized vulnerability assessments. Bonn e Eschborn: GIZ.
- GIZ and EURAC. (2017). Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. Bonn: GIZ.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLELÍA. (2017). Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLELÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C. B., Barros, V.R., Dokken, D. J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T. E.,... White, L. L. (Eds.)]. Cambridge University Press.
- IPCC. (2018). Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner,... T. Waterfield (eds.)].
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan,... B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
- IPCC. (2022). Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría,... B. Rama (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts,

Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts,... B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.

- Ley 1523 de 2012. (24 de abril de 2012). Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. D. O. No. 48411.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2017). Política Nacional de Cambio Climático. Puntoparte. Colombia.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. (2018). Método de análise participativa de risco à mudança do clima. Brasília, DF: MMA. Recuperado de https://cooperacaobrasil-alemanha.com/Mata_Atlantica/Analise_Risco_Mudanca_Clima/Analise_Risco_%20Mudanca_Clima.pdf
- UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations.
- Vélez-Duque, J. (2020). Social vulnerability as a key element in climate adaptation: The case of New York City.



Capítulo 2

DIAGNÓSTICO

p. 33

Diagnóstico inicial

p. 41

Riesgos asociados al
cambio climático

p. 41

Priorización de riesgos

p. 46

Conclusiones y
principales hallazgos

p. 48

Resultados Scorecard

Bucaramanga, la capital del departamento de Santander, se encuentra ubicada al nororiente de Colombia sobre la Cordillera Oriental, rama de la cordillera de los Andes, a orillas del río de Oro. El municipio cuenta con 599 106 habitantes y, junto con Floridablanca, Girón y Piedecuesta, conforma el área metropolitana de Bucaramanga, con un total de 1 160 694 habitantes, la quinta aglomeración urbana más poblada del país (Consejo Municipal de Gestión de Riesgo y Desastres de Bucaramanga, 2013).

El municipio es el eje central de las actividades socioeconómicas del Área Metropolitana y del nororiente del país, y es líder en la promoción y aplicación del desarrollo tecnológico. Gracias a esto, se erige como un motor de progreso regional, con oferta educativa calificada, avanzados centros de investigación, empresas de base tecnológica, importante actividad cultural y de alta calidad de vida, donde se promueve el crecimiento económico y social de la comunidad en un marco ambiental sustentable y sostenible (Consejo Municipal de Gestión de Riesgo y Desastres de Bucaramanga, 2013).

Las principales actividades económicas desarrolladas en el municipio están relacionadas con el comercio y la prestación de servicios. Dentro de este sector, se encuentra la comercialización de los productos provenientes de la agricultura, la ganadería y la avicultura, actividades que se desarrollan en zonas fronterizas a este municipio y en el departamento del Cesar, pero su mercadeo y administración se hace en Bucaramanga (Área Metropolitana De Bucaramanga, 2021).

A causa de los impactos previstos asociados al cambio climático y los riesgos que padece el territorio debido a su geografía y topografía, las diferentes instituciones desarrollan proyectos e iniciativas que incluyen actividades relacionadas con la adaptación y mitigación. El municipio cuenta con plan de gestión integral del riesgo, zonas de restricción por amenaza y riesgo, plan de ordenamiento territorial, inventario forestal, estudio de estructura ecológica principal, entre otros documentos, que permiten reconocer las vulnerabilidades de la ciudad y los caminos de acción frente a las problemáticas.

DIAGNÓSTICO INICIAL

De acuerdo con el análisis multidimensional de vulnerabilidad y riesgo realizado en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (TCNCC) (IDEAM, 2017), la mayoría de los municipios que hacen parte del departamento de Santander presentan un riesgo medio asociado al cambio climático. Este se manifiesta a la luz del aumento en la magnitud y en

la frecuencia de eventos climáticos, tales como las lluvias, así como en el incremento de la temperatura media. De las cinco dimensiones incluidas dentro del análisis, las dimensiones de hábitat humano y seguridad alimentaria presentan riesgos muy bajos, pero generan las mayores contribuciones al riesgo total, con valores de 25,3 y 35,3 %, respectivamente.

Figura 3. Análisis de riesgo por cambio climático para el departamento de Santander.

SANTANDER

8 municipios del departamento presentan riesgo alto por cambio climático. Los tres primeros en el ranking departamental corresponden a San Benito, Bucaramanga y Palmar.

35.3 %

Seguridad alimentaria: presenta riesgo medio al cambio climático para la mayoría de los municipios.

5.5 %

Recurso hídrico: presenta riesgo muy alto al cambio climático para la mayoría de los municipios.

10.2 %

Biodiversidad: presenta riesgo alto al cambio climático para gran número de los municipios.

6.9 %

Salud: presenta riesgo muy bajo al cambio climático para la mayoría de los municipios.

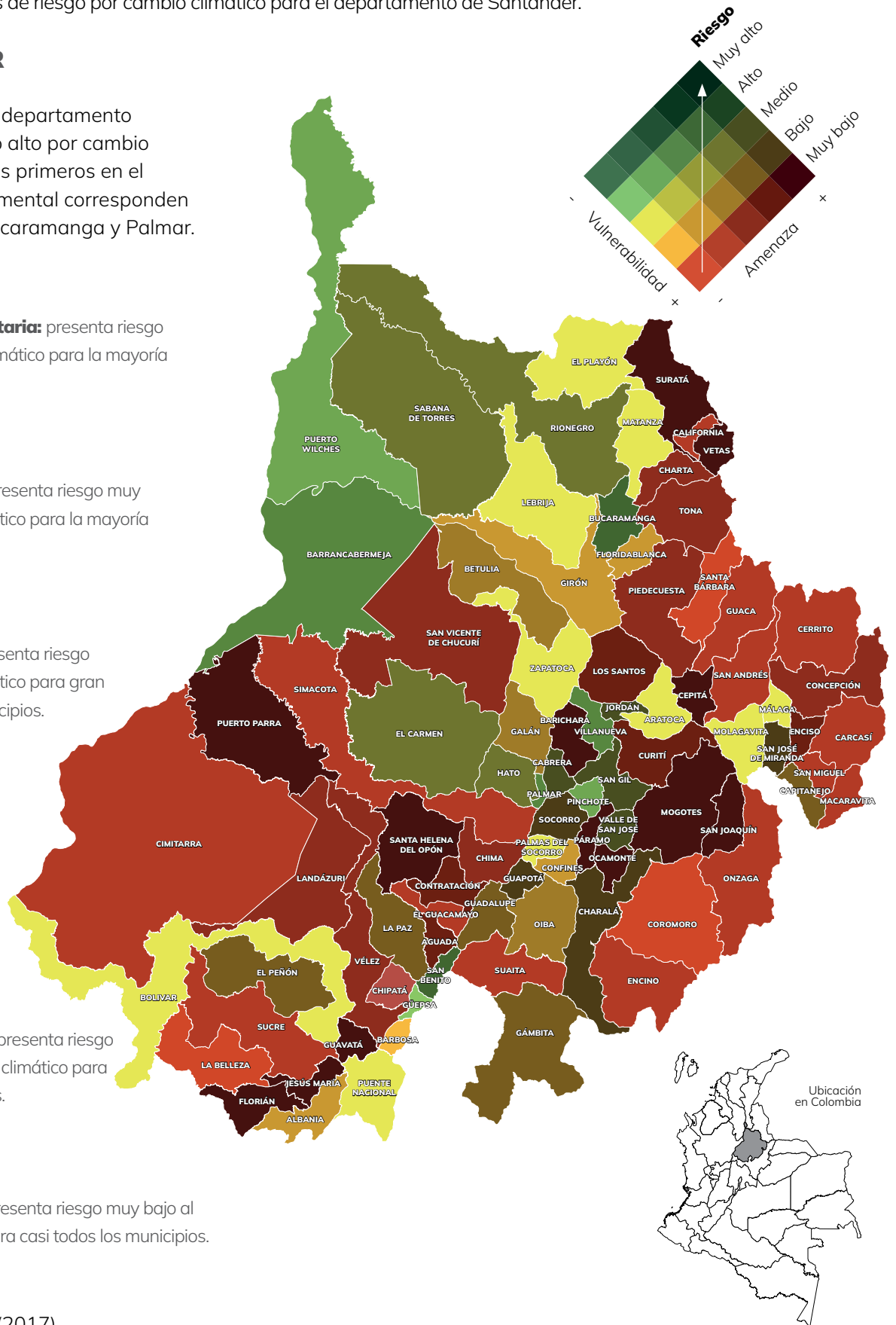
25.3 %

Habitat humano: presenta riesgo muy bajo al cambio climático para todos los municipios.

16.7 %

Infraestructura: presenta riesgo muy bajo al cambio climático para casi todos los municipios.

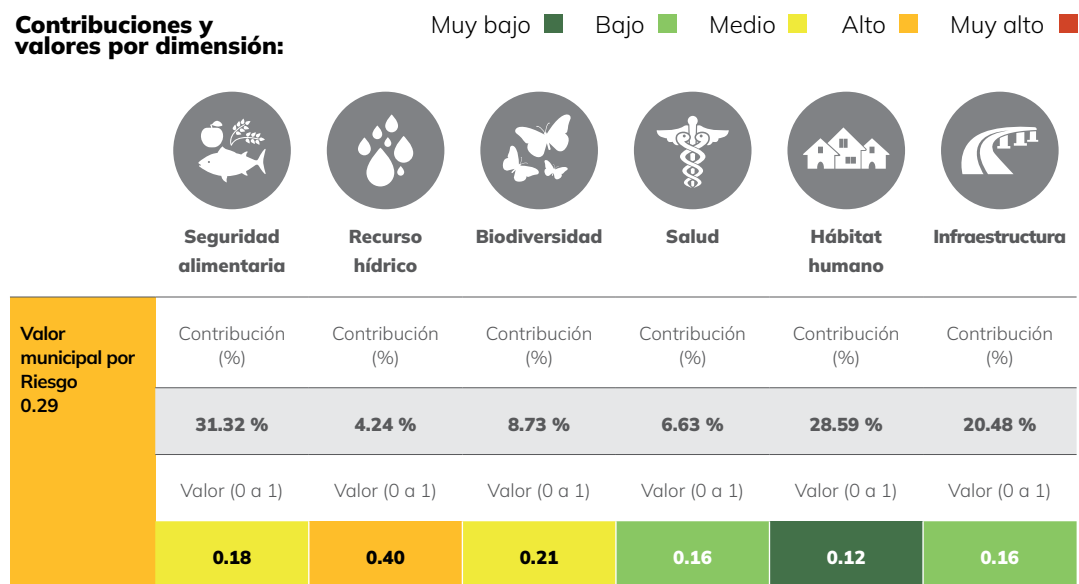
Fuente: IDEAM (2017).



El análisis de riesgo presenta a Bucaramanga en la segunda posición del escalafón municipal, con un nivel de riesgo alto (0,29). Las tres dimensiones con mayores índices de riesgo en el municipio son recurso hídrico, la cual presenta un riesgo alto (0,40), seguida

de las dimensiones de biodiversidad (0,21) y seguridad alimentaria (0,18), que presentan riesgo medio. Además, estas dimensiones presentan en conjunto el 44,17 % de las contribuciones al índice de riesgo total, estos valores pueden ser evidenciados en la Figura 4.

Figura 2. Riesgo y contribuciones por dimensiones para Bucaramanga.



Fuente: IDEAM (2017).

RIESGOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático presenta uno de los mayores retos en materia de gestión de reducción de riesgos de desastres, ya que los impactos asociados a estos riesgos se pueden magnificar por cambios en el comportamiento de variables climáticas tales como la temperatura y la precipitación.

En línea con la metodología propuesta para desarrollar el Análisis de Riesgo y Vulnerabilidad Climática (ARVC), se realizó una revisión sobre los riesgos que fueron abordados en la metodología (por ejemplo, inundaciones, sequía, movimientos de remoción en masa, islas de calor y enfermedades transmitidas por vectores, etc.), para

determinar de qué manera estos afectan las diferentes dimensiones del bienestar, e identificar los diferentes estudios que ha adelantado el municipio de cara a la evaluación y gestión de dichos riesgos.

La Tabla 10 presenta los riesgos que serán abordados dentro de la revisión y la forma en que cada uno de estos afectan las dimensiones del bienestar. Algunas relaciones riesgo-dimensión se encuentran vacías, ya que se considera que esa dimensión no se ve particularmente afectada por un determinado riesgo, o porque no hay información disponible ni estudios que permitan realizar dicho análisis.

Tabla 10. Consecuencias de los riesgos en las dimensiones de la TCNCC.

	Riesgo				
	Inundación	Sequía	Deslizamientos	Isla de calor	Enfermedades transmitidas por vectores
Dimensión Recurso hídrico	-	Falta de acceso a agua potable	Afectación en las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua	-	-
Seguridad alimentaria	Daños en producción agrícola	Daños en producción agrícola	Daños en producción agrícola	-	-
Biodiversidad	Daños en áreas protegidas y especies de fauna y flora	Daños en áreas protegidas y especies	Daños en áreas protegidas y especies de fauna y flora	Cambios en la distribución de especies	-
Infraestructura	Daños en infraestructura de servicios públicos	-	Daños en infraestructura de servicios públicos	-	-
Salud	Personas heridas y/o fallecidos	-	Personas heridas y/o fallecidos	Personas afectadas	Personas enfermas y/o fallecidas
Hábitat humano	Daños en viviendas, y equipamiento urbano	-	Daños en viviendas, y equipamiento urbano	-	-

Fuente: elaboración propia. ICLEI (2022).

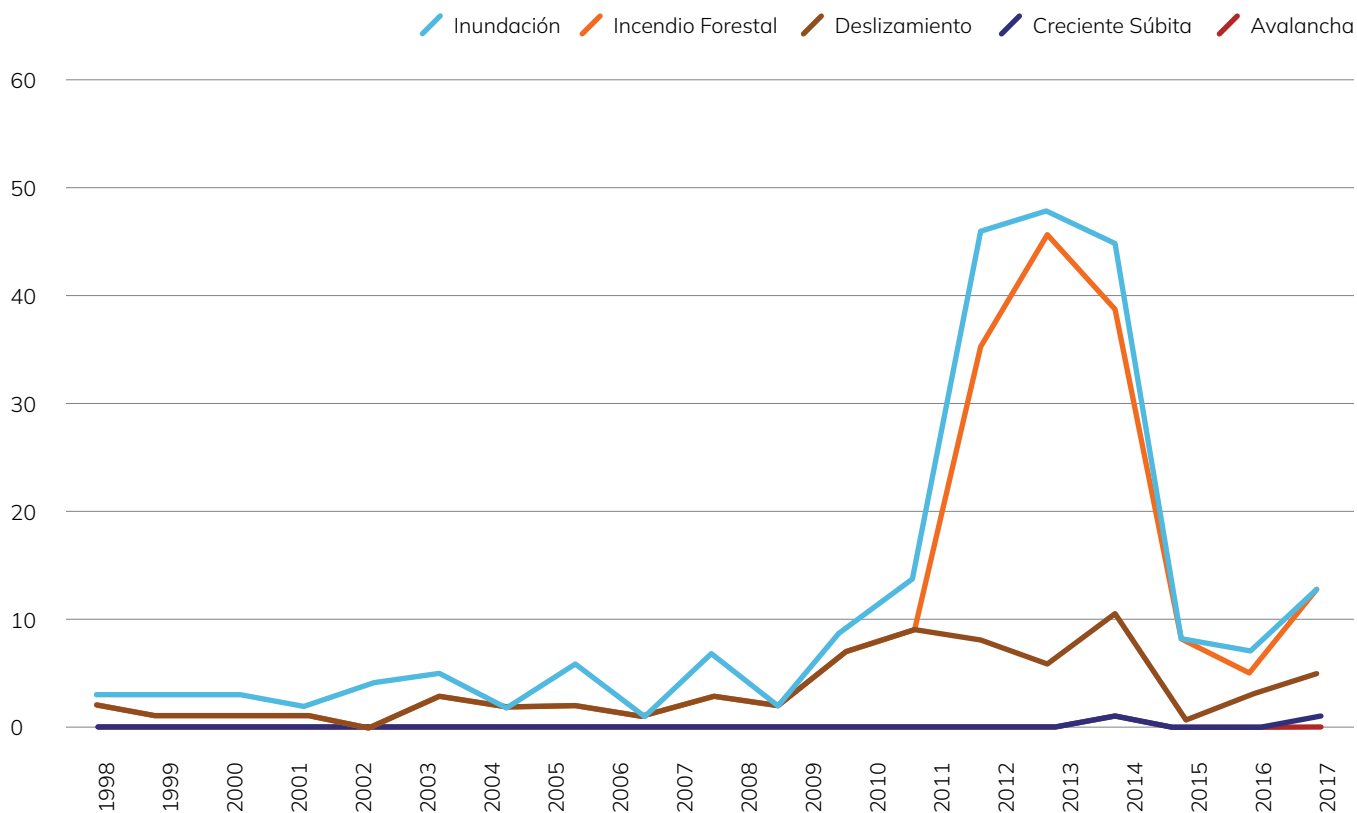
REGISTROS HISTÓRICOS

Como parte de la identificación de los riesgos climáticos que afectan al municipio de Bucaramanga, es fundamental considerar los registros de los eventos históricos que se han presentado y con qué frecuencia. La Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) es la encargada de consolidar la información asociada a riesgo de desastres a nivel nacional. A partir de los registros recopilados entre 1998 y 2017 por parte de la UNGRD, se pudo determinar que desde el año 1998 se han presentado fenómenos de inundación, deslizamiento, incendios forestales, creciente súbita y avalanchas, siendo los dos primeros los más recurrentes y con más daños causados.

Las inundaciones son el principal riesgo en el municipio, presentándose anualmente y con una mayor frecuencia que los demás riesgos. A lo largo del periodo evaluado, las inundaciones han afectado a cerca de 51 300 personas y 3411 viviendas.

Según el Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Cambio Climático en Colombia, desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bucaramanga se clasifica como uno de los municipios con riesgo alto por este fenómeno en el departamento de Santander. Además del riesgo que registra y representa, también se estableció que el municipio es muy vulnerable a fenómenos como deslizamientos y desbordamientos de afluentes, relacionado con sus características geográficas, morfológicas, urbanas y sociales (IDEAM,2017).

Figura 5. Registro histórico de eventos de desastres climáticos en el municipio de Bucaramanga.



Fuente: UNGRD (1998-2017).

Tabla 11. Causas, zonas afectadas y medidas de reducción por riesgo.

Inundaciones		
Causas	Zonas afectadas	Medidas de reducción del riesgo
Uso urbanístico y de vivienda de las llanuras de inundación	Café Madrid (Sector Swiche, El Túnel, La Playa, La Playita, El Cable).	Estudios hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos, morfológicos, geológicos y de estabilidad de taludes en algunos sectores inestables de los municipios del área metropolitana de Bucaramanga
Desbordamiento de caños y canales debido a las fuertes lluvias	Chimita (Carlos Pizarro, 5 de enero, Zona Industrial Chimita, José Antonio Galán).	Estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de fenómenos de remoción en masa e inundación en varios barrios del municipio
Obstrucción de redes de alcantarillado caños y canales a causa de la acumulación de residuos y fuertes lluvias	Rincón de la Paz (17 de enero, 12 de febrero).	Convenio interadministrativo entre el Área Metropolitana de Bucaramanga y la Universidad Industrial de Santander para la actualización de los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundación en los ríos de Oro y Frío
Escorrentía concentrada en áreas urbanizadas y en laderas deforestadas		Programas de reforestación/revegetalización, estudios de vulnerabilidad y riesgo, reasentamiento de viviendas, sistemas de alerta temprana, construcción de obras de mitigación y mantenimiento de obras existentes, construcción de pantallas, implementación de estaciones hidrometeorológicas, programas de incentivos para viviendas localizadas en zonas de amenaza alta, recuperación de los predios identificados en amenaza, identificación y delimitación de zonas inundables y susceptibles a fenómenos torrenciales, control urbano permanente, actualización de los instrumentos de planificación para la gestión del riesgo (PMGRD, PLEC, EMRE, POT), adquisición de maquinaria y equipos para atención de emergencias, campañas para generar cambio de cultura en la gestión del riesgo.
Explotación desordenada de arenas y gravas		

Sequía

Causas	Zonas afectadas	Medidas de reducción del riesgo
Predominan las tierras secas y hay presencia de algunas tierras subhúmedas secas, lo que indica un grado de vulnerabilidad a la sequía en el territorio	Bucaramanga y Área Metropolitana	
Disminución de precipitaciones en todo el departamento		

Movimientos de remoción en masa

Causas	Zonas afectadas	Medidas de reducción del riesgo
Ocupación paulatina y creciente del territorio, y condiciones preexistentes	Zona en cercanías a la quebrada La Flora en su parte baja	Creación de barreras ambientales en los taludes y áreas susceptibles de erosión y remoción en masa
Erosión causada principalmente por la acción de las lluvias y por la presencia de aguas subterráneas	Dos focos existentes en la parte media de la quebrada El Cacique	Reforzamiento estructural de infraestructura indispensable
	Dos grandes zonas en inmediaciones de la cabecera de la quebrada La Aurora	Reforzamiento y/o relocalización de redes de líneas vitales
	Una pequeña zona en la parte media de la quebrada La Aurora	Reasentamiento de las viviendas
	Escarpa norte y occidental	Sistemas de Alerta temprana
	Malpaso	Recuperación de las zonas con restricción de ocupación y realización de un mejoramiento integral del hábitat

Islas de calor

Causas	Zonas afectadas	Medidas de reducción del riesgo
Incremento de la temperatura de Bucaramanga entre 2 y 3 grados centígrados en los últimos 20 años	Barrios Cabecera y Ciudadela Real de Minas	Estudio de la comparación térmica y económica de diferentes tipos de pavimentos para ser usados en la mitigación de la isla de calor en la ciudad de Bucaramanga
Falta de planeación urbana	Cabecera municipal	Estrategias de revegetalización y arborización
Crecimiento descontrolado de la cabecera municipal		

Enfermedades transmitidas por vectores

Causas	Zonas afectadas	Medidas de reducción del riesgo
Chikungunya, zika, dengue, Chagas	Bucaramanga, San Gil, Barrancabermeja, El Carmen, Girón y Valle de San José	Búsquedas activas comunitarias de casos sintomáticos y aguas estancadas
Cambios climatológicos fuertes, causados por ejemplo por la fluctuación entre las lluvias y el calor en periodos muy cortos		Barridos sanitarios en instituciones educativas, cementerios, parques y cárceles
		Visitas de inspección, vigilancia y control físico de criaderos de los vectores
		Jornadas de lavado en las pilas de las casas y campañas de educación

PRIORIZACIÓN DE RIESGOS

Para realizar la evaluación cualitativa de Bucaramanga se identificaron amenazas e impactos, vulnerabilidades y riesgos climáticos derivados del cambio climático presentes en la ciudad a través del conocimiento técnico y del territorio de los actores locales involucrados.

Para comprender las amenazas e impactos, una pregunta guió la investigación: **¿Qué amenazas o eventos climáticos han afectado su territorio?** Para Bucaramanga, las amenazas de aumento de temperatura y cambio de precipitaciones se presentan principalmente, ya sea por aumento o disminución de precipitaciones. También se identificaron los impactos y su ocurrencia:

- 1 **Inundaciones:** en cada temporada de lluvia.
- 2 **Sequías:** en época de verano.
- 3 **Movimientos de remoción en masa:** en cada temporada de lluvia, pero principalmente en mayo.
- 4 **Islas de calor:** a lo largo del año especialmente en abril y octubre.
- 5 **Enfermedades transmitidas por vectores:** en las temporadas de lluvia, principalmente en las zonas de vulnerabilidad social del municipio.

Fueron adoptados criterios para comprender las vulnerabilidades, buscando demos-

trar por qué el impacto hace más vulnerable a la ciudad:

- 1 **Inundaciones:** condiciones socioeconómicas precarias en las poblaciones de mayo afectación, deforestación excesiva e infraestructura poco resiliente.
- 2 **Sequía:** deforestación excesiva y condiciones geomorfológicas del territorio.
- 3 **Movimientos de remoción en masa:** altos niveles freáticos en el territorio, deforestación excesiva y condiciones geomorfológicas del territorio.
- 4 **Islas de calor:** deforestación excesiva, infraestructura poco resiliente e impermeabilización del suelo.
- 5 **Enfermedades transmitidas por vectores:** deforestación excesiva, falta de sistemas de control de plagas y saneamiento y falta de campañas de educación en gestión del riesgo.

A partir de esta relación entre probabilidad y grado de vulnerabilidad se obtuvo el nivel de consecuencia del riesgo climático. Para facilitar la comprensión de los riesgos climáticos más importantes para el análisis, se adoptaron valores para cada nivel de consecuencia (Tabla 4). Así, cada riesgo obtuvo un valor que será utilizado para priorizar los riesgos considerados en el Análisis de Riesgo y Vulnerabilidad Climática (ARVC).



A través de los pasos realizados anteriormente, fue posible comprender la interacción de los riesgos con las dimensiones de la Tercera Comunicación (IDEAM, 2017) y

obtener valores promedio para cada riesgo. Los resultados se muestran en la siguiente matriz y descritos con mayores detalles a continuación.

Tabla 12. Evaluación cualitativa de riesgos climáticos.

	Riesgo						Valor promedio del riesgo
	Recurso hídrico	Seguridad alimentaria	Biodiversidad	Infraestructura	Hábitat humano	Salud	
Inundaciones (encharcamiento, desbordamiento)	NA	Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto	0,8
Sequías (desabastecimiento)	Bajo	Bajo	Bajo	NA	NA	NA	0,4
Movimientos de remoción en masa (avalanchas torrenciales, deslizamientos)	Alto	Alto	Medio	Muy alto	Medio	Medio	0,7
Islas de calor	NA	NA	Nulo	NA	NA	Bajo	0,2
Enfermedades transmitidas por vectores	NA	NA	NA	NA	NA	Medio	0,6

CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN

A partir de la información recopilada y analizada, se seleccionaron diferentes criterios para evaluar los cinco riesgos abordados dentro del análisis, y de esta manera priorizar los tres con mayor calificación. Los criterios utilizados fueron los siguientes:

1 Disponibilidad de información teniendo en cuenta que es el principal

insumo para realizar la cartografía de riesgo.

2 Diagnóstico cualitativo mediante el cual se tuvo una primera aproximación al nivel de riesgo que presenta cada dimensión frente a los riesgos evaluados.

3 Percepción del riesgo criterio a partir del cual se consideró la percepción que tienen los diferentes actores de la ciudad sobre cada riesgo.

4 Percepción del impacto en la biodiversidad mediante el cual se evaluó la percepción de los actores sobre el impacto de los riesgos en la dimensión de biodiversidad, considerando el enfoque ecosistémico del proyecto.

rollo de las siguientes etapas del proyecto. En la Figura 6 se pueden observar los resultados obtenidos para la priorización de riesgos en Bucaramanga. El desglose de la evaluación se presenta en la Tabla 13 donde se detalla cada criterio y la información base para realizar la priorización.

A cada criterio se le asignó un peso según la importancia que presentaba para el desa-

Figura 6. Diagramas de radar para cada criterio de priorización.

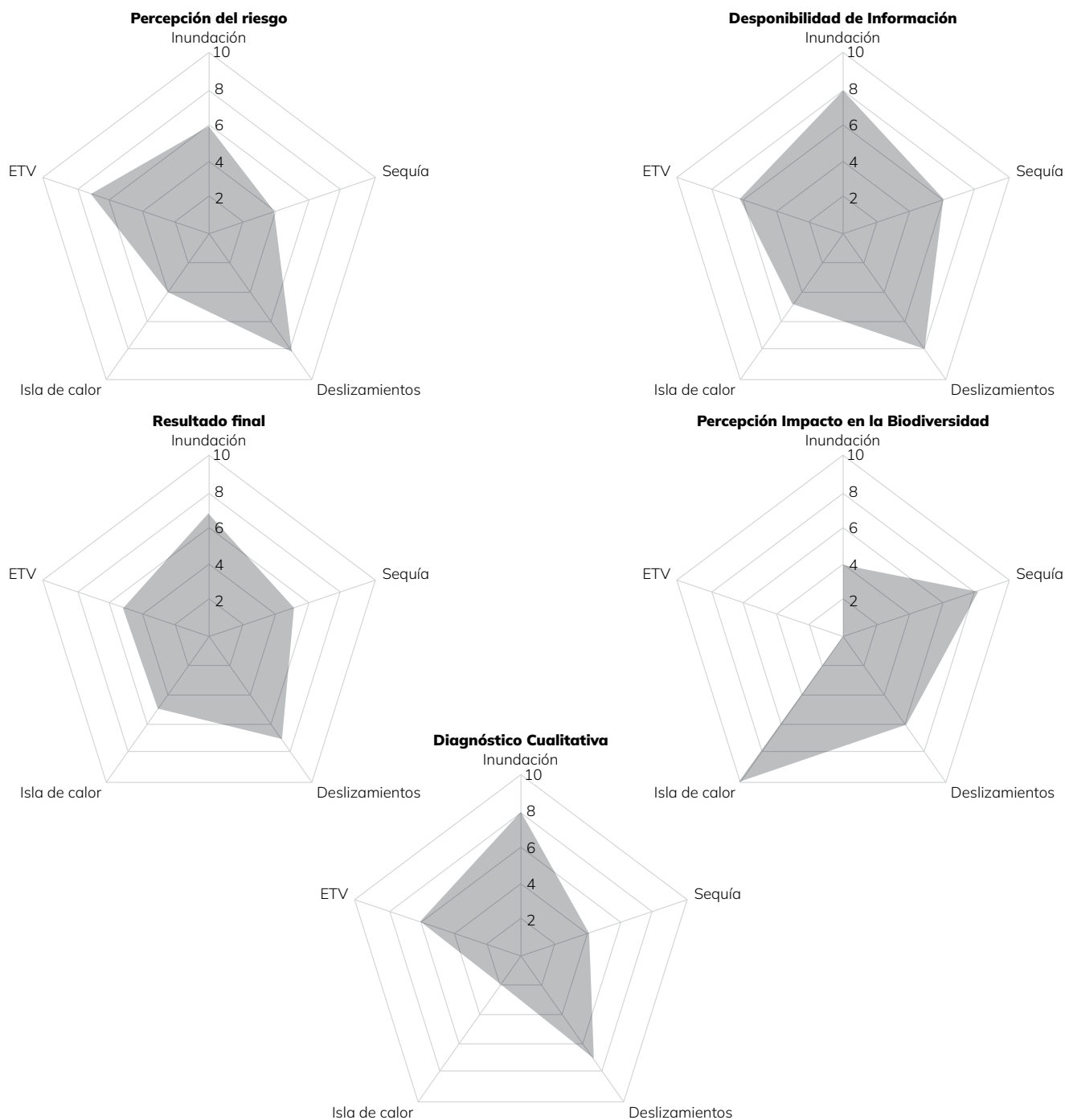


Tabla 13. Descripción de los criterios para la priorización de riesgos.

Priorización de riesgos							
Criterio	Descripción	Valor	1	2	3	4	5
Disponibilidad de información	Se evalúa qué porcentaje del total de indicadores requeridos para analizar el riesgo tienen información completa para determinarlos	35 %	0,82	0,63	0,83	0,59	0,60
Diagnóstico cualitativo	A partir de la evaluación cualitativa de los riesgos	25 %	0,80	0,40	0,70	0,20	0,60
Percepción Grupo de Trabajo Riesgo Climático	A partir de la pregunta 1 de la encuesta de percepción de riesgo	30 %	0,68	0,48	0,80	0,48	0,72
Percepción Impacto en la Biodiversidad Grupo de Trabajo Riesgo Climático	A partir de la pregunta 3 de la encuesta de percepción de riesgo	10 %	0,40	0,80	0,60	1,00	0,00
Total			0,73	0,54	0,77	0,50	0,58

CONCLUSIONES Y PRINCIPALES HALLAZGOS

A través de la recopilación y análisis de información que se realizó para el municipio de Bucaramanga, fue posible identificar que este municipio cuenta con estudios en materia de cambio climático, de gestión del riesgo y de desarrollo sostenible, herramientas que permiten conocer los proyectos, programas, actividades y políticas que se desarrollan en el territorio y que aportan en la construcción de resiliencia.

Es importante resaltar que el Plan de Manejo de Gestión de Desastres debe ser actualizado de manera prioritaria, pues aún no incluye las versiones más recientes de los escenarios de cambio climático evaluados en la TCNCC y las propuestas y diagnóstico datan de hace por lo menos diez años (IDEAM, 2017). Esta actualización puede mostrar cambios en los riesgos a los que está expuesta la ciudad, y por consiguiente cambios en la priorización y formulación de las medidas de mitigación y adaptación a estos riesgos.

Se identificó que los principales riesgos que afectan a la ciudad son las inundaciones y los movimientos de remoción en masa. Este primer riesgo es el que se presenta con mayor frecuencia y que ha ocasionado los mayores daños sobre las personas, la seguridad alimentaria, la biodiversidad, la infraestructura y el hábitat humano.

Las inundaciones están asociadas principalmente con las características topográficas y geomorfológicas de la ciudad, las diferentes actividades humanas como el uso urbanístico y de vivienda de las llanuras de inundación, otros fenómenos como el desbordamiento de caños y canales debido a las fuertes lluvias, la obstrucción de redes de alcantarillado caños y canales a causa de la acumulación de residuos y fuertes lluvias, la escorrentía con-

centrada en áreas urbanizadas y en laderas deforestadas y la explotación desordenada de arenas y gravas que en conjunto ocasionan grandes problemas y desastres. Adicionalmente, las dinámicas del río de oro y Río Suratá también generan una amenaza potencial de crecientes súbitas o avenidas torrenciales afectando a las comunidades que están asentadas en las márgenes del río y los habitantes del municipio en general.

El diagnóstico permitió priorizar el riesgo por movimientos de remoción en masa, que están asociados principalmente con los períodos lluviosos, ya que por la escasa cobertura vegetal y la alta permeabilidad que se presenta en las rocas que conforman el territorio, se favorece la infiltración del agua, de igual forma la topografía del municipio y su erosión son factores que aumentan la ocurrencia de estos fenómenos. En diferentes lugares del municipio existen asentamientos informales, que en su mayoría son los que sufren las mayores consecuencias de estos movimientos, llegando a sufrir afectaciones en la infraestructura, hábitat humano, la salud y el recurso hídrico.

Otros riesgos como la sequía, islas de calor y enfermedades transmitidas por vectores, afectan el municipio en la actualidad, pero no tiene una incidencia tan grande como las inundaciones y los movimientos de remoción en masa. De igual forma, es importante resaltar, que como fue mencionado por el IDEAM en el Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Cambio Climático en Colombia, se clasifica a Bucaramanga como uno de los municipios con riesgo alto por Cambio Climático, lo que significa que el municipio tiene altas probabilidades de sufrir grandes fluctuaciones en sus ciclos climáticos, lo que agudizará el aumento de la temperatura, in-

tensificará los periodos de lluvia, entre otras manifestaciones atmosféricas que podrán aumentar la ocurrencia de estos riesgos.

Con este diagnóstico, se reafirma que el cambio climático debe ser una prioridad en la ejecución de las políticas públicas, programas, proyectos y actividades desarrolladas dentro de los territorios, por lo que es importante fortalecer y nutrir las acciones que se vienen desarrollando para mejorar las condiciones de vida de los ciudadanos y convertir las ciudades en lugares seguros y resilientes.

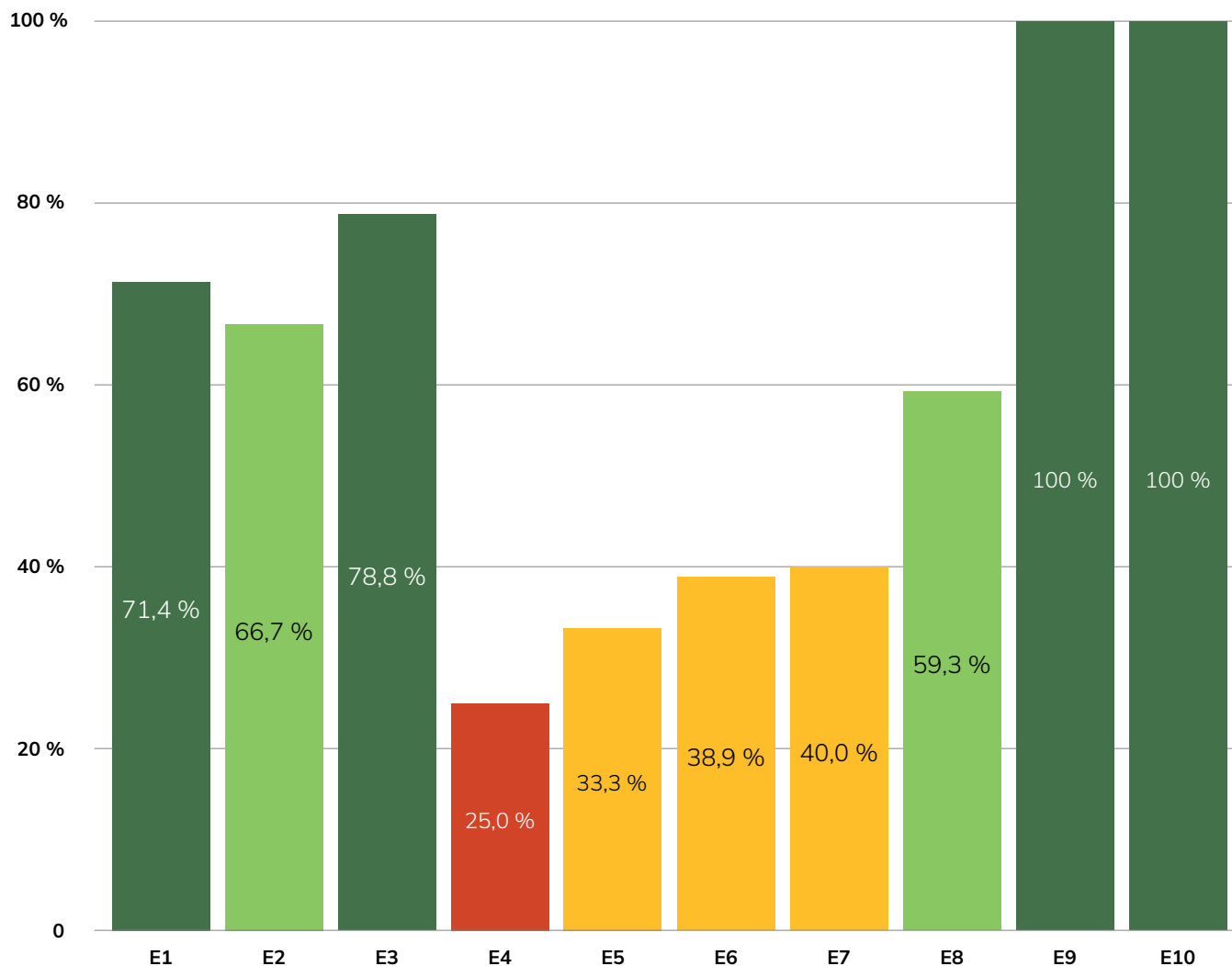
REFERENCIAS DEL DIAGNÓSTICO

- Área Metropolitana de Bucaramanga. (2021). Bucaramanga. Bucaramanga. Recuperado de <https://www.amb.gov.co/bucaramanga/>
- Área Metropolitana de Bucaramanga. (2020). Bucaramanga. Conocimiento del Riesgo. Recuperado de <https://www.amb.gov.co/conocimientos-del-riesgo-metropolitano/>
- Barrero Ramírez, M. E., & Flórez Rodríguez, N. S. (2014). Identificación y caracterización del efecto isla de calor en la ciudad de Bucaramanga, Santander, y su incidencia en el confort térmico. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/911
- Chakraborty, T., & Lee, X. (2019). A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their spatiotemporal variability. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 74, 269-280.
- Concejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre et al. (2013). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre, PMGRD de Bucaramanga: primera versión. Bucaramanga.
- Concejo de Bucaramanga. (2014). Acuerdo No. 011 de 2014. "Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial de segunda generación del Municipio de Bucaramanga 2014 - 2027". Bucaramanga.
- GIZ and EURAC. (2017). Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. Bonn: GIZ.
- Hidore, J. J., Snow, M., & Snow, R. (2010). *Climatology: an atmospheric science*. New Jersey: PEARSON.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. (2017). Análisis de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático en Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.
- Orduz Gómez, L. C., & Ramírez Cortes, A. M. (2011). Determinación De La Amenaza, Riesgo Por Fenómenos De Remoción En Masa Y Diseño De Las Obras De Mitigación En El Sector Occidental De Granjas De Provenza Municipio De Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Servicio Geológico de Antioquia. (2014). Diagnóstico Sobre Movimientos En Masa En Los Municipios De Durania, Herrán, Labateca, Toledo Y Lourdes, Departamento De Norte De Santander.
- Unidad Nacional de Gestión del Riesgo. (2013). Área Metropolitana de Bucaramanga. Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre, PMGRD de Bucaramanga. Primera versión.
- Unidad Nacional de Gestión del Riesgo. (1998-2017). Consolidado reporte de emergencias.
- Villamil-Almeida, H. J., Blanco Mantilla, K.

RESULTADOS SCORECARD

	Aspectos esenciales	Puntuación	Resiliencia
E1	Organizarse para la resiliencia	71,4 %	Alta
E2	Identificar, comprender y utilizar los escenarios de riesgos actuales y futuros	66,7 %	Media alta
E3	Fortalecer la capacidad financiera para la resiliencia	78,8 %	Alta
E4	Promover el diseño y desarrollo urbano resiliente	25,0 %	Baja
E5	Proteger las zonas naturales de amortiguación para mejorar las funciones de protección de los ecosistemas	33,3 %	Media baja
E6	Fortalecer la capacidad institucional para la resiliencia	38,9 %	Media baja
E7	Comprender y fortalecer la capacidad social para la resiliencia	40,0 %	Media baja
E8	Aumentar la resiliencia de la infraestructura vial	59,3 %	Media alta
E9	Asegurar una respuesta efectiva ante los desastres	100,0 %	Alta
E10	Acelerar el proceso de recuperación y reconstruir mejor	100,0 %	Alta
	Total	63,8 %	Media alta

Puntaje Scorecard - MCR2030



A partir de la aplicación del Scorecard se pudo determinar que el municipio de Bucaramanga presenta una resiliencia media-alta en cuanto a su gobernanza sobre la gestión del riesgo de desastres. Sin embargo, aún existen aspectos relevantes en los que se pueden realizar mejoras para incrementar su resiliencia. Estos incluyen:

- 1 Promover desde los instrumentos de planificación territorial que los nuevos desarrollos urbanos incluyan criterios sostenibles que incrementen la resiliencia ante los riesgos climáticos y los impactos derivados del cambio climático.
- 2 Divulgar el conocimiento sobre el capital natural que posee el municipio y fomentar la apropiación de este conocimiento por parte de toda la población civil, de modo que se reconozca el valor ecosistémico de su territorio.
- 3 Capacitar a la ciudadanía en estrategias de respuesta a desastres, ampliando la cobertura y los canales de comunicación utilizados actualmente con este propósito.
- 4 Mejorar la articulación entre las entidades públicas con el objetivo de fortalecer los mecanismos mediante los cuales se llega a la comunidad.



Capítulo 3

RESULTADOS ESPACIALES

p. 53

Delimitación del área de estudio

p. 54

Riesgo por Movimientos de remoción en masa

p. 68

Riesgo por Inundación

p. 80

Riesgo por Enfermedades transmitidas por vectores

p. 84

Riesgo Crítico

p. 90

Escenarios de Cambio Climático

p. 98

Análisis de Índices de Cambio Climático

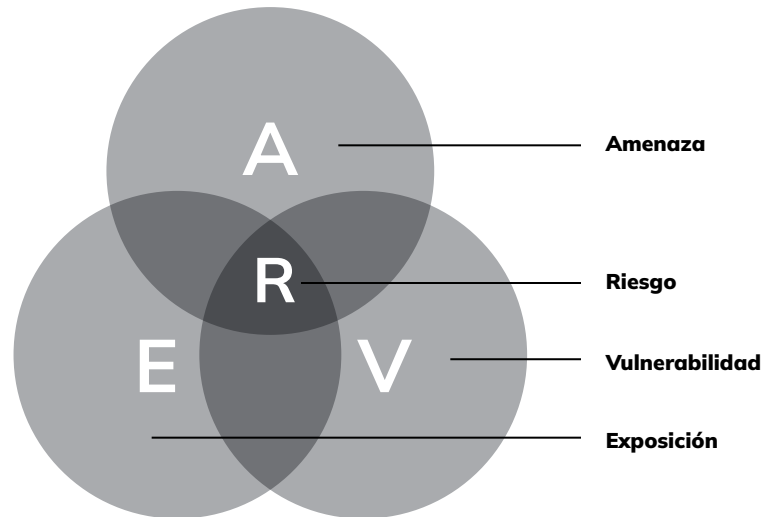
Tabla 14. Definición de las dimensiones del bienestar y elementos expuestos incluidos dentro del análisis de riesgo y vulnerabilidad climática..

Dimensión	Definición	Elementos expuestos
Recurso hídrico	Esta dimensión hace referencia, por una parte, a la disponibilidad y acceso al agua potable para la población. Por otra parte, se evalúa el estado de los cuerpos de agua. Para su evaluación, se tomará en cuenta la capacidad de los acueductos municipales, la eficiencia en el consumo y el acceso, a fin de analizar la disponibilidad del recurso hídrico.	<ol style="list-style-type: none"> 1 Cuerpos de agua 2 Pozos profundos, bocatomas y PTAP 3 Acueducto 4 Personas
Seguridad alimentaria	Bajo esta dimensión, se considerarán las actividades agrícolas que se desarrollan en el municipio, que son un aporte significativo para la disponibilidad de alimentos. Su evaluación integrará criterios para establecer las capacidades técnicas de las prácticas agrícolas.	<ol style="list-style-type: none"> 1 Uso agrícola 2 Uso pecuario
Biodiversidad	Con esta dimensión se busca identificar los efectos de los impactos climáticos en los ecosistemas y la biodiversidad de las ciudades. En este sentido, se tomarán en cuenta las condiciones y capacidades de los hábitats naturales urbanos, incluyendo sus coberturas y las características de las especies que los habitan.	<ol style="list-style-type: none"> 1 EEP/Áreas protegidas 2 Bosques 3 Humedales 4 Ríos
Infraestructura	Para esta dimensión, se incluyó la infraestructura asociada al transporte, como vías principales y aeropuertos, alcantarillado y acueducto, energía, y centros de salud, y cómo esta puede verse afectada por los diferentes tipos de riesgo.	<ol style="list-style-type: none"> 1 EEP/Áreas protegidas 2 Bosques 3 Humedales 4 Ríos

Dimensión	Definición	Elementos expuestos
Salud	En esta dimensión se considerará la población más vulnerable, incluyendo niños menores de 10 años y adultos mayores de 60 años, el acceso de la población a centros de salud, así como la capacidad instalada de estos centros.	<ol style="list-style-type: none"> 1 Personas
Hábitat humano	A través de esta dimensión se analizará la densidad y el tipo de viviendas presentes en la ciudad, así como las condiciones físicas en las que se encuentran los asentamientos. También se tomará en cuenta la infraestructura asociada a centros educativos y culturales, y zonas de recreación como plazas y parques.	<ol style="list-style-type: none"> 1 Viviendas 2 Parques que no están en la EEP 3 Plazoletas 4 Centros educativos y culturales

Considerando la visión del último informe del IPCC (2022)¹, en el cual se establece que el riesgo se compone de amenaza, exposición y vulnerabilidad, los modelos de riesgo se basan en el uso de indicadores para cada uno de estos componentes. El indicador de amenaza considera el comportamiento de variables climáticas como la precipitación y la temperatura, con el fin de identificar las zonas donde pueden ocurrir los riesgos climáticos evaluados. Por otra parte, el indicador de exposición tiene en cuenta los elementos mencionados en la Tabla 14. Este indicador permite ubicar espacialmente estos elementos en las zonas de amenaza. Finalmente, el indicador de vulnerabilidad se divide en dos subindicadores: el primero caracteriza la sensibilidad de los elementos expuestos y el segundo evalúa su capacidad de respuesta.

Para obtener información más detallada sobre los indicadores utilizados en el modelo de riesgo para cada dimensión, consulte el material en la sección Anexos.

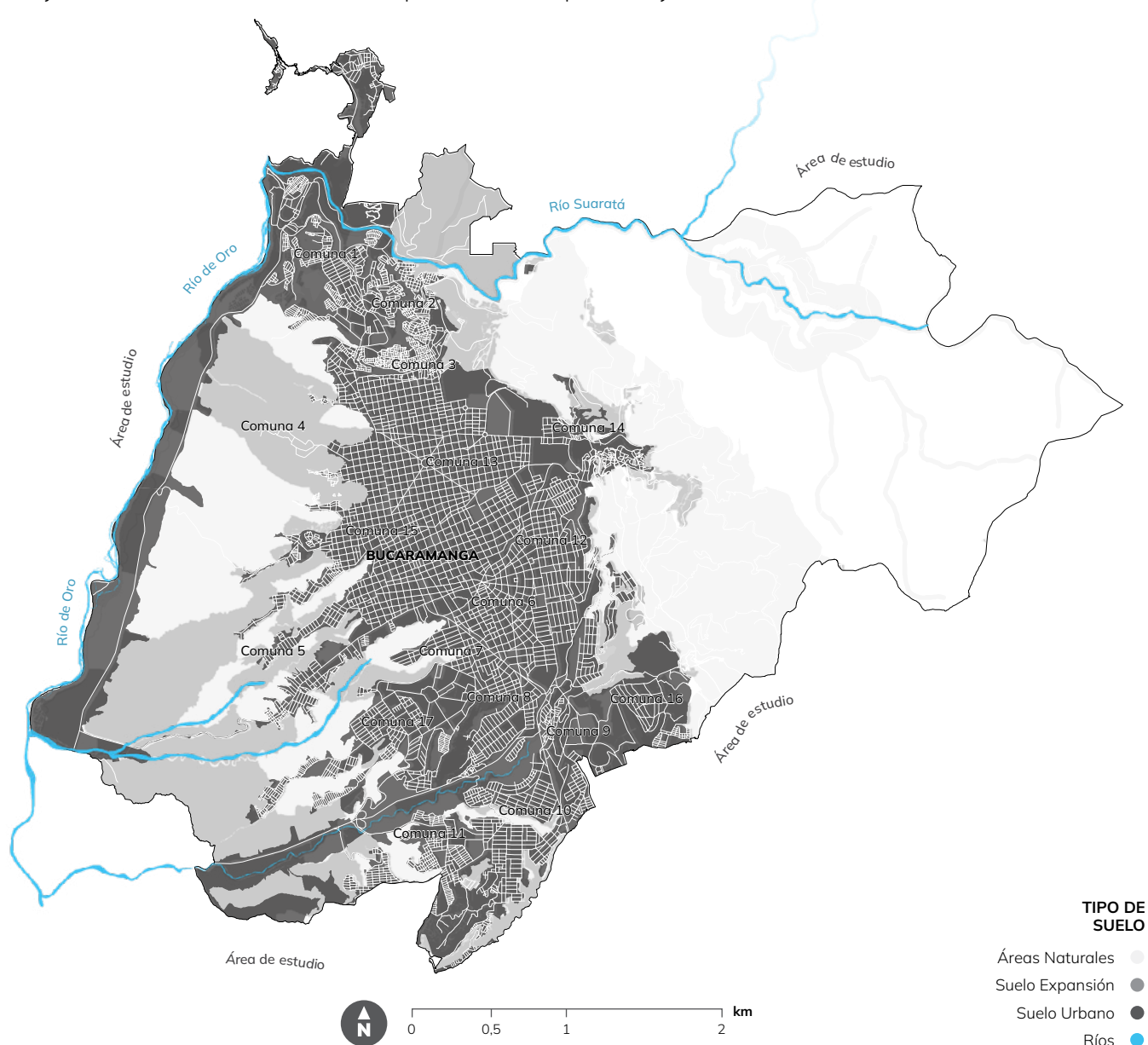


1. IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösche, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.

Delimitación del ÁREA DE ESTUDIO

Para delimitar el área de estudio del ARVC, se utilizó un área base definida a partir de la clasificación del suelo urbano y suelo de expansión urbana realizada por el municipio. Estas dos categorías de uso del suelo son especialmente relevantes para el análisis de las dimensiones de hábitat humano, infraestructura y salud, debido a la concentración de po-

blación en esas áreas. Además de esta área base, se incluyeron las áreas naturales periurbanas, que abarcan las áreas que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y otras áreas con importancia ecosistémica debido a las funciones ecológicas que desempeñan y las contribuciones que brindan a las personas y sus medios de vida.





Riesgo por

MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

También conocidos como deslizamientos o derrumbes, se refieren al desplazamiento de suelo, tierra y/o rocas debido a la fuerza de la gravedad. Estos movimientos pueden ocurrir tanto por factores naturales, como la geología, hidrología o sismicidad del suelo, como por intervenciones humanas que alteran la estabilidad del terreno. Algunos tipos de movimientos de remoción en masa incluyen desprendimientos, volcamientos, deslizamientos, reptaciones y flujos².

AMENAZA POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

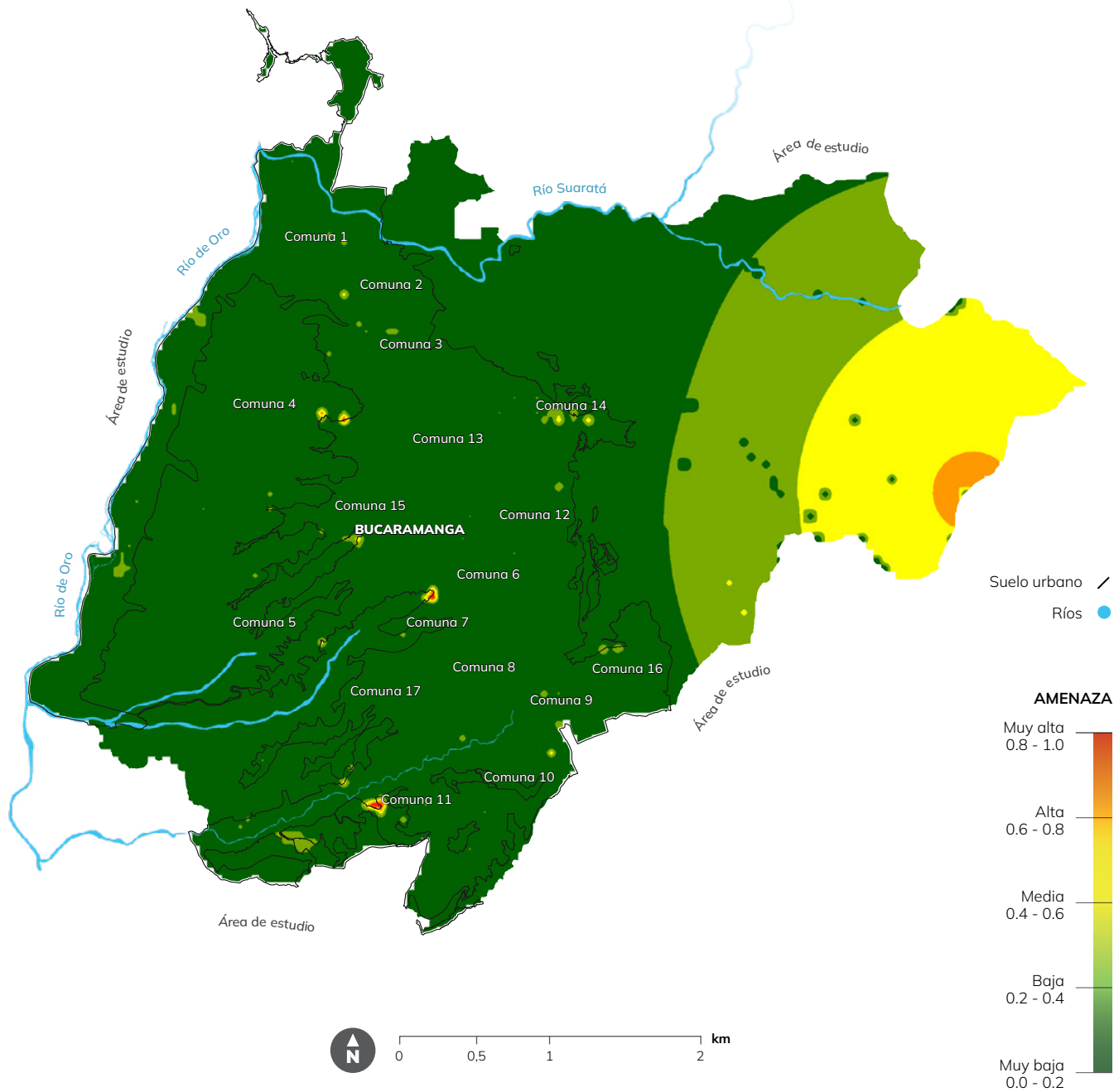
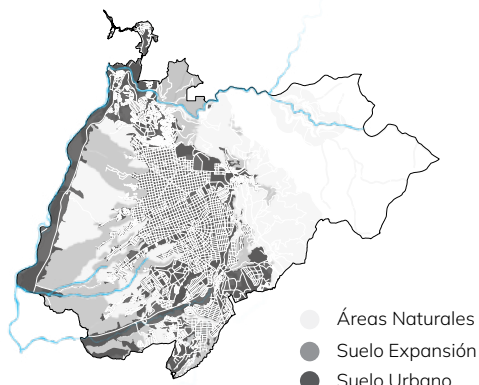
La amenaza por movimientos de remoción en masa se caracteriza mediante el análisis de la precipitación total anual y

las zonas con registros históricos de deslizamientos y flujos de material. Aunque las lluvias tienen mayor intensidad anual en el oriente del municipio, los registros históricos de remoción en masa se localizan en el centro y occidente, en puntos específicos del perímetro del casco urbano. Estos eventos ocurren en zonas erosionadas del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) que limitan con el suelo urbano.

2. UNGRD. (2020). Riesgo por movimientos en masa en Colombia. Portal Gestión del Riesgo. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx>

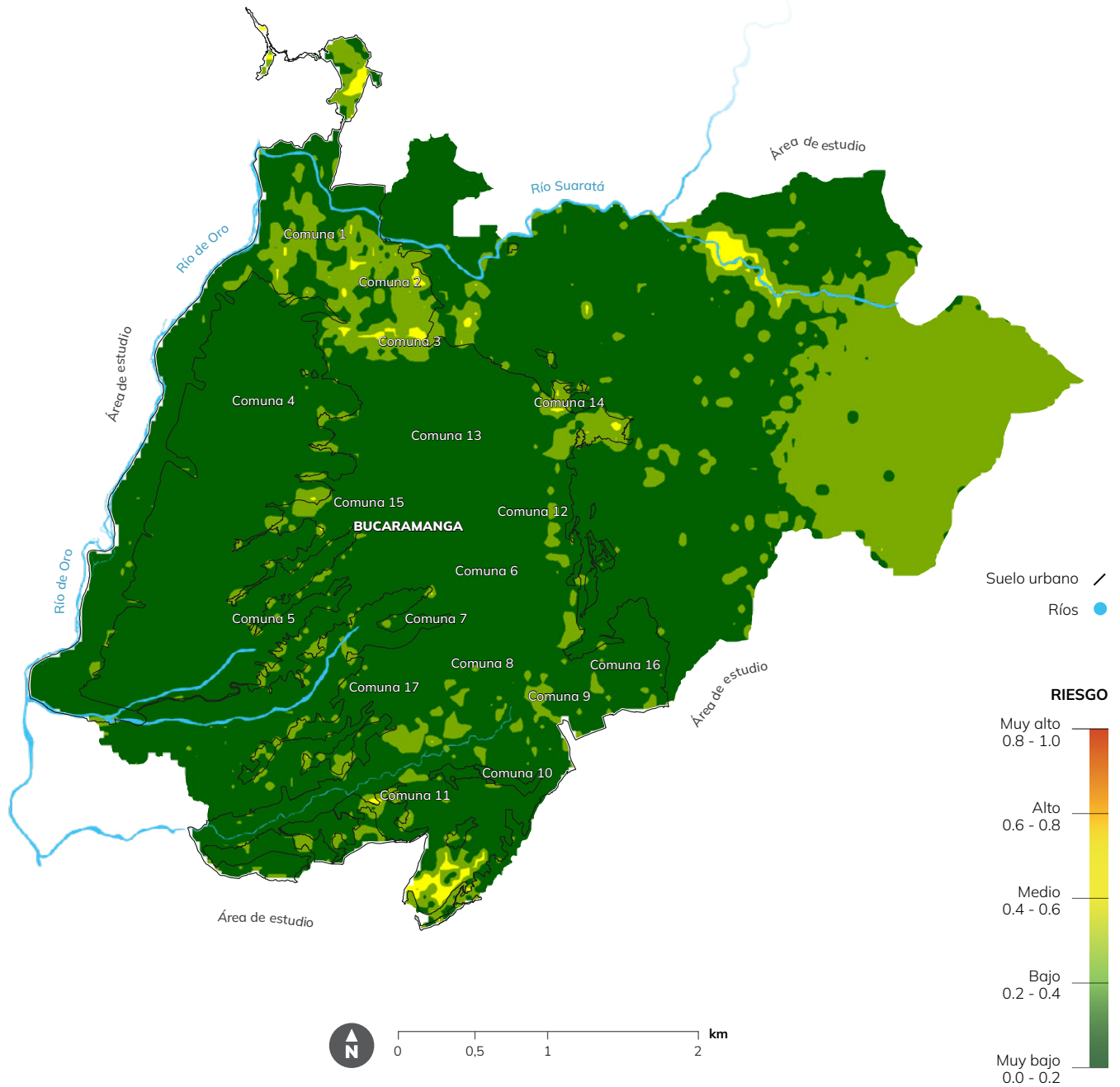
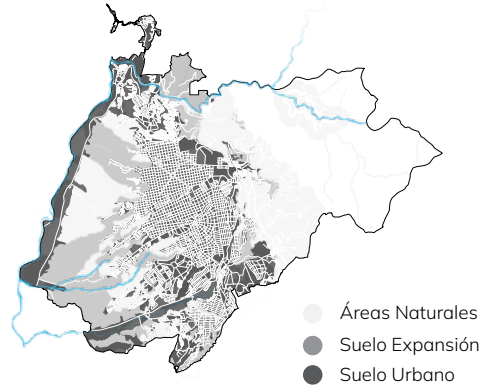


Los movimientos de remoción en masa se analizan según la precipitación y los registros históricos. Aunque las lluvias son intensas en el oriente, los eventos ocurren en el centro y occidente.

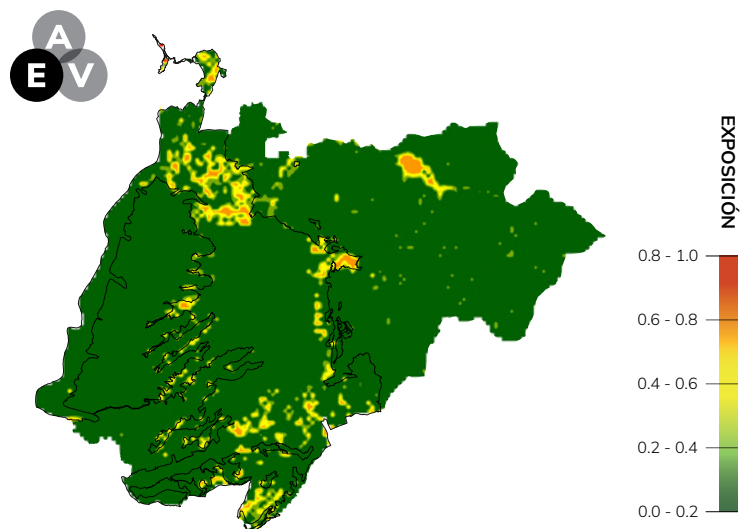


RECURSO HÍDRICO Y RIESGO POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

Los fenómenos de remoción en masa afectan el recurso hídrico, dificultando su transporte y tratamiento. El embalse de Tona es especialmente vulnerable en esta dimensión.

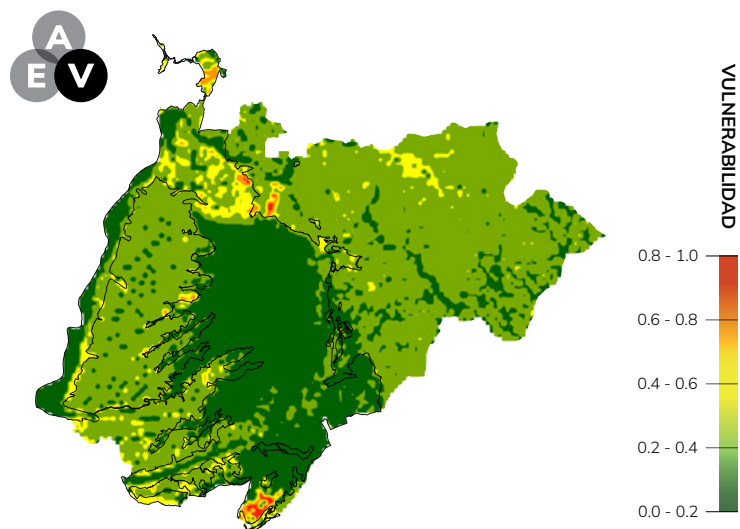


RECURSO HÍDRICO Y EXPOSICIÓN POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA



El territorio presenta áreas de alta exposición en la dimensión de recursos hídricos. Este análisis considera especialmente la concentración de población en el territorio y la presencia de masas de agua, incluyendo las redes de suministro de agua potable. De esta manera, las áreas más críticas del territorio se encuentran en las regiones periféricas y alejadas del centro urbano, como la presa de Tona en el noreste y las zonas urbanas cercanas a los arroyos.

RECURSO HÍDRICO Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA



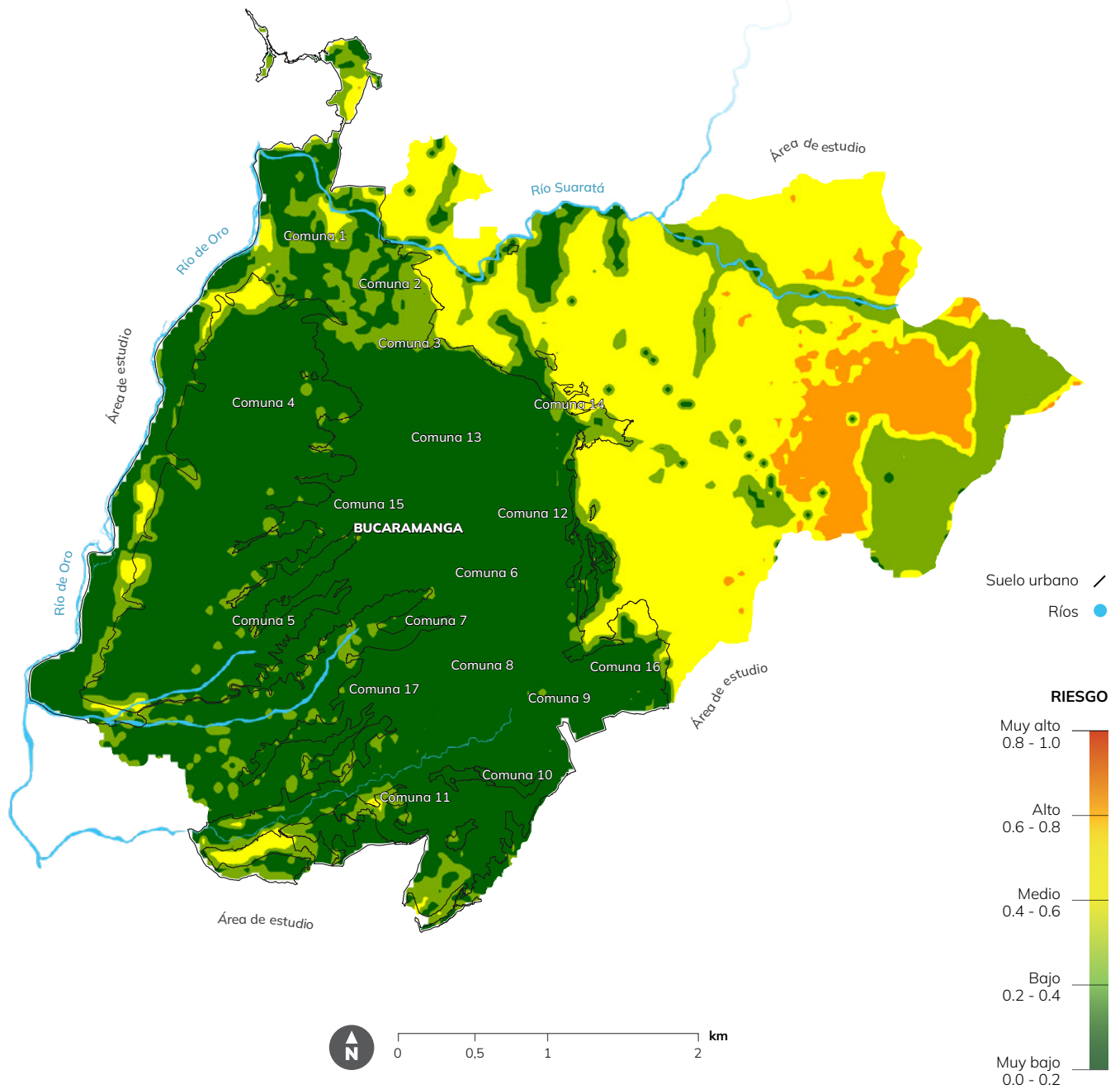
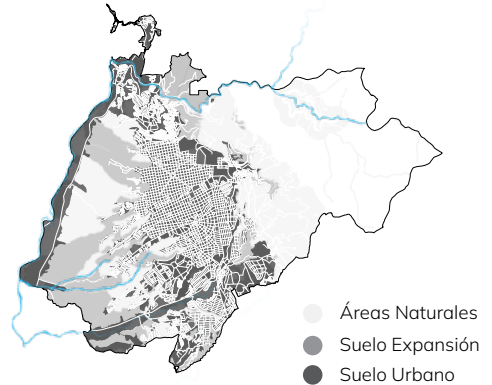
Este tipo de riesgo está intrínsecamente determinado por las características físicas del territorio. Por lo tanto, las zonas con pendientes más pronunciadas siempre mostrarán mayores indicaciones de vulnerabilidad. En relación a la dimensión de recursos hídricos, las áreas cercanas a cuerpos de agua y aquellas con cambios altimétricos y pendientes más significativos, especialmente en el extremo sur y las ocupaciones informales, se identifican como áreas críticas.

El recurso hídrico se ve fuertemente impactado por los fenómenos de remoción en masa. Por un lado, estos eventos generan obstrucciones y daños en los sistemas de captación, lo que dificulta el transporte del agua hasta las PTAP. Por otro lado, la alta carga de sedimentos causada por las remociones en masa afecta las características fisicoquímicas del agua, dificultando su tratamiento e incrementando el costo de su distribución.

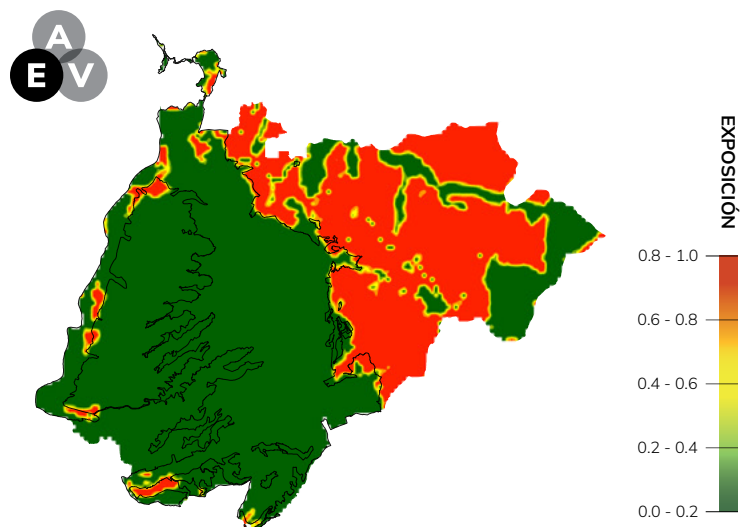
Como se puede observar en el mapa, la zona que presenta los mayores niveles de riesgo es el embalse de Tona, al nororiente del municipio, el cual es fundamental para la seguridad hídrica del municipio. Como se mencionó en la dimensión de biodiversidad, esta zona presenta problemas de remoción en masa que dificultan la captación y distribución del agua.

SEGURIDAD ALIMENTARIA Y RIESGO POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

Se requieren medidas de adaptación en áreas con mayor riesgo. Los movimientos de remoción afectan la producción generando escasez de alimentos.

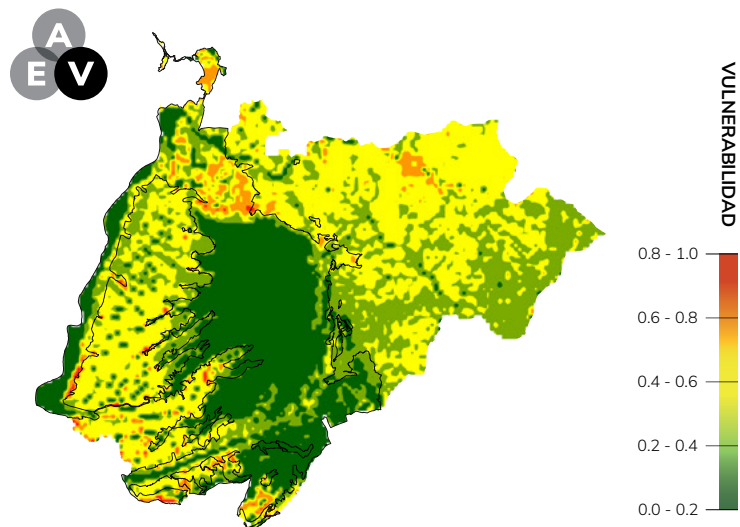


SEGURIDAD ALIMENTARIA Y EXPOSICIÓN POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA



Las áreas de alta exposición en la dimensión de seguridad alimentaria se encuentran principalmente en la región oriental del territorio, con algunos puntos de atención en los límites urbanos del oeste. Estas áreas, debido a las prácticas agrícolas, son muy susceptibles a la erosión y la degradación del suelo, lo que también puede afectar a las áreas adyacentes.

SEGURIDAD ALIMENTARIA Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA



En este eje se utilizaron capas de entrada muy similares al mapeo de vulnerabilidad en la dimensión de biodiversidad, con la diferencia de la información sobre los tipos de cultivos. Naturalmente, las zonas rurales son las más susceptibles al riesgo según este eje, especialmente las regiones de cultivo cercanas a colinas, como las zonas del sur, que se identifican como más vulnerables a los movimientos de remoción de masa.

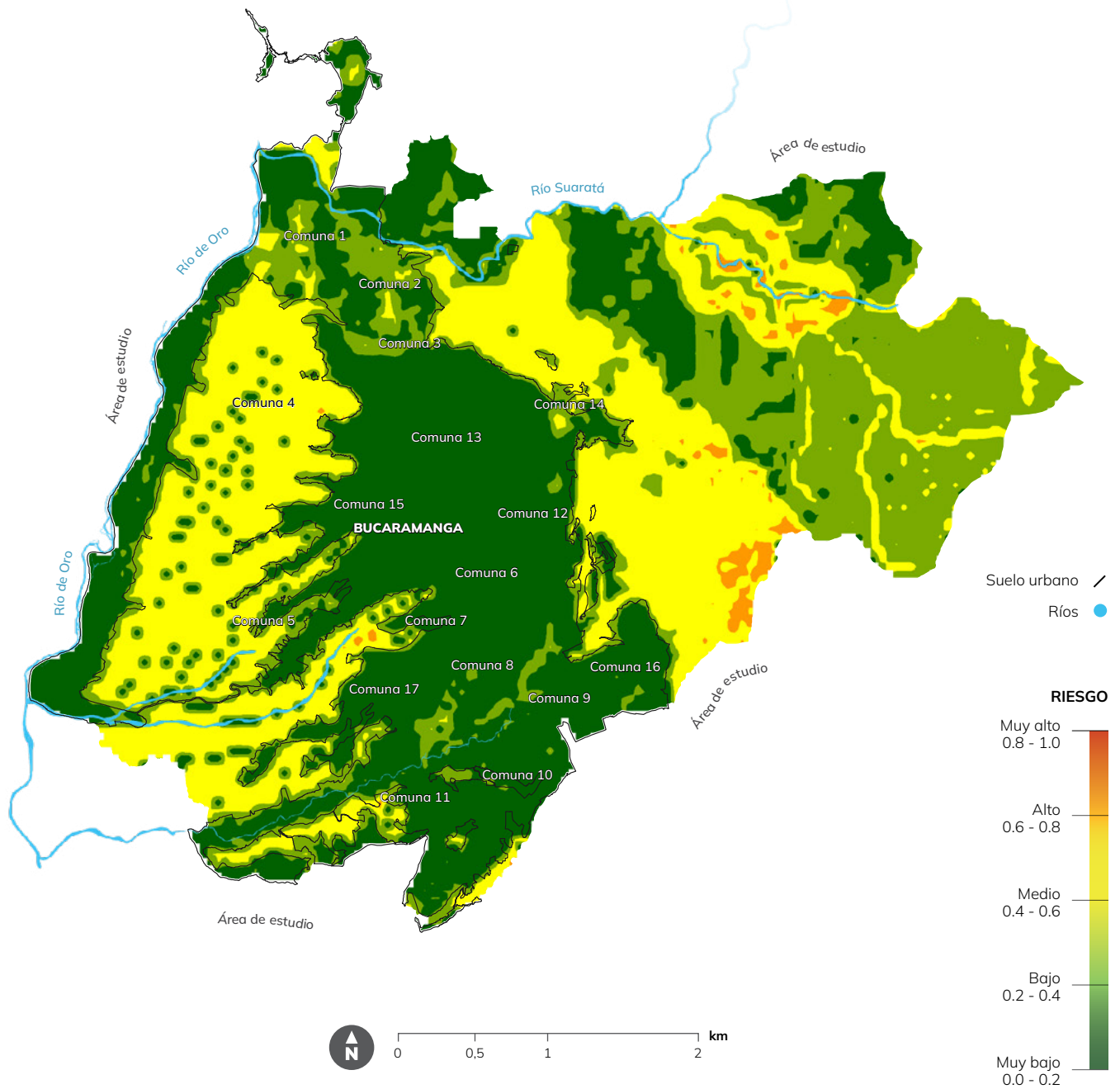
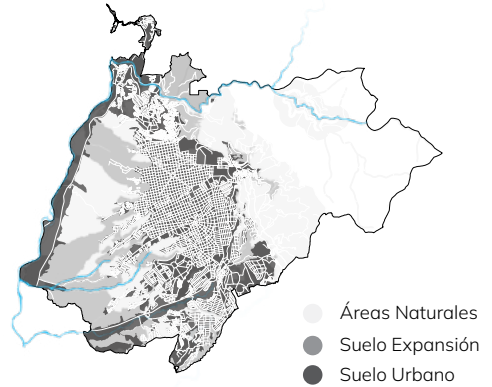
El relieve del área rural de Bucaramanga contribuye a que la mayoría de los suelos agrícolas estén ubicados en zonas con pendientes pronunciadas. Esto hace que muchos de los cultivos en el oriente del municipio estén expuestos a condiciones propicias para la ocurrencia de remociones en masa, especialmente debido a las altas precipitaciones anuales en esa zona, que son un factor clave para estos eventos.

Aunque gran parte del área rural oriental todavía cuenta con coberturas naturales en buen estado, la mayoría de estas áreas presentan niveles medio o alto de riesgo. Es necesario implementar medidas de adaptación, especialmente en las veredas Retiro Chiquito, Retiro Grande y Monserrate, donde se registran los mayores niveles de riesgo.

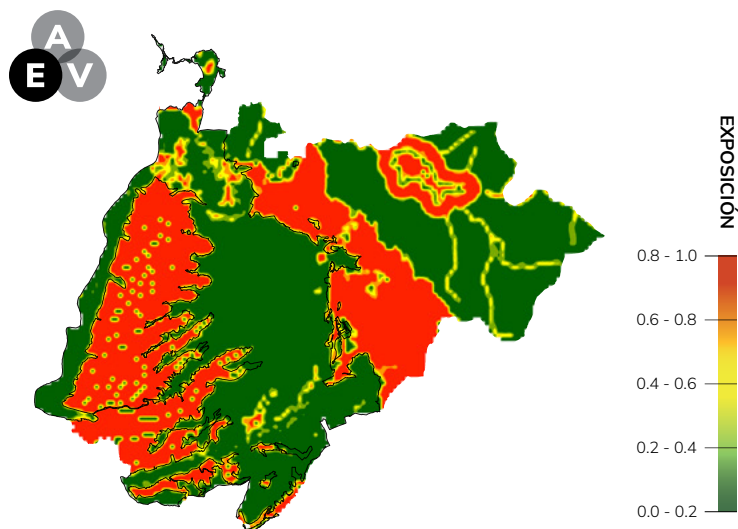
Los movimientos de remoción en masa han afectado la producción de alimentos como lechuga, tomate, pepino, papa y cebolla larga, entre otros. Esto se debe tanto al impacto directo del desastre climático en los cultivos como a las afectaciones en la infraestructura de transporte, especialmente en las vías de vital importancia para el transporte de alimentos. Esto ha generado escasez de productos lácteos y frutas en el municipio.

BIODIVERSIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

La biodiversidad es significativa en las regiones oriental y occidental debido al terreno montañoso y propenso a la erosión.

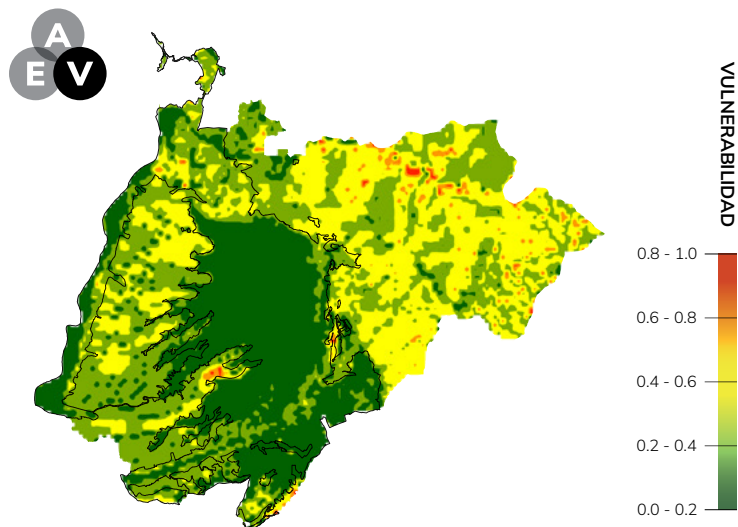


BIODIVERSIDAD Y EXPOSICIÓN POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA



La exposición en la dimensión de biodiversidad es significativa a lo largo del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI). Esta amplia extensión de áreas de alta exposición se debe al perfil del terreno, que es montañoso con pendientes pronunciadas y propenso a la erosión, y se asocia con áreas verdes, cauces de ríos, bosques y otras áreas protegidas, abarcando gran parte del territorio.

BIODIVERSIDAD Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA



Se utilizaron los grados de protección existentes en el suelo rural, asociados con la estimación de la profundidad de las raíces de la vegetación, como capas de entrada para el cálculo de la capacidad adaptativa frente al riesgo de movimientos de remoción de masa, y se confrontaron con información físico-morfológica de sensibilidad. Las cadenas de montañas, especialmente las regiones con pendientes más pronunciadas, y los bosques de galería fueron identificados como áreas críticas.

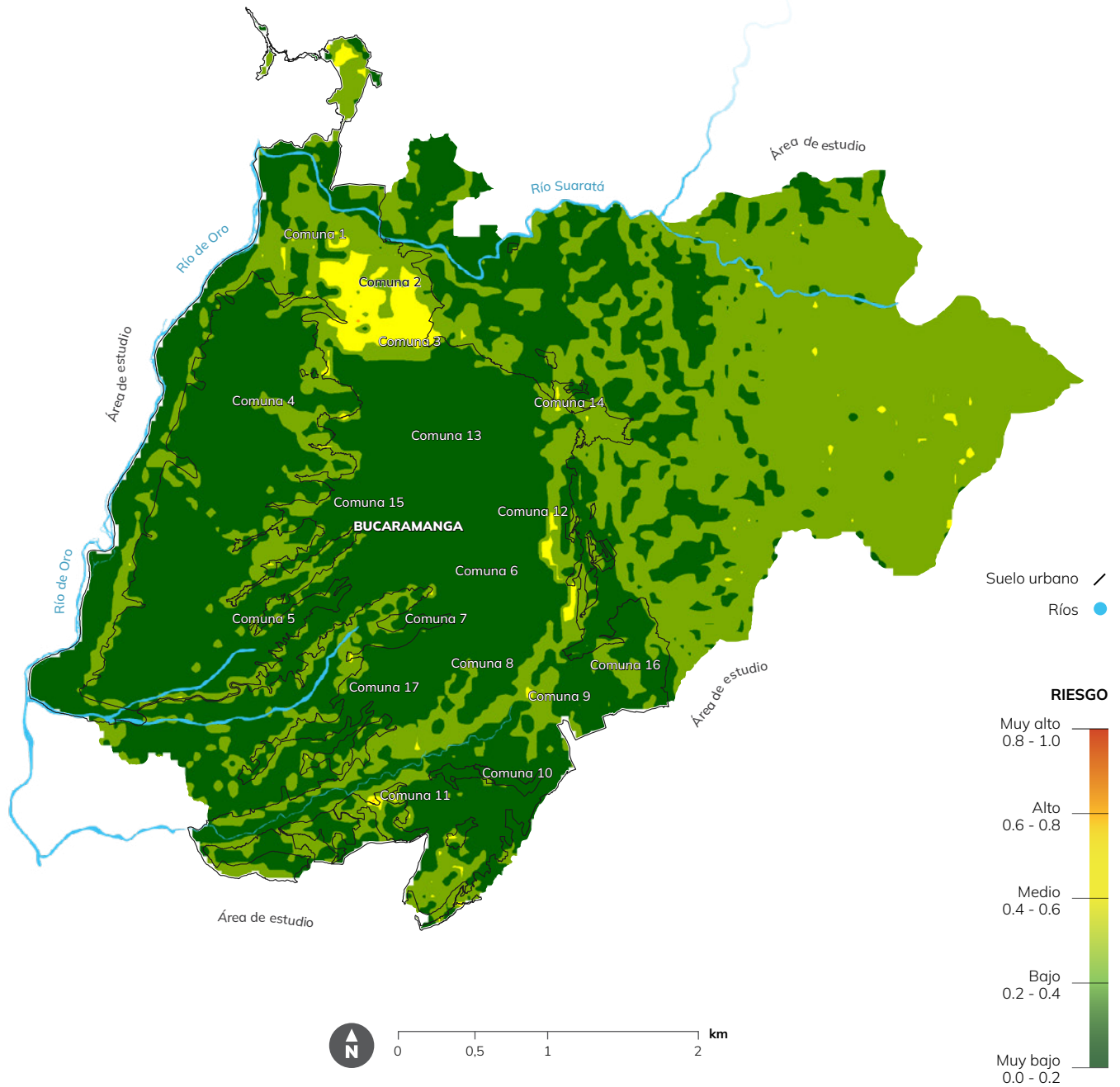
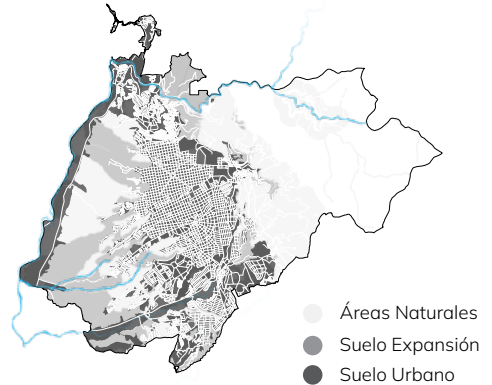
En cuanto a la dimensión de biodiversidad, todo el DRMI presenta en su mayoría un riesgo medio tanto en la escarpa occidental como en los cerros orientales. El suelo de los ecosistemas presentes aquí posee características geológicas y geomorfológicas que los hacen bastante vulnerables a los eventos de remoción en masa. Algunos puntos específicos de la escarpa, como la zona que bordea el sector de Ciudadela y San Francisco, presentan niveles de riesgo alto.

Hacia el oriente del área de estudio, las veredas 10 de Mayo y San José también presentan un riesgo alto por remoción en masa. Finalmente, el embalse de Tona y su área perimetral también presentan condiciones que los hacen vulnerables a estos eventos, considerando además que es en esta zona del municipio donde se presentan los mayores niveles de precipitación, lo que favorece las condiciones para que ocurran deslizamientos o flujos de material.

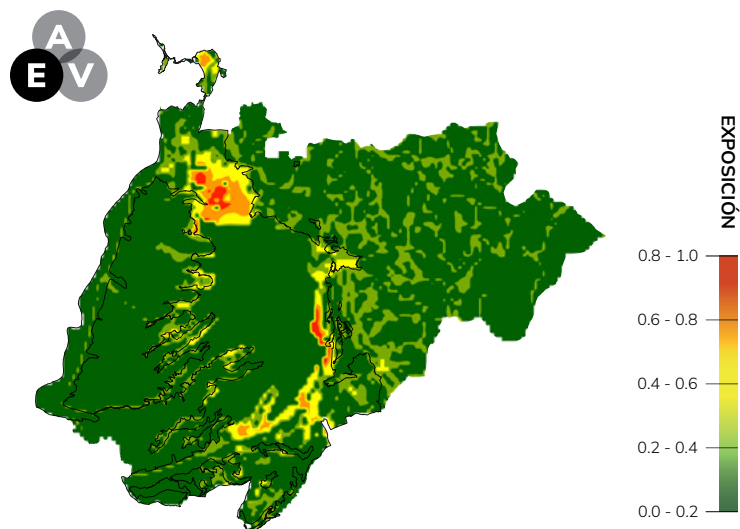
Además, es importante resaltar que la dimensión de biodiversidad se ha visto afectada por este tipo de eventos, ya que ha habido pérdida y degradación de las coberturas naturales y del suelo debido a cambios en su uso, lo que ha llevado a que los taludes estén cada vez más erosionados y presenten mayor inestabilidad.

INFRAESTRUCTURA Y RIESGO POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

El análisis de la exposición en infraestructura revela áreas con pendientes pronunciadas cerca de centros de salud, con alta exposición y riesgo medio en Bucaramanga.

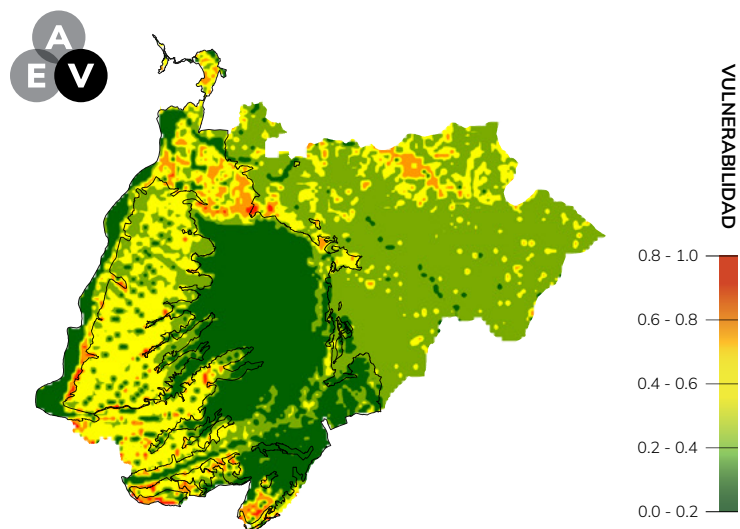


INFRAESTRUCTURA Y EXPOSICIÓN POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA



Para el análisis de la exposición en relación con la infraestructura, se observaron las áreas con pendientes pronunciadas en las vías de acceso y en las regiones adyacentes a los centros de salud que se encuentran en áreas con una fuerte influencia de la erosión. Estas áreas, con exposición alta y/o muy alta, se encuentran en las regiones periféricas del límite urbano y también están muy cerca de terrenos montañosos.

INFRAESTRUCTURA Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA



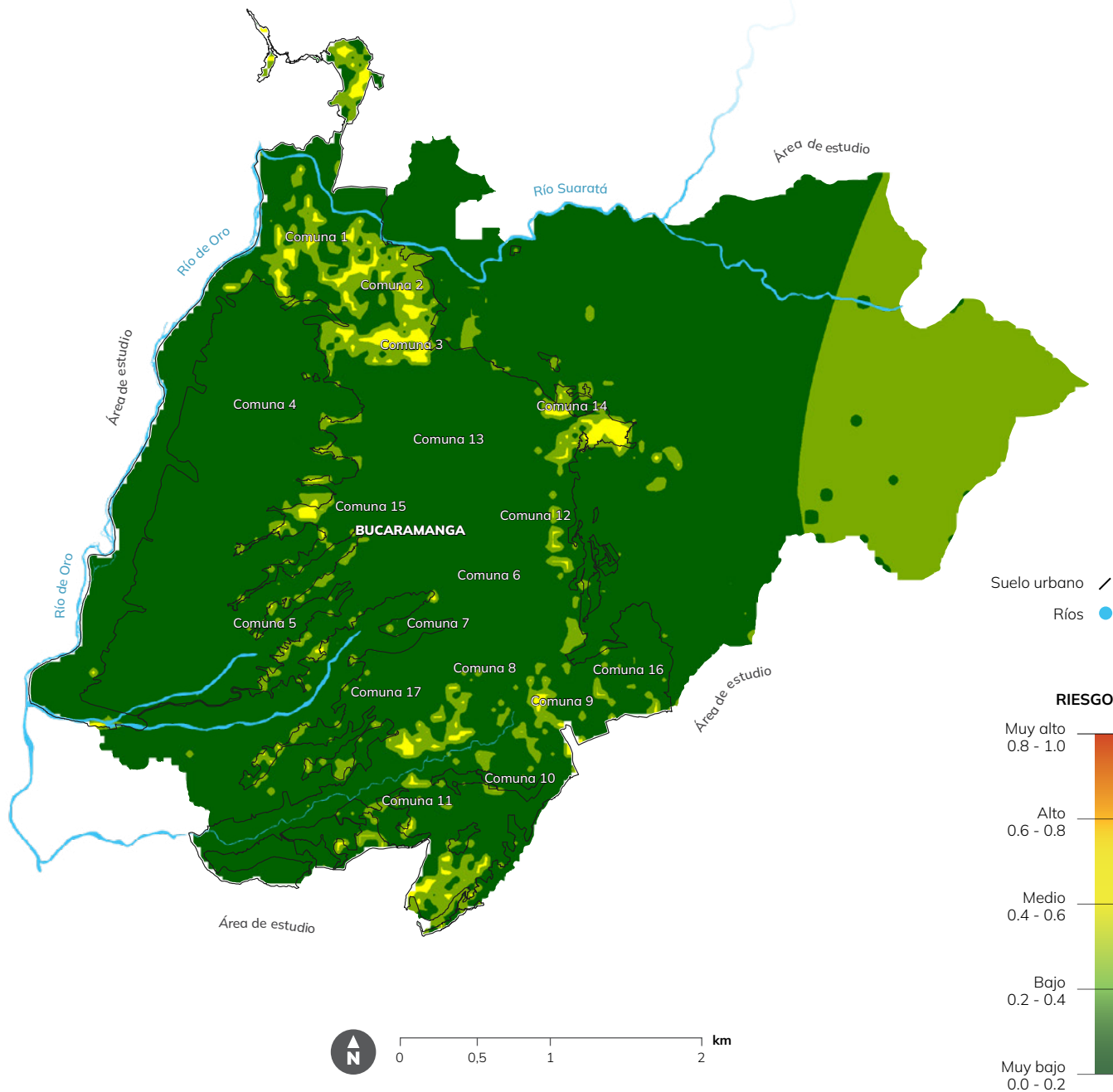
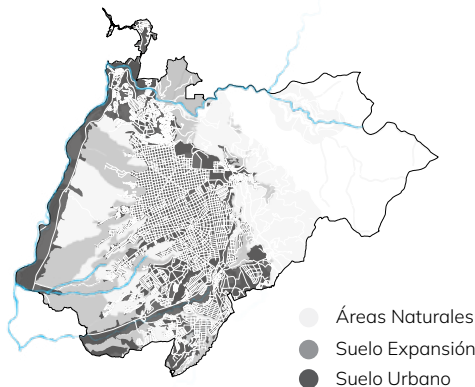
Al igual que en el modelamiento de la vulnerabilidad en la dimensión del hábitat humano, el mapeo para el eje de infraestructura muestra un bajo grado de vulnerabilidad para la mayoría del casco urbano de Bucaramanga. Esto se debe a que la ocupación se encuentra principalmente en terrenos planos, aunque se puede observar susceptibilidad al riesgo en los barrios informales, que son puntos críticos para la acción estratégica.

La dimensión de infraestructura se encuentra expuesta a movimientos de remoción en masa en el perímetro urbano que limita con la escarpa occidental y los cerros orientales, así como en parte de los sectores Norte, Kennedy y Colorados. Estos sectores presentan mayores vulnerabilidades asociadas a la falta de coberturas naturales y a las condiciones geomorfológicas, lo que los convierte en los principales núcleos de riesgo de la ciudad, con un riesgo medio.

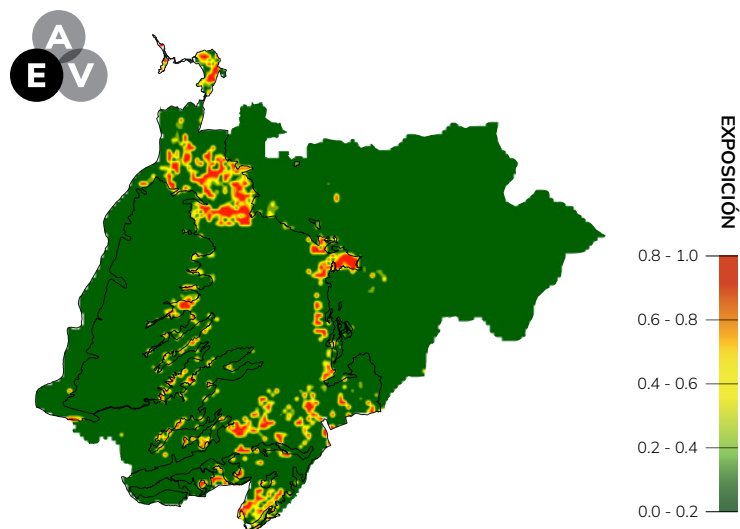
Por otra parte, algunas zonas aisladas de los sectores de Cabecera, Morrónico, Vía Girón y Ciudadela también presentan un nivel de riesgo medio, asociado igualmente a las condiciones geomorfológicas que se presentan debido a su cercanía a la escarpa y los cerros. Los sectores que han experimentado eventos de remoción en masa han sufrido daños en la red vial, acueducto y redes eléctricas.

SALUD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

El casco urbano tiene bajo riesgo, pero barrios como La Gloria y Nariño son vulnerables a remociones en masa.



SALUD Y EXPOSICIÓN POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

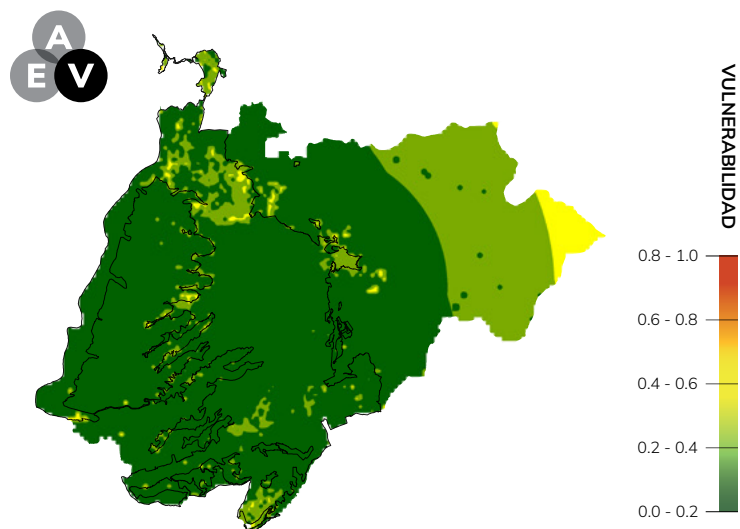


En la dimensión de salud, se consideran áreas de alta exposición las concentraciones de población ubicadas en zonas de ladera o áreas adyacentes. Estas concentraciones se presentan principalmente en las zonas periféricas y cercanas a terrenos montañosos en todo el perímetro urbano de Bucaramanga.

El riesgo por movimientos de remoción en masa en la dimensión de salud se presenta dentro del suelo urbano, en zonas de colinas o laderas, donde se ubican personas con condiciones socioeconómicas y demográficas que los hacen vulnerables. Estas zonas se encuentran en la confluencia entre la escarpa y el suelo urbano, donde se encuentran los barrios La Gloria, Nariño, Nápoles, 12 de Octubre y La Estrella, entre otros, los cuales presentan un riesgo medio y han experimentado eventos de deslizamientos y flujos debido a la erosión y eventos prolongados de precipitación.

Hacia los cerros orientales, el sector de Morrórico también presenta un riesgo medio, al igual que los sectores Norte, Kennedy y Colorados al norte de la ciudad.

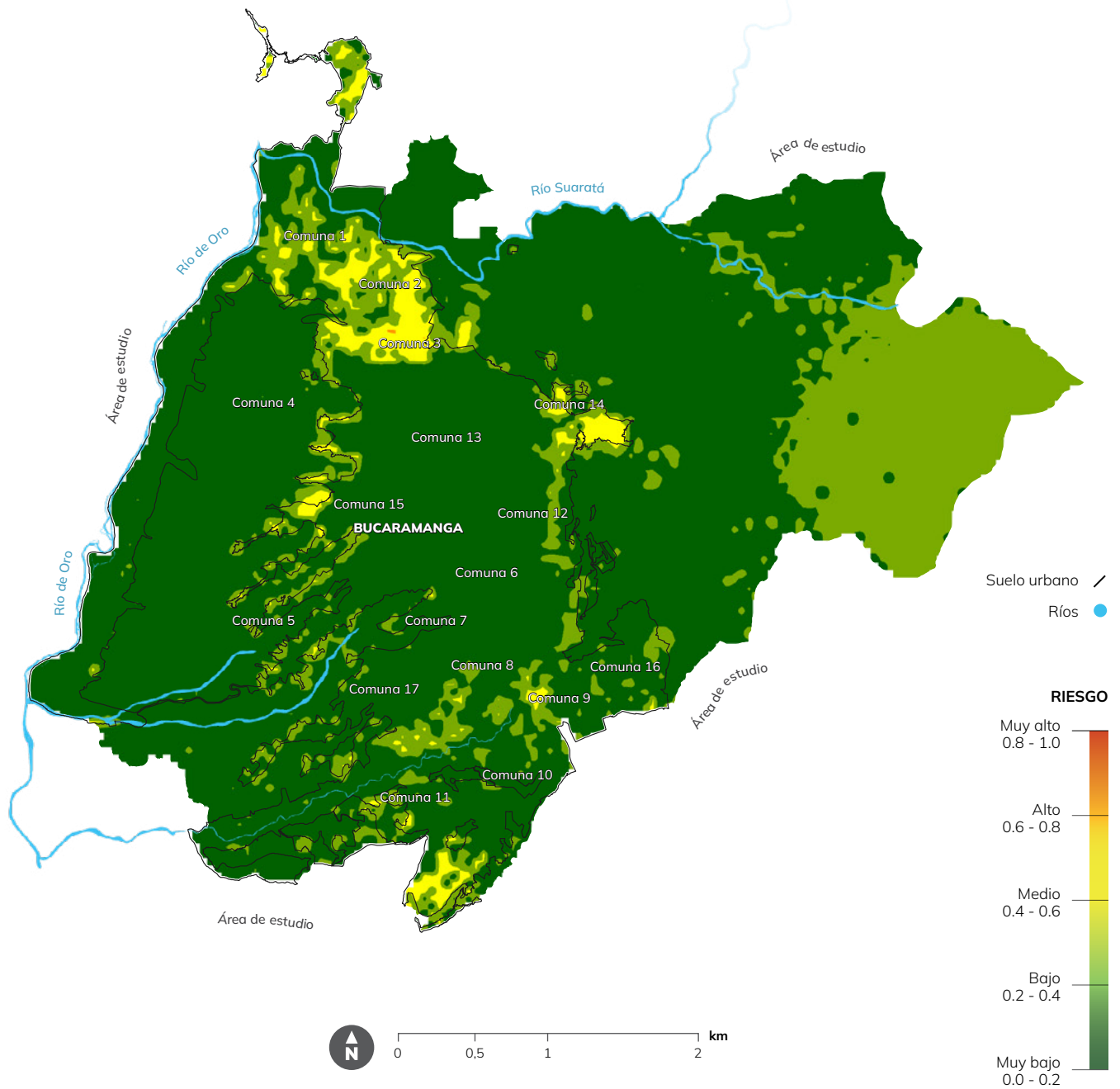
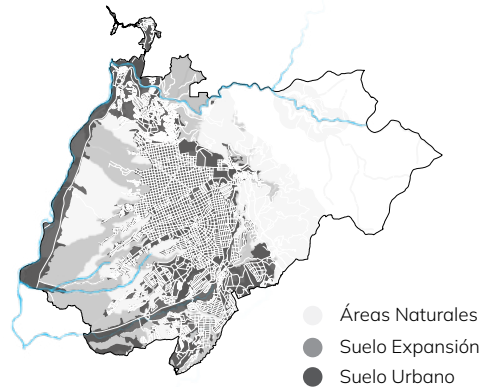
SALUD Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA



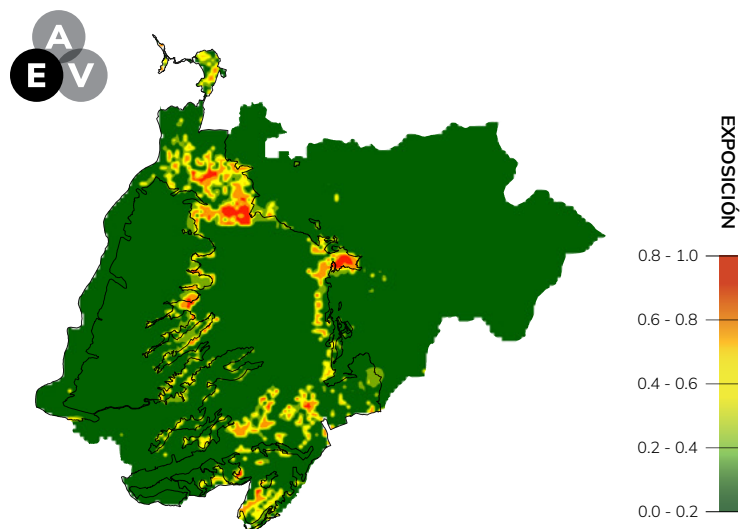
Bucaramanga cuenta con una buena cobertura en términos de instalaciones de salud, y el casco urbano presenta poco riesgo de movimientos de remoción de masa. Por lo tanto, el mapeo no indica zonas susceptibles más allá de aquellas que se encuentran fuera del contexto urbano.

HÁBITAT HUMANO Y RIESGO POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

La exposición en el hábitat humano considera equipamientos educativos, culturales y espacios públicos cercanos a zonas afectadas por procesos erosivos.



HÁBITAT HUMANO Y EXPOSICIÓN POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

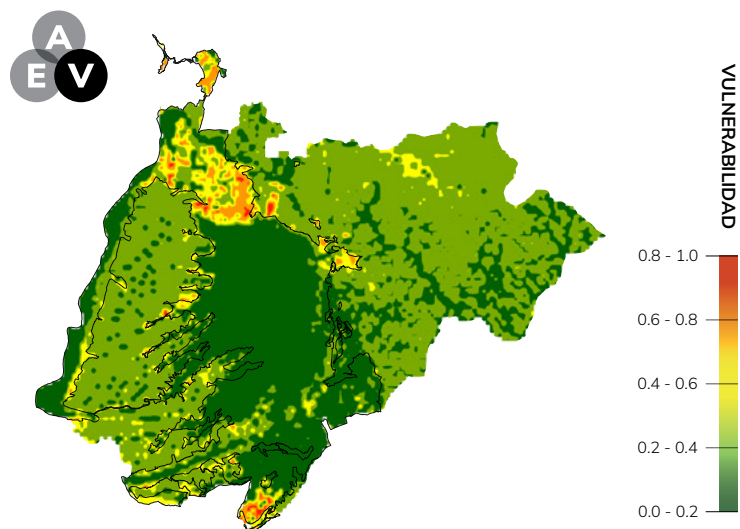


La exposición en la dimensión del hábitat humano considera los equipamientos educativos, culturales y los espacios públicos cercanos a las concentraciones de población ubicadas en áreas afectadas por procesos erosivos y sus áreas adyacentes. Estas áreas se encuentran en regiones periféricas y, por lo tanto, cercanas a los terrenos montañosos que rodean el perímetro urbano de la ciudad.

Las viviendas son el elemento que más contribuye al riesgo de movimientos de remoción en masa en esta dimensión. A diferencia de las zonas de espacio público, centros educativos y culturales, la población ha construido sus viviendas en áreas expuestas a remociones en masa. Es importante destacar que las zonas con los mayores niveles de riesgo coinciden en su mayoría con barrios de bajos ingresos. Esto ocurre en los barrios ubicados en los sectores de Provenza, Morrорico, Norte, Kennedy y Colorados, donde se encuentran los núcleos más representativos con un nivel medio de riesgo.

Estos barrios presentan características que aumentan su riesgo a estos fenómenos, principalmente debido a su vulnerabilidad. Estas características están asociadas con su ubicación en zonas con pendientes pronunciadas, cercanía a cuerpos de agua y asentamientos ilegales. La falta de suelo disponible para la expansión urbana en el municipio y los conflictos en el uso del suelo limitan la reubicación de estas personas.

HÁBITAT HUMANO Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA



En general, la ocupación urbana en Bucaramanga se encuentra en las áreas planas del territorio. Son pocas las viviendas o comunidades ubicadas en zonas de riesgo, como áreas con pendientes pronunciadas, por ejemplo. Sin embargo, el mapeo indica claramente las áreas de vivienda susceptibles al riesgo, las cuales coinciden con zonas de vulnerabilidad socioeconómica, principalmente comunidades urbanas informales.



Riesgo por

INUNDACIÓN

Es un fenómeno natural que se produce debido a lluvias intensas y persistentes, lo cual eleva el nivel de agua en los cuerpos de agua, provocando desbordamientos y la dispersión del agua en áreas circundantes. Estas inundaciones suelen ser lentas y prolongadas, aunque también existen las inundaciones súbitas que ocurren en cuerpos de agua en zonas montañosas o en terrenos con pendientes pronunciadas, donde las crecidas son repentinas y de corta duración³.

AMENAZA POR INUNDACIÓN

La amenaza de inundación se modeló utilizando información sobre la precipitación total anual y su comportamiento dentro del área de estudio. Además, se tuvieron en cuenta los estudios de amenaza del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) para el río de Oro y los registros de eventos de inundación proporcionados por la UNGRD. Es importante destacar que los estudios del POT no incluyeron análisis hidráulicos para determinar las cotas de inundación

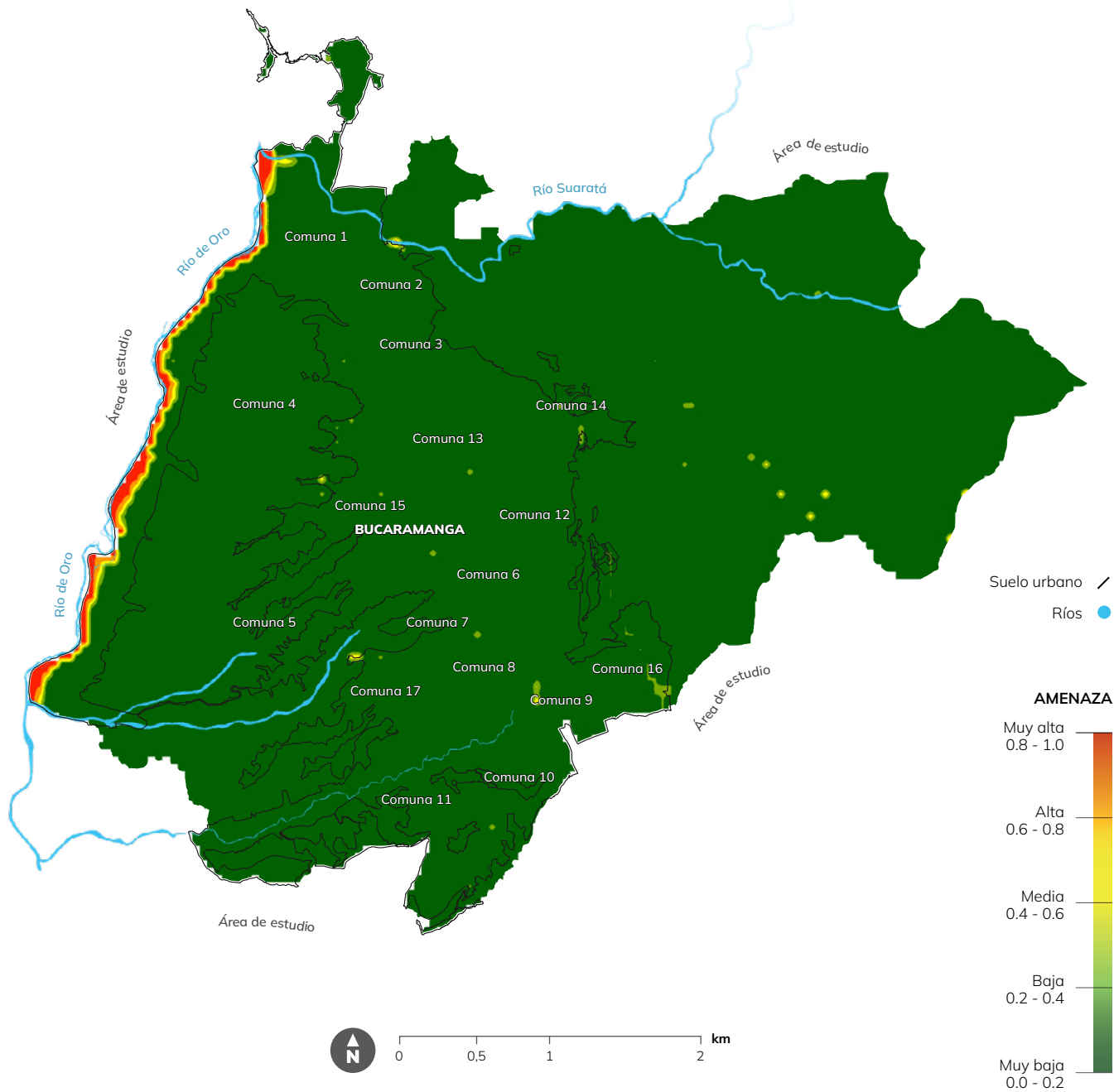
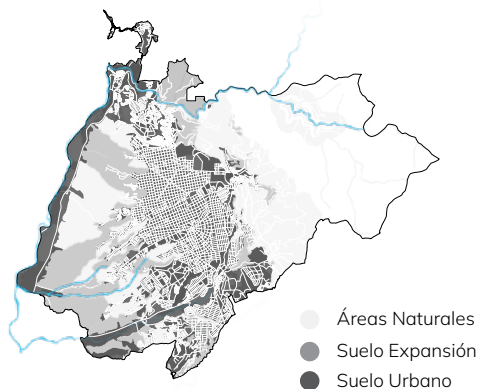
del río Suratá, por lo tanto, en el mapa de amenazas solo se incluyen las zonas con registros de inundación asociados a las crecidas de este río.

Teniendo en cuenta lo anterior, la amenaza de inundación en Bucaramanga se observa en el río de Oro y sus áreas adyacentes, donde existen amenazas de nivel medio, alto y muy alto, lo cual ha afectado históricamente a los barrios asentados en esas zonas. Dentro del casco urbano, existen algunas zonas puntuales con amenaza de nivel medio, principalmente ubicadas en los valles y cauces que se forman en las partes bajas de la escarpa occidental.

3. IDEAM. (2023). GLOSARIO. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario#S>

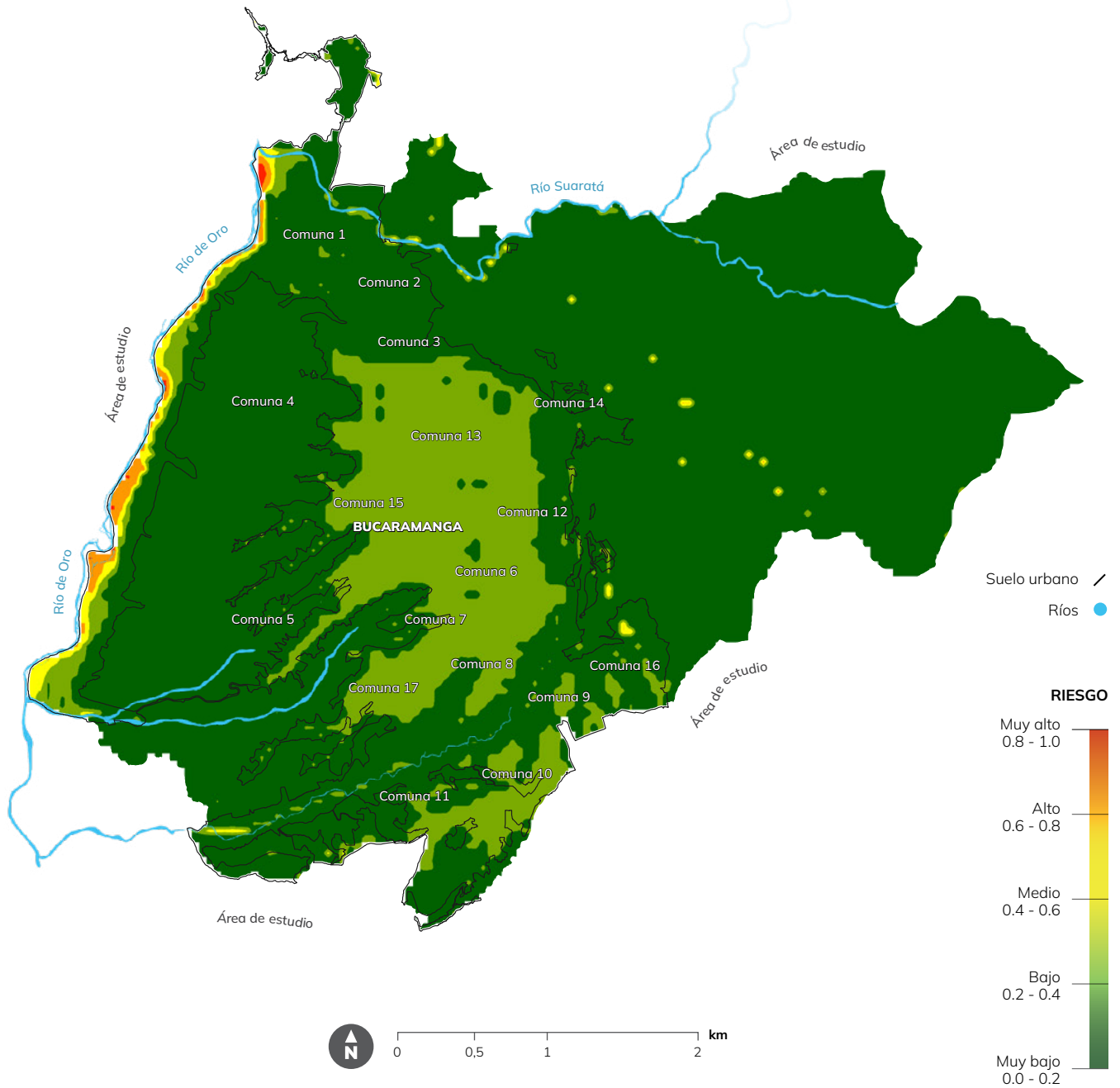
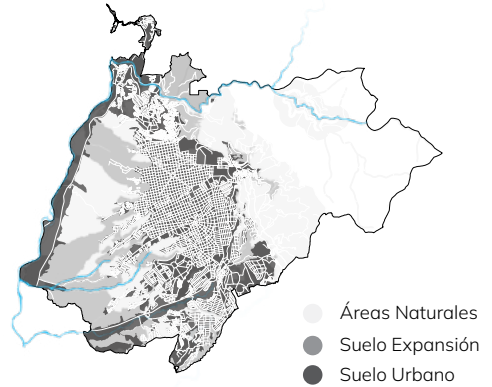


La amenaza de inundación se modeló considerando la precipitación anual, el POT del río de Oro y registros. En Bucaramanga, las zonas cercanas al río de Oro tienen amenazas altas y muy altas.

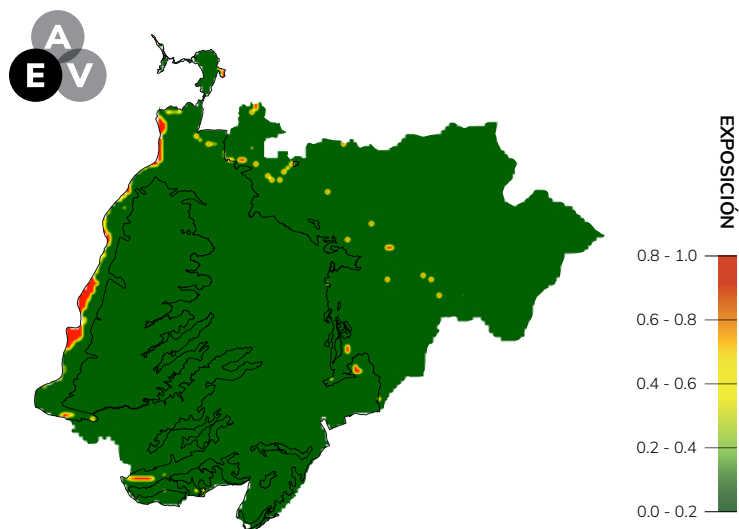


SEGURIDAD ALIMENTARIA Y RIESGO POR INUNDACIÓN

Las áreas de alta exposición se encuentran en zonas agrícolas cerca de los ríos Oro y Suarató. El casco urbano es altamente vulnerable, afectando a la agricultura familiar.



SEGURIDAD ALIMENTARIA Y EXPOSICIÓN A LA INUNDACIÓN



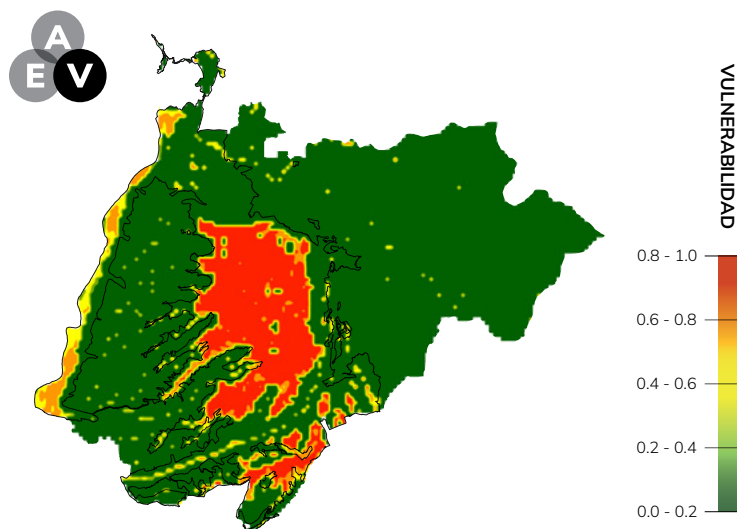
En relación a la dimensión de seguridad alimentaria, se destacan las áreas de alta y muy alta exposición que corresponden a zonas de producción agrícola ubicadas en planicies aluviales. Como muestra el mapa, estas áreas se presentan de manera puntual, concentrándose principalmente a lo largo del río Suratá y en la parte occidental del territorio, a lo largo del río de Oro.

Las zonas expuestas a inundaciones y con uso agrícola se encuentran en las márgenes de los ríos Oro y Suratá, así como cerca de otras quebradas. Las áreas agrícolas ubicadas en la margen oriental del río de Oro presentan un riesgo alto y muy alto, siendo las más susceptibles a verse afectadas en eventos intensos de precipitación que generan crecidas del río.

Por otro lado, las propiedades junto al río Suratá en las veredas Angelinos y Los Santos presentan un riesgo medio y alto. Finalmente, hay otras propiedades agrícolas dispersas en las veredas Pedregal, Gualilo Alto, San José y 10 de Mayo, donde se presenta un riesgo medio.

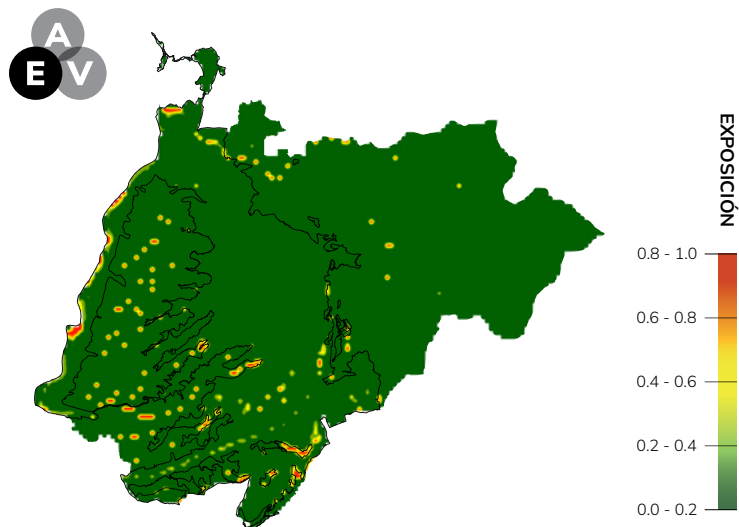
Aunque Bucaramanga no ha experimentado escasez de alimentos debido a las inundaciones, ya que se abastece de otros municipios cercanos, algunos sectores como el café, el cacao y la pitahaya, junto con la producción de cítricos, han sido afectados directa o indirectamente debido a las inundaciones y las lluvias torrenciales, que afectan las vías por donde se transportan estos alimentos.

SEGURIDAD ALIMENTARIA Y VULNERABILIDAD A LA INUNDACIÓN



Se utilizaron capas físico-morfológicas y de tipologías de cultivos para el modelo de vulnerabilidad al riesgo de inundación en relación con la seguridad alimentaria. Las zonas rurales y con cultivos están ubicadas en cadenas de montañas, lo cual las mantiene en un menor grado de vulnerabilidad. Sin embargo, el casco urbano es altamente vulnerable, lo que puede comprometer cultivos a menor escala, como las iniciativas de agricultura familiar.

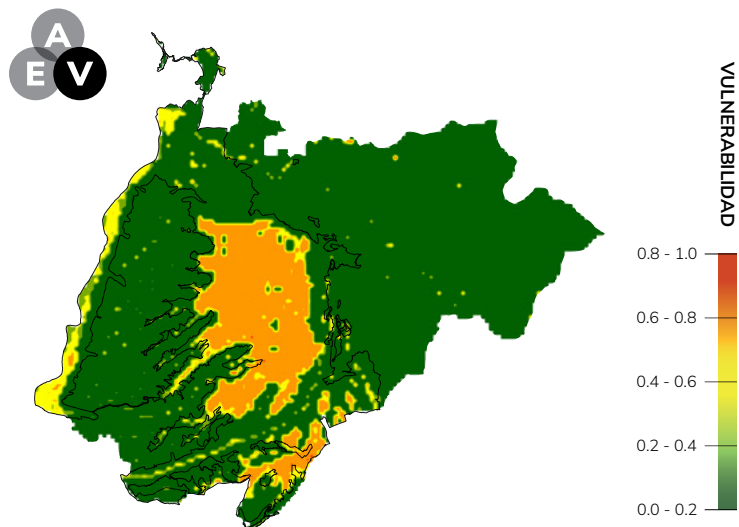
BIODIVERSIDAD Y EXPOSICIÓN A LA INUNDACIÓN



Las zonas más expuestas a inundaciones, en términos de biodiversidad, se concentran en la parte occidental del territorio, principalmente a lo largo del río de Oro y sus afluentes. La alta exposición en estos puntos se debe a la riqueza de fauna y flora presentes en las áreas verdes. Dada la presencia de varios puntos de muy alta exposición, se destaca la relevancia e importancia de las acciones de adaptación para la preservación de la biodiversidad en el territorio.

El riesgo de inundación para esta dimensión es bajo en casi todo el área de estudio, excepto en algunas depresiones del DRMI (Departamento de Recursos Minerales e Hidrocarburos) que son susceptibles a estos eventos, así como en el río de Oro. Esto se debe a que la mayoría de las áreas naturales del municipio presentan un relieve que favorece el drenaje de las aguas hacia las zonas más bajas de la cuenca. Esto ocurre tanto en la escarpa occidental como en los Cerros Orientales. Solo una zona baja de la escarpa, entre los barrios Gómez Niño y Balconcitos, presenta un riesgo alto de inundación, mientras que el río de Oro y sus áreas circundantes presentan riesgos medio y alto. En el área urbana, el parque de La Flora ha sido históricamente afectado por inundaciones debido a su topografía y su proximidad a quebradas cercanas.

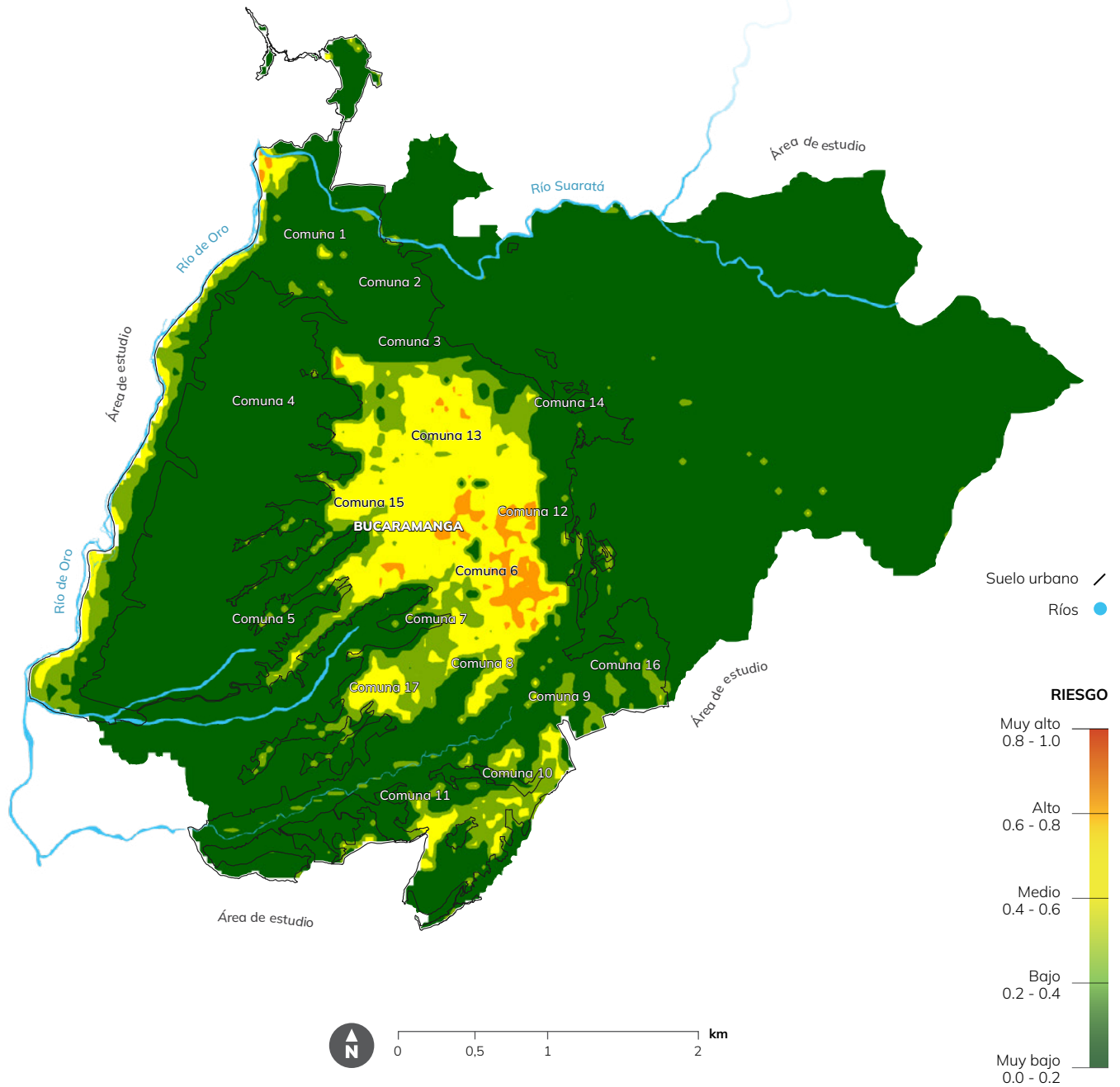
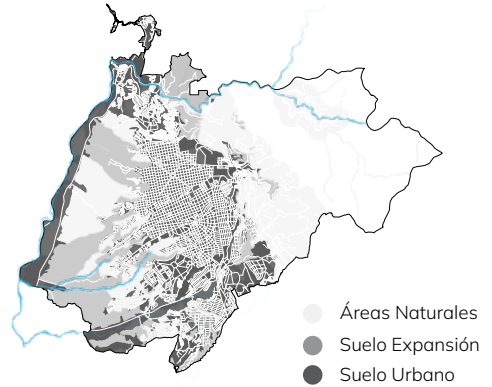
BIODIVERSIDAD Y VULNERABILIDAD A LA INUNDACIÓN



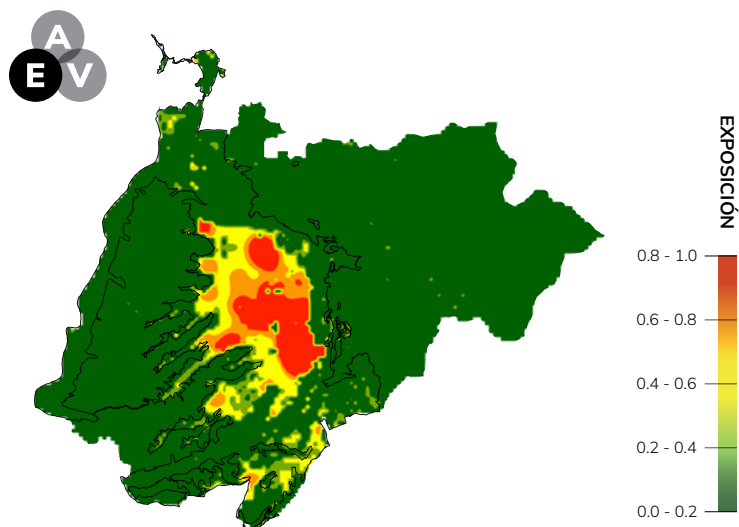
Se ponderaron variables físico-morfológicas para el modelamiento de este indicador, como litología, pendiente, vegetación, entre otras. Debido a que la región es montañosa y su urbanización se encuentra en una especie de valle, casi todo el casco urbano se clasificó como vulnerable, a excepción de algunas áreas con vegetación, como el Parque de los Perros, debido a su mayor permeabilidad.

INFRAESTRUCTURA Y RIESGO POR INUNDACIÓN

Este riesgo se debe a la falta de resiliencia de la infraestructura, el uso de materiales de baja calidad y la urbanización en áreas de rondas hídricas.

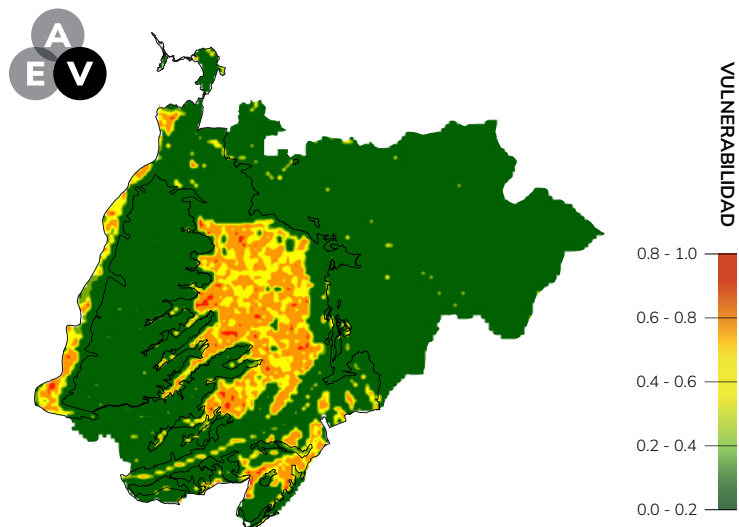


INFRAESTRUCTURA Y EXPOSICIÓN A LA INUNDACIÓN



Las áreas de mayor exposición en la dimensión de infraestructura se encuentran en las zonas más urbanizadas de la ciudad, donde se ubican las principales vías de acceso y los servicios de salud. Entre las principales regiones expuestas se encuentran los barrios de San Alonso, Alarcón, Comuna San Francisco, Villas del Romero, Antonia Santos, Cabecera del Llano, y el Centro.

INFRAESTRUCTURA Y VULNERABILIDAD A LA INUNDACIÓN



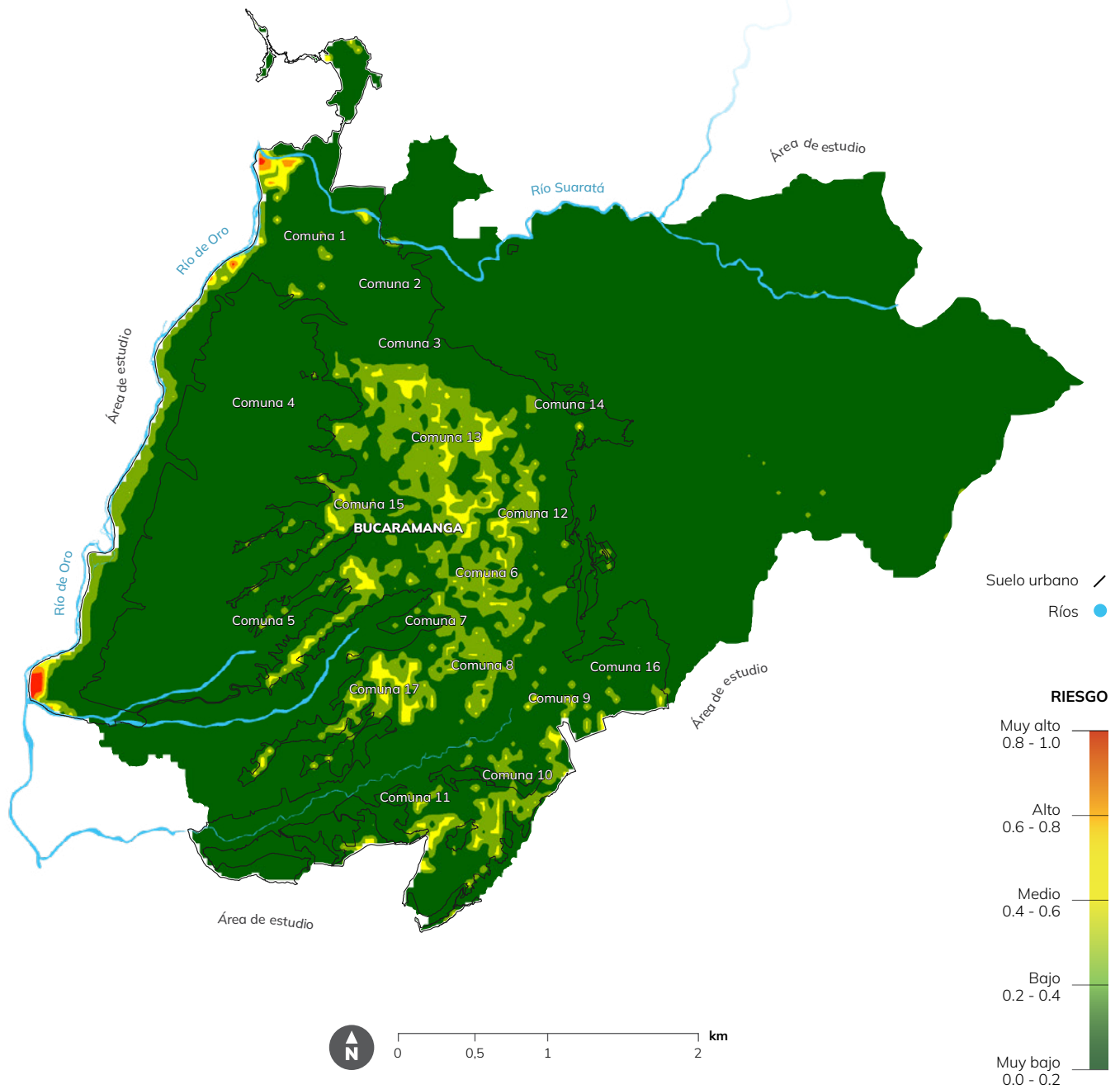
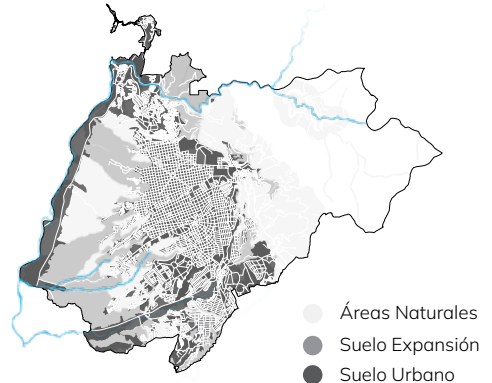
Se utilizaron el nivel de permeabilidad del suelo y su conformación física en términos de inclinación para el cálculo de este modelo. De esta manera, las cadenas de montañas que rodean el casco urbano recibirán una clasificación de baja vulnerabilidad. Por el contrario, las zonas muy impermeables y cóncavas en el centro de la ciudad recibirán los rangos más altos, ya que son altamente susceptibles.

El riesgo de inundación para la dimensión de infraestructura se concentra en el casco urbano de Bucaramanga. Esta zona está altamente expuesta debido a la concentración de vías e infraestructura de servicios. Los mayores niveles de riesgo se presentan en los sectores de Cabecera, San Alonso y Centro, donde el riesgo es alto. En Cabecera, las inundaciones pueden estar asociadas principalmente a crecidas de quebradas que atraviesan el sector, mientras que en los otros dos sectores de la ciudad, están asociadas principalmente a inundaciones pluviales que pueden generar encharcamientos en el sistema vial. El barrio Café Madrid es uno de los más afectados por las inundaciones y presenta un riesgo medio y alto para esta dimensión, principalmente debido a su cercanía al río de Oro, que afecta su infraestructura de servicios.

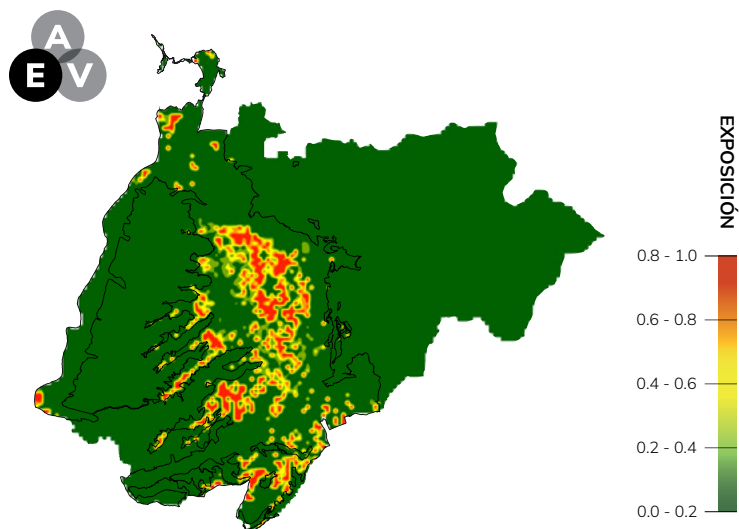
Este riesgo se debe principalmente a la falta de resiliencia de la infraestructura, lo que dificulta la adaptación a condiciones climáticas cambiantes e intensificadas. Muchas veces se utilizan materiales de baja calidad, lo que contribuye a que los daños sean más severos durante las inundaciones. Además, se ha urbanizado y endurecido áreas de las rondas hídricas, lo que reduce su capacidad para regular el agua y las hace propensas a inundaciones.

SALUD Y RIESGO POR INUNDACIÓN

La concentración de población influye en la exposición en la dimensión de salud. Las áreas más expuestas se encuentran en zonas urbanas.



SALUD Y EXPOSICIÓN A LA INUNDACIÓN

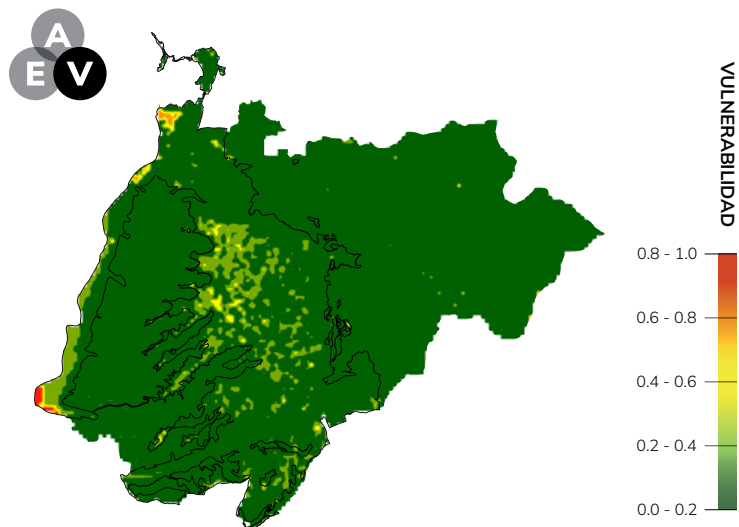


La concentración de población es la principal influencia en los análisis de exposición en la dimensión de salud, ya que a mayor densidad de población, es más probable que las enfermedades transmisibles estén más extendidas. Por lo tanto, las áreas más expuestas se encuentran en las zonas urbanas del territorio, especialmente en los centros locales y en las zonas residenciales.

Al considerar los diferentes componentes del riesgo, la población más expuesta a inundaciones y con condiciones demográficas y socioeconómicas que la hacen más vulnerable se encuentra en los barrios El Túnel, Café Madrid, Villas de San Ignacio y Río de Oro. Estos barrios están ubicados en la margen oriental del río de Oro, que es la principal fuente de amenaza de inundaciones en la ciudad. Como resultado, las personas que viven en estas zonas presentan riesgos de salud que van desde niveles medio a muy alto.

En el casco urbano, existen zonas focalizadas con un riesgo medio de inundación, principalmente debido a su exposición, ya que estas áreas tienen una alta densidad poblacional. Sin embargo, la baja vulnerabilidad y la ausencia de amenazas en estas zonas resultan en un nivel de riesgo medio. Para el resto del área de estudio, se presentan riesgos bajos o muy bajos en la dimensión de salud.

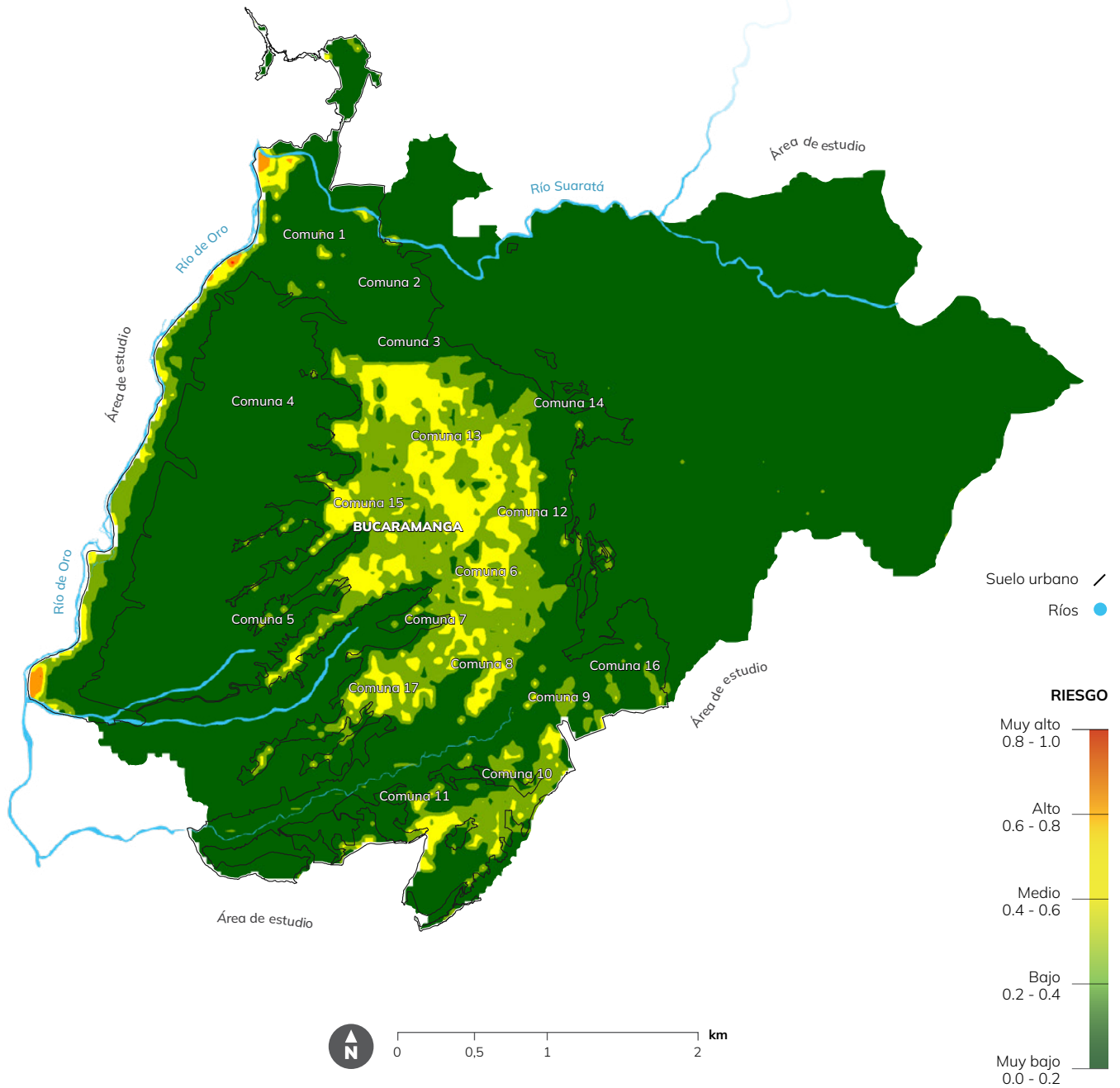
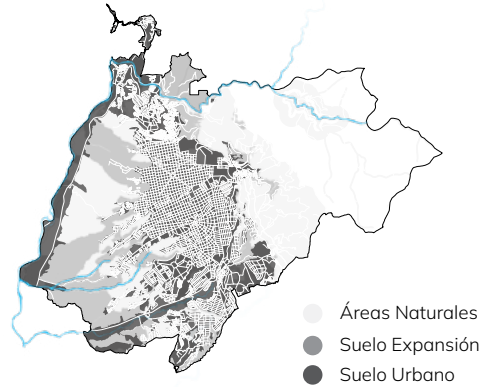
SALUD Y VULNERABILIDAD A LA INUNDACIÓN



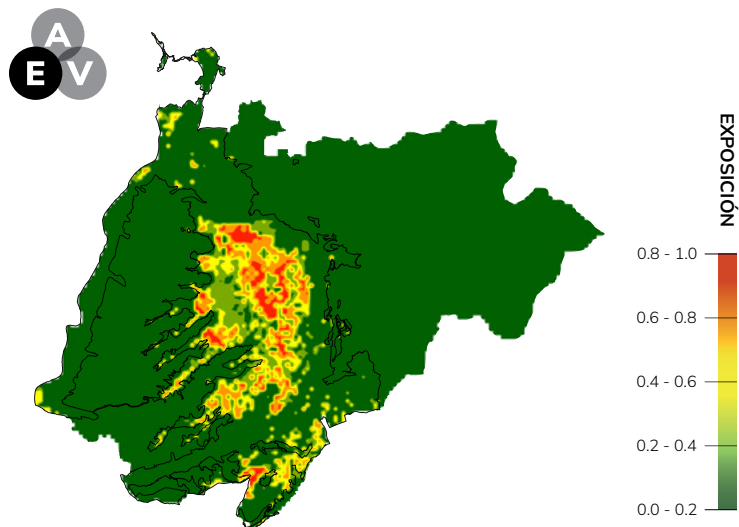
Esta dimensión se modeló en función de los grupos de edad, el IPM y la proximidad a centros de salud. Este último indicador genera que el perímetro de la zona de estudio tienda a tener mayor vulnerabilidad cuando este se encuentra en una zona de baja pendiente.

HÁBITAT HUMANO Y RIESGO POR INUNDACIÓN

La exposición en la dimensión del hábitat humano se concentra en las zonas urbanas, especialmente en el centro y el extremo sur.



HÁBITAT HUMANO Y EXPOSICIÓN A LA INUNDACIÓN

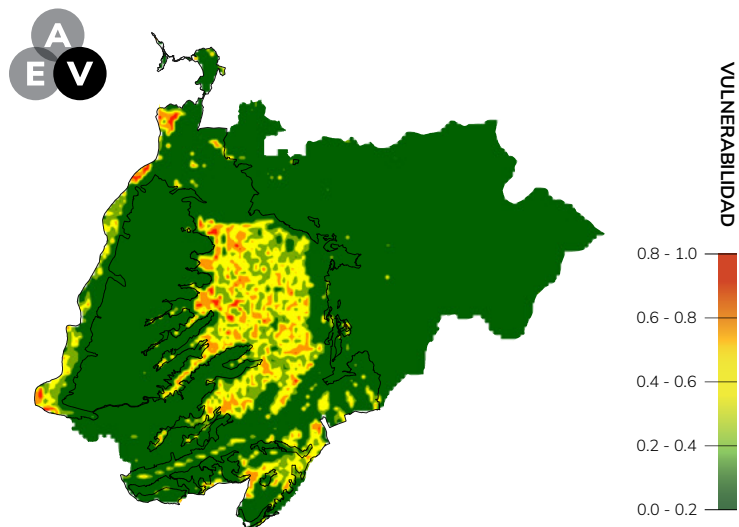


Para el análisis de exposición para la dimensión de hábitat humano, se observó la concentración de instalaciones educativas, culturales, recreativas y otros espacios públicos, además de la densidad habitacional. Al igual que las exposiciones relacionadas con la infraestructura y la salud, la exposición de esta dimensión se concentra en las zonas urbanizadas, especialmente en el centro y en el extremo sur.

La exposición de las viviendas y el espacio público se concentra en el casco urbano. Este sector, junto con los barrios ubicados en las márgenes del río de Oro, son vulnerables a las inundaciones debido a la topografía, la impermeabilidad del suelo y la falta de áreas verdes que promuevan la infiltración del agua. Aunque la amenaza en el casco urbano es bastante baja, se presenta un riesgo medio de inundaciones en algunos sectores, a diferencia de los asentamientos cercanos al río de Oro y al río Suratá, donde la amenaza es mucho mayor y las viviendas ubicadas en estos barrios (como Río de Oro II, Villas de San Ignacio, Café Madrid, El Túnel y Villa Helena II) tienen un riesgo alto de inundación.

Muchos de los asentamientos más vulnerables carecen de servicios públicos y tienen una mala gestión de residuos, que suelen ser arrojados a los cuerpos de agua. Esta gestión inadecuada de los residuos sólidos es otro factor que contribuye a los desbordamientos de quebradas y a la propagación de enfermedades.

HÁBITAT HUMANO Y VULNERABILIDAD A LA INUNDACIÓN



Este modelo pondera indicadores que incluyen el grado de permeabilidad del suelo, la pendiente del terreno y la caracterización socioeconómica. El rango de vulnerabilidad se concentra en las zonas urbanas, con una mayor variabilidad entre ellas. El aspecto socioeconómico tiene una gran influencia en el indicador, por lo que se puede inferir que en las zonas en rojo se encuentran poblaciones sensibles que no poseen suficientes recursos para responder a las inundaciones.



Riesgo por

ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

Son enfermedades infecciosas que se propagan a través de organismos vivos, conocidos como vectores, los cuales pueden transmitir patógenos. La mayoría de estos vectores son insectos que se infectan al ingerir bacterias, parásitos o virus, convirtiéndose en portadores infecciosos. Algunas de las enfermedades más comunes transmitidas por vectores son el dengue, el paludismo, la fiebre amarilla y el chikungunya. La distribución de estas enfermedades está influenciada por factores demográficos, medioambientales y sociales⁴.

AMENAZA POR ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

En cuanto a la amenaza asociada a enfermedades transmitidas por vectores, se realizó una caracterización mediante la modelación de la probabilidad de transmisión del dengue. Se seleccionó este modelo debido a que históricamente esta enfermedad ha tenido un mayor impacto en la salud de la población colombiana, y los

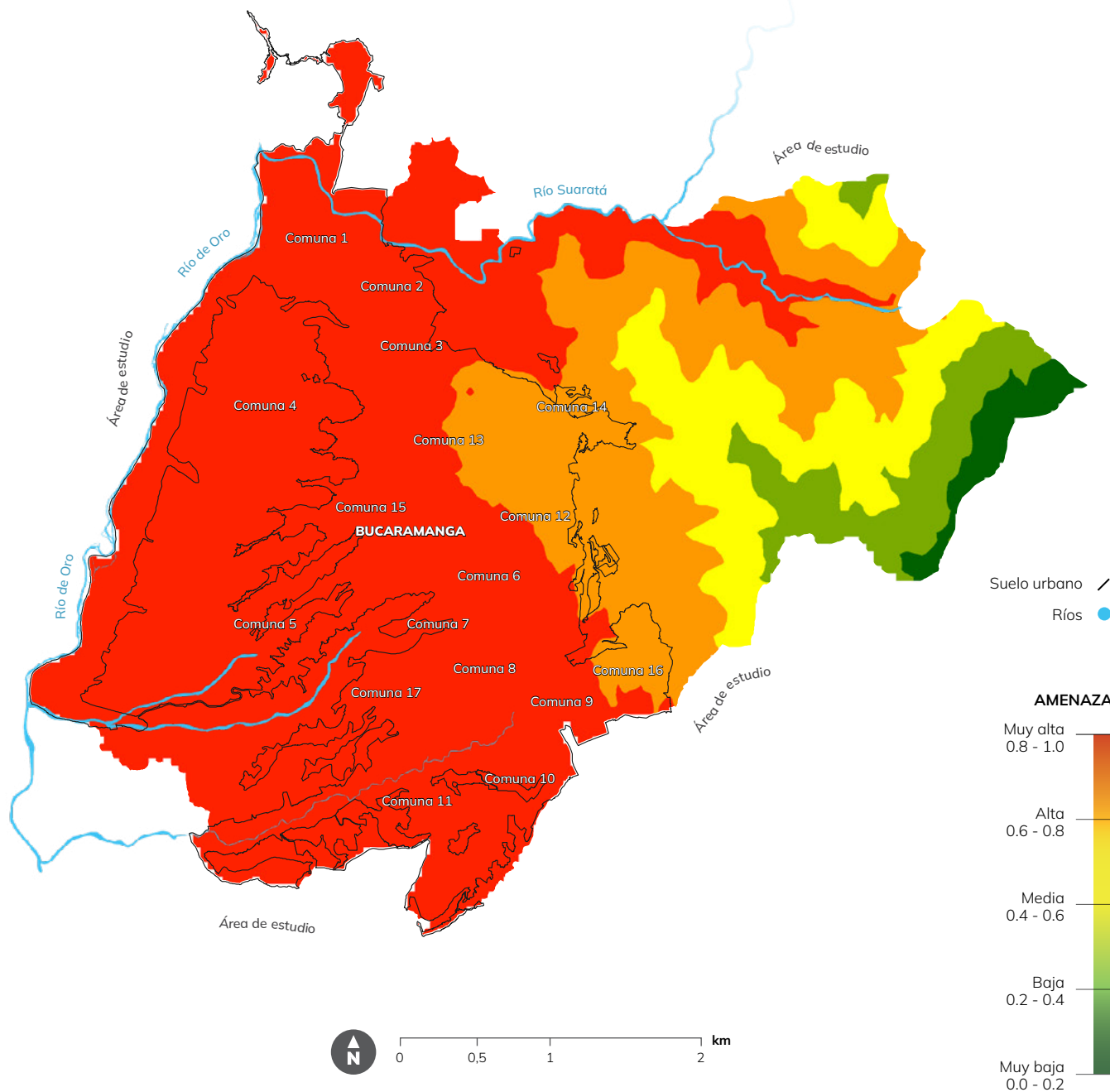
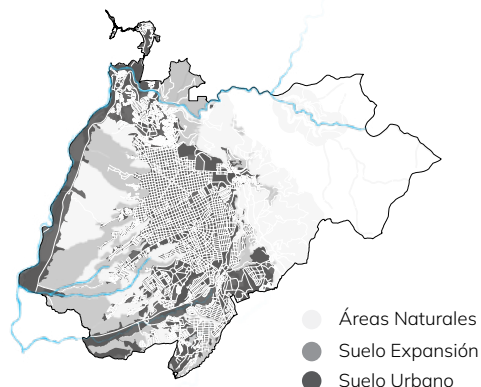
resultados obtenidos pueden extrapolarse para interpretar, en términos generales, la amenaza de otras enfermedades transmitidas por vectores.

Considerando el comportamiento de la temperatura media, la cual se modeló a partir de un gradiente altitudinal, se observa que las temperaturas más altas se presentan en la zona occidental y central del área de estudio, que abarca gran parte del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) y el casco urbano de la ciudad. Estas zonas presentan amenazas altas y muy altas, lo que aumenta la posibilidad de que la población más vulnerable contraiga estas enfermedades.

4. World Health Organization: WHO. (2020). Enfermedades transmitidas por vectores. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>

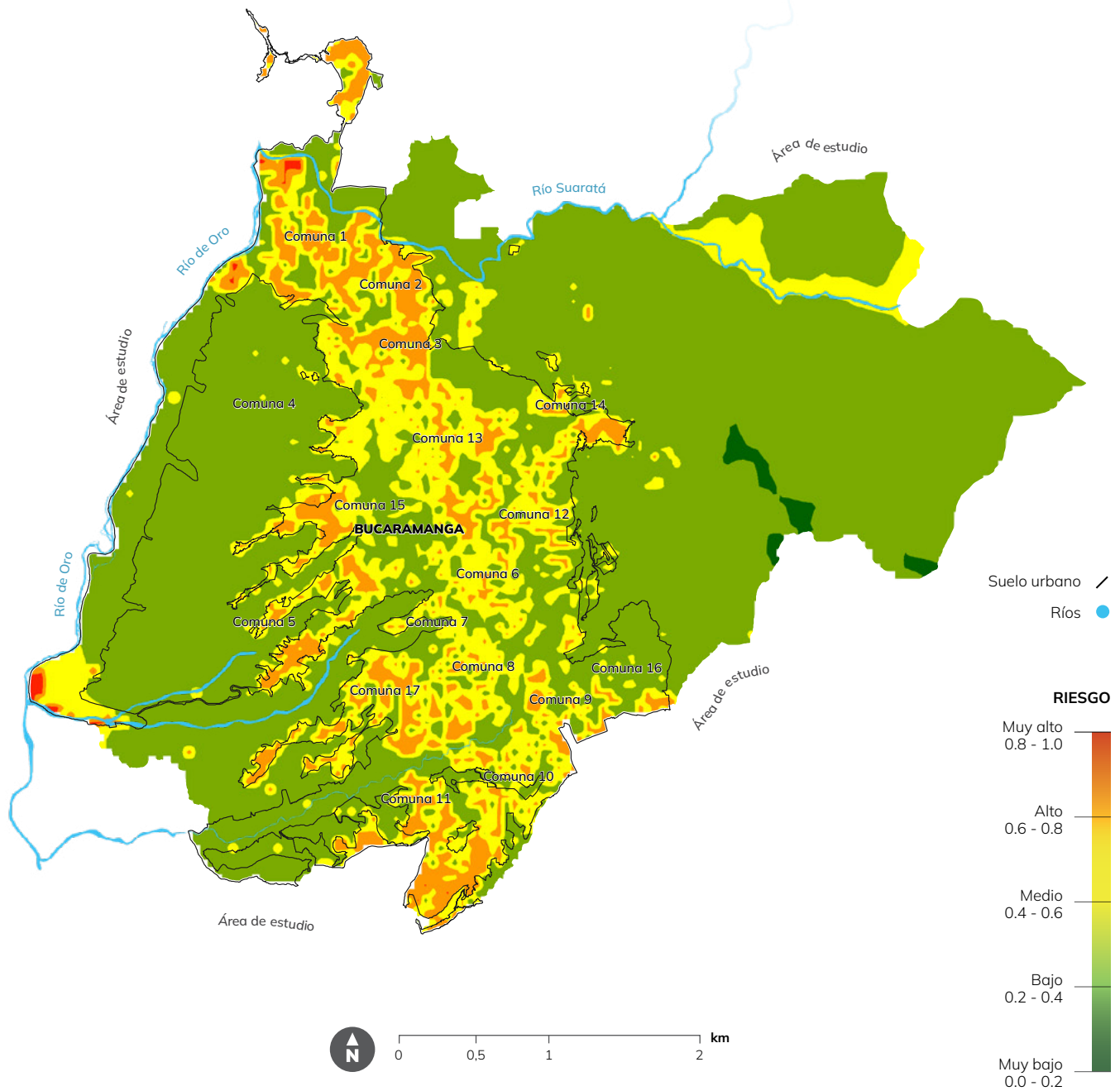
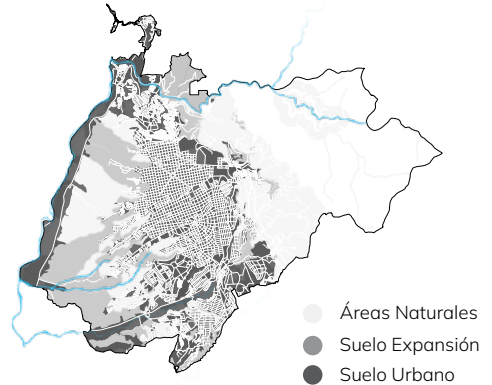


Se modeló la probabilidad de transmisión del dengue para evaluar la amenaza de enfermedades transmitidas por vectores. Las temperaturas más altas se concentran en la zona occidental y central, aumentando la amenaza en el DRMI y el casco urbano.

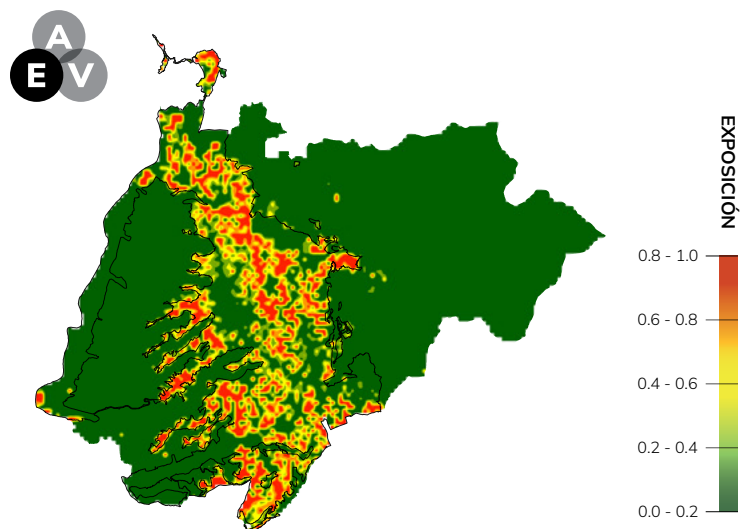


SALUD Y RIESGO POR ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

El comportamiento de la temperatura influye en la evaluación del riesgo, con áreas en el centro y occidente del área urbana mostrando niveles altos y muy altos de riesgo.



SALUD Y EXPOSICIÓN POR ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES



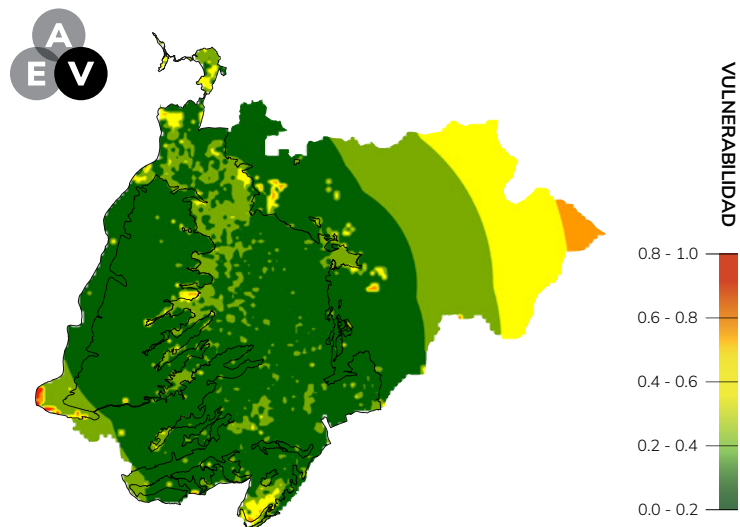
Este riesgo fue evaluado únicamente para la dimensión de salud, considerando la distribución de la población en el territorio. Las zonas con valores muy altos y altos de exposición son aquellas con una mayor densidad poblacional, donde existe un mayor riesgo de transmisión de enfermedades y proliferación de vectores.

Dentro de las enfermedades asociadas a vectores, el dengue es responsable de la mayor proporción de casos en el municipio, seguido de chikungunya, zika y leishmaniasis. Estas enfermedades están relacionadas con áreas donde la gestión del agua es deficiente y se producen estancamientos, principalmente en barrios marginales y algunos parques.

El comportamiento de la temperatura en el área de estudio es uno de los principales factores en la evaluación del riesgo asociado a enfermedades transmitidas por vectores. Existe un gradiente de temperatura que aumenta de oriente a occidente. Esto significa que la probabilidad de transmisión de dengue (enfermedad para la cual se modeló este riesgo) es alta en el oriente y muy alta en el centro y occidente del área urbana.

Entre la escarpa y los cerros orientales, la mayoría del casco urbano presenta un riesgo medio y alto, ya que allí se concentra la mayor parte de la población que es vulnerable debido a condiciones socioeconómicas y demográficas. Barrios como Río de Oro I y II, así como Café Madrid, alcanzan niveles de riesgo muy altos, principalmente debido a su ubicación en zonas de alta temperatura, su situación socioeconómica y en parte debido a la deficiencia en la prestación del servicio de alcantarillado.

SALUD Y VULNERABILIDAD POR ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES



La vulnerabilidad se evaluó a través de diferentes indicadores sociales. Las zonas más alejadas del suelo urbano se consideraron susceptibles al riesgo de ETPV. En el contexto urbano, se pueden identificar áreas muy cercanas a los límites con las zonas rurales que son altamente vulnerables al riesgo.



RIESGO CRÍTICO

El análisis de riesgo crítico permite observar la presencia de múltiples riesgos en un territorio, considerando la importancia de cada uno de ellos. Para la ciudad de Bucaramanga, se realizaron encuestas a expertos de diferentes oficinas de la alcaldía para determinar el nivel de importancia que asignan a cada uno de los riesgos evaluados, teniendo en cuenta la frecuencia y los impactos asociados.

Los resultados obtenidos muestran que el riesgo por movimientos de remoción en masa es el más relevante, pues debido a las características del relieve de la región, este fenómeno ha desencadenado múltiples desastres en diferentes dimensiones, por lo que se le asignó un peso del 46,5 %. En segundo lugar, se consideró el riesgo por inundaciones, con un peso del 40 %, que se presenta principalmente en las áreas cercanas a los ríos Oro y Suratá y en las zonas bajas de la escarpa. Finalmente, el riesgo por enfermedades transmitidas por vectores ocupó el tercer lugar, con un peso del 13,58 %, ya que este riesgo se encuentra localizado en zonas urbanas que presentan condiciones socioeconómicas precarias y falta de acceso al servicio de alcantarillado.

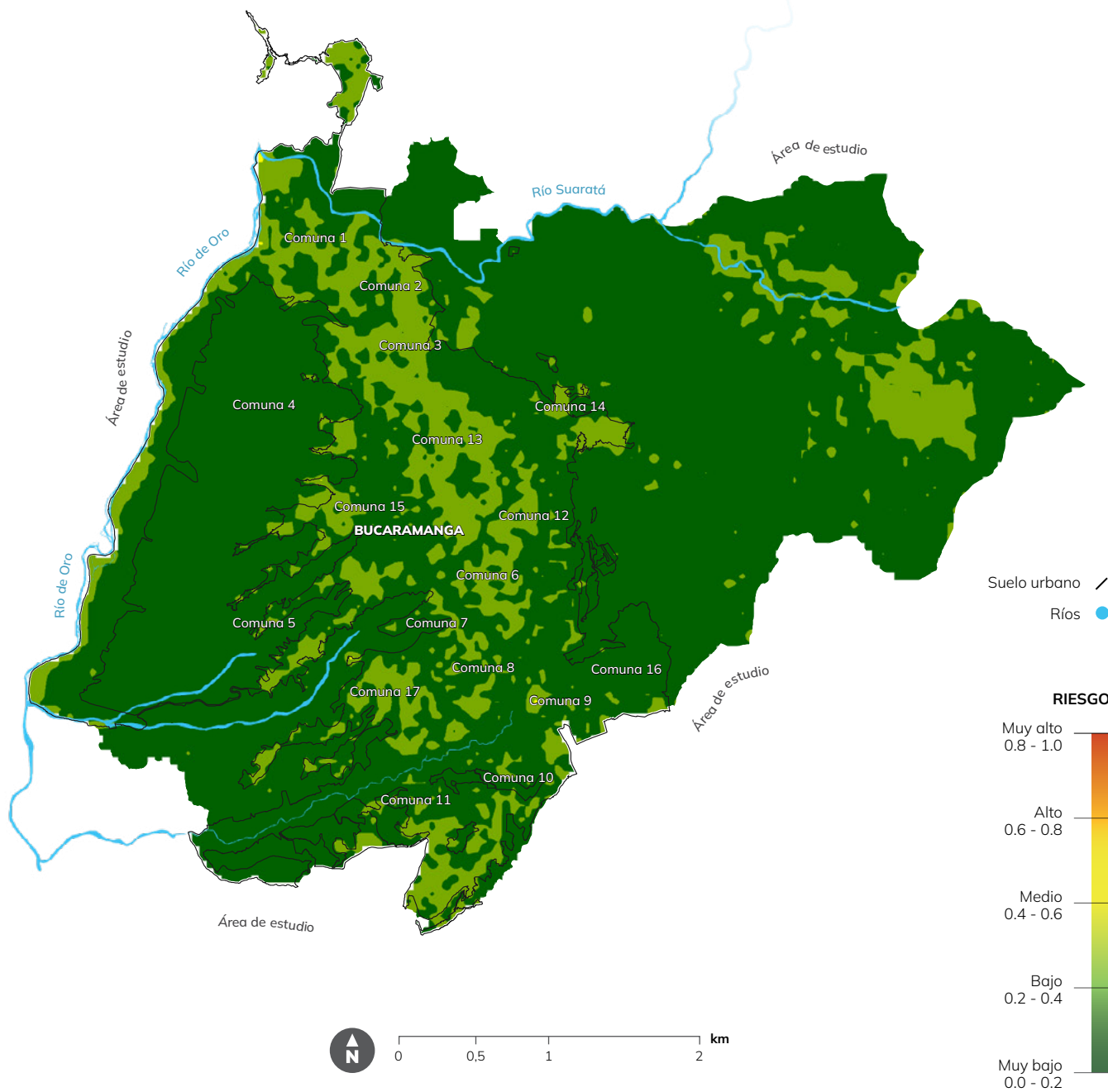
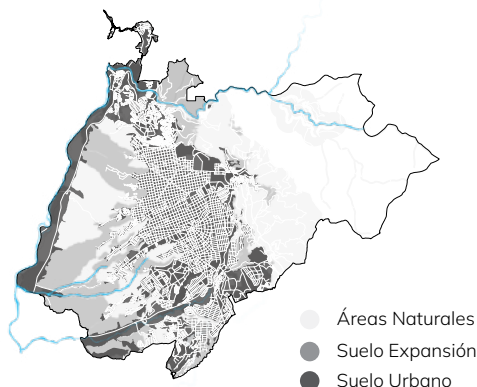
El patrón general de riesgo crítico en el municipio se asocia con niveles bajos y muy bajos. Esto se debe principalmente a que los dos riesgos más importantes (movimientos de remoción en masa e inundaciones) no se superponen espacialmente. Por lo tanto, las áreas que podrían tener niveles de riesgo más altos son aquellas donde

coinciden alguno de estos dos riesgos con las enfermedades transmitidas por vectores, o donde alguno de estos dos riesgos presenta valores críticos. El primer escenario se da en la zona urbana, donde coinciden el riesgo de inundaciones y las enfermedades transmitidas por vectores, como se mencionó anteriormente en los análisis. Esto ocurre en los barrios ubicados en las orillas de los ríos. En cuanto a las áreas que pueden verse afectadas por enfermedades transmitidas por vectores y movimientos de remoción en masa, esto ocurre en algunos barrios perimetrales de la escarpa y en el sector norte. Sin embargo, en ninguno de los dos casos, los riesgos individuales son suficientes para superar el umbral de riesgo crítico bajo. En el segundo escenario, en la zona rural, donde el riesgo de movimientos de remoción en masa es mayor y afecta las dimensiones relacionadas con la seguridad alimentaria y la biodiversidad, se puede observar su efecto en el riesgo crítico debido al peso significativo que reciben los fenómenos de remoción en masa.

El análisis de riesgo crítico en Montería destaca la inundación como el riesgo más relevante, seguido de la sequía y los movimientos de remoción en masa.

RIESGO CRÍTICO

Las áreas periurbanas y los humedales son especialmente vulnerables, mientras que las zonas elevadas tienen un riesgo bajo.



RIESGO CRÍTICO PARA LA DIMENSIÓN DE BIODIVERSIDAD

Para analizar el riesgo crítico en la dimensión de biodiversidad, se utilizó un enfoque basado en el área para identificar las coberturas naturales de interés ecosistémico presentes en el área de estudio que tienen mayores porcentajes de riesgo medio, alto y muy alto (Figura 7).

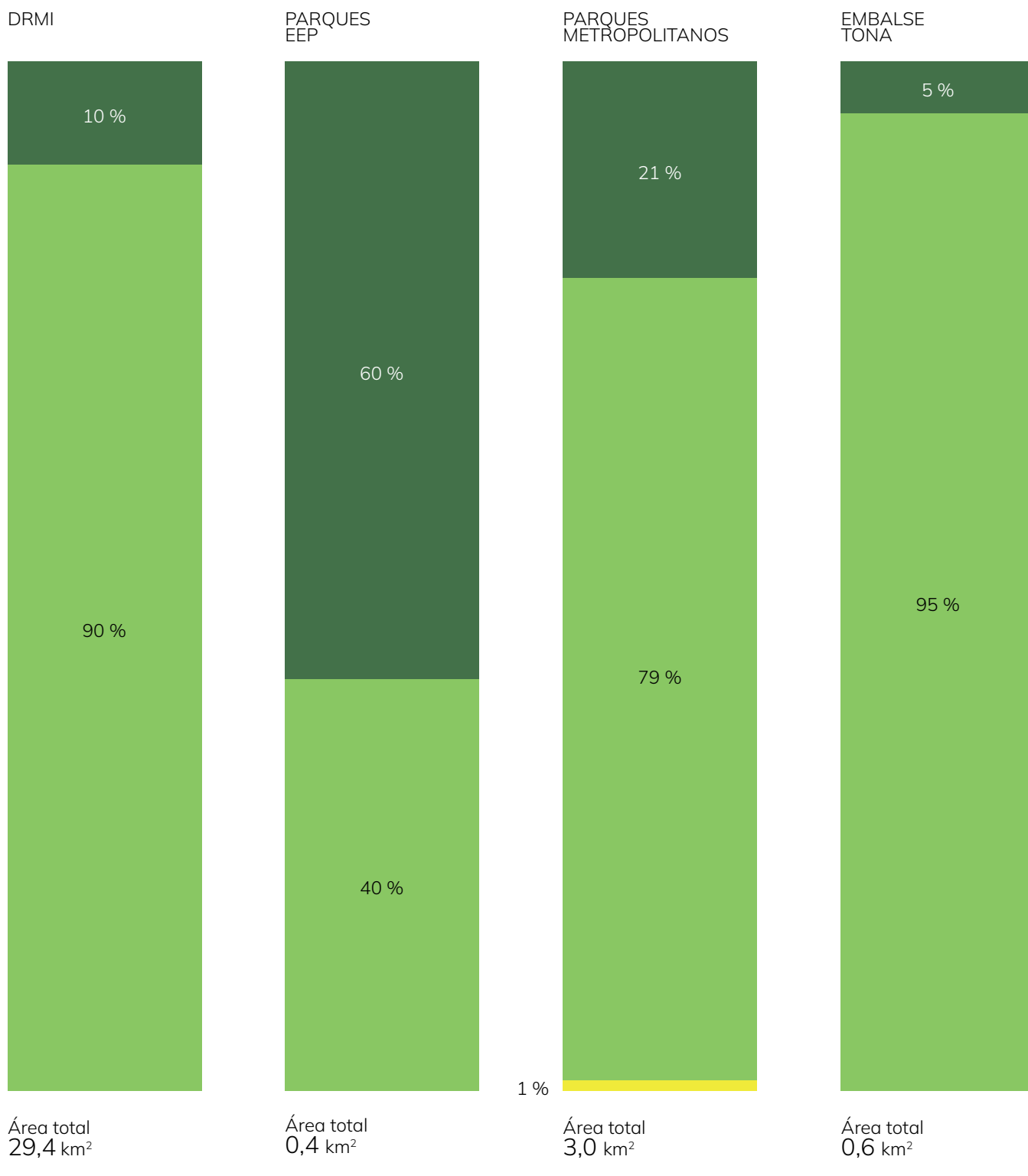
Mediante este análisis, se pudo identificar que no existe una superposición espacial de riesgos climáticos que implique dar mayor importancia al análisis integral de los riesgos en comparación con el análisis individual de cada uno de ellos. Como se mencionó anteriormente, los dos riesgos que afectan la biodiversidad (sin tener en cuenta las ETV en este análisis) no se superponen, ya que las inundaciones y las remociones en masa ocurren en zonas con relieves diferentes.

Teniendo en cuenta lo anterior, se observa que solo el 1 % del área de los parques metropolitanos presenta un riesgo medio, el cual puede ser objeto de análisis para su reducción y manejo. Esta área de riesgo medio se encuentra en un tramo de la zona norte del Parque Lineal Río de Oro y en una porción del Parque El Macho. En ambos casos, el riesgo que afecta a los parques es el de inundación.

Es importante destacar que un alto porcentaje del área de las zonas naturales del municipio se encuentra en riesgo bajo y que bajo condiciones que aumenten la ocurrencia de inundaciones y remociones en masa, o al considerar otros riesgos climáticos, existe una mayor probabilidad de que estas áreas puedan ser evaluadas con un riesgo crítico medio o incluso mayor.

Figura 7. Porcentaje de área que se encuentra en los diferentes niveles de riesgo crítico para la dimensión Biodiversidad de las áreas naturales.

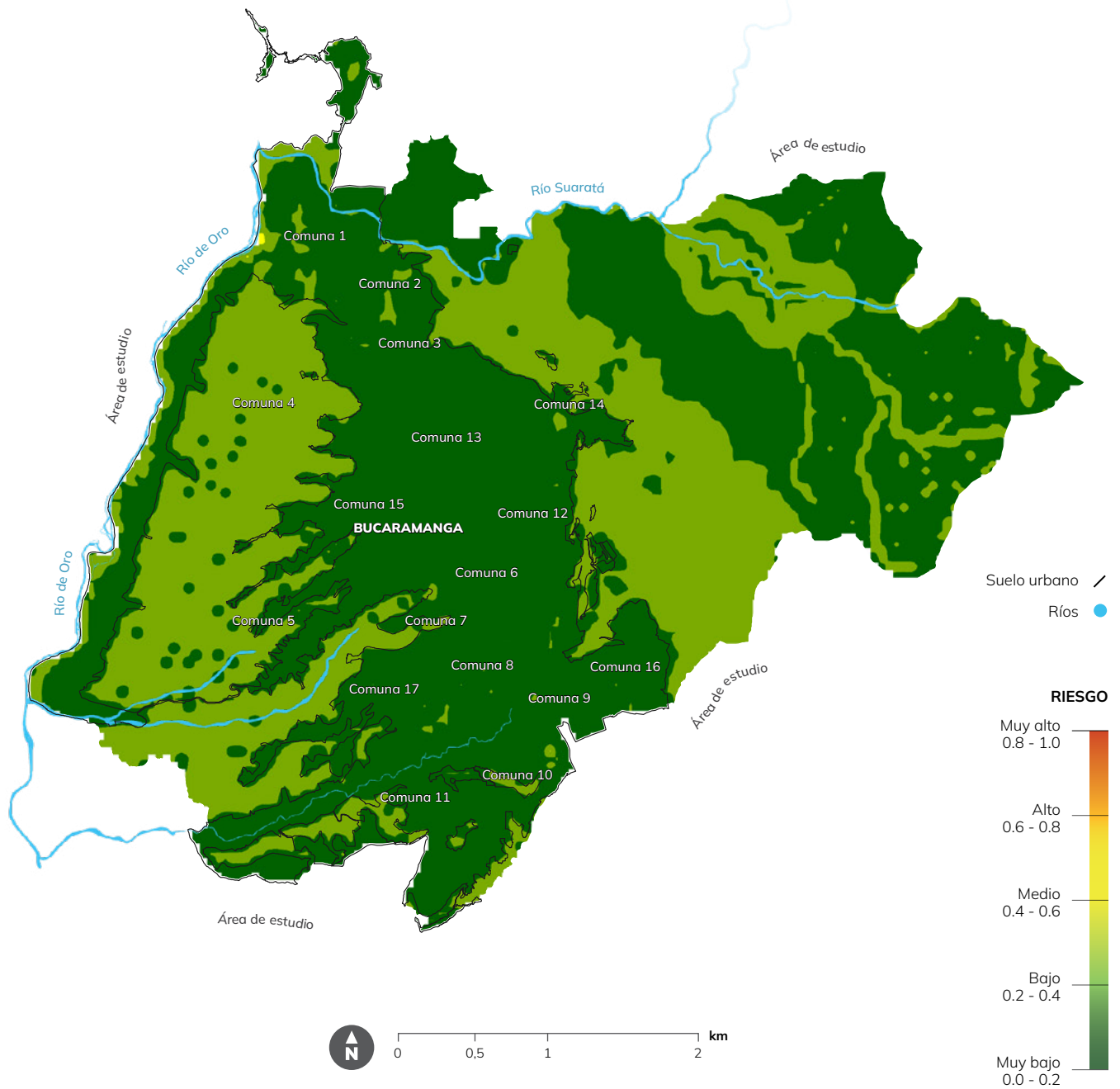
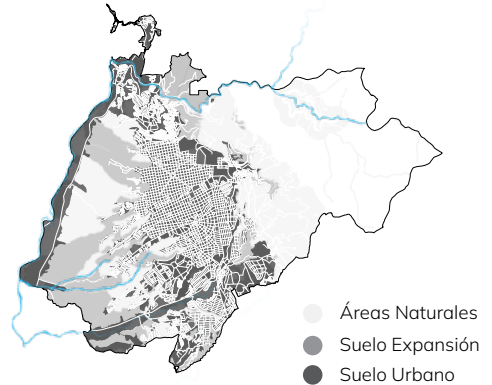
ÁREA NATURAL



Riesgo: Muy bajo ■ Bajo ■ Medio ■ Alto ■ Muy alto ■

BIODIVERSIDAD Y RIESGO CRÍTICO

El análisis de riesgo crítico en la biodiversidad de Montería revela que los humedales y el río Sinú son ecosistemas con alto riesgo debido a la superposición de inundaciones y sequías.







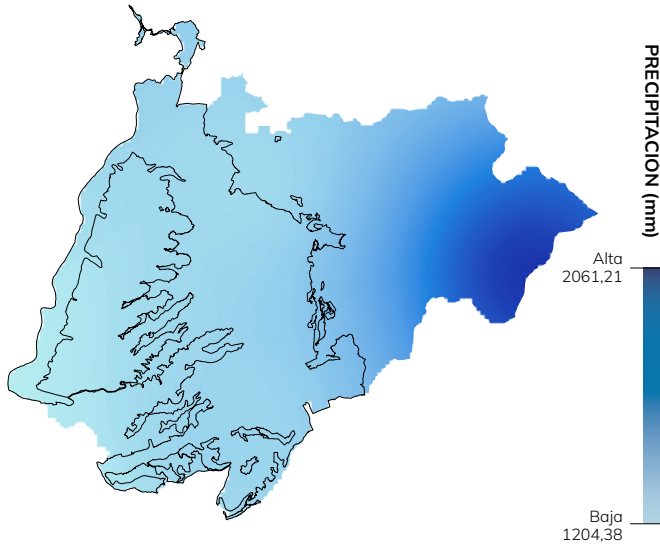
Escenarios de

CAMBIO CLIMÁTICO

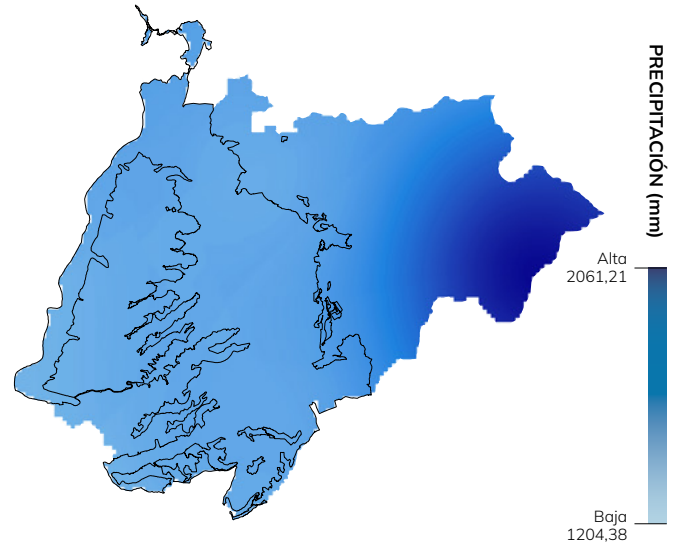
Para el análisis de los escenarios de cambio climático, se utilizó la serie de datos de la TCNCC (IDEAM, 2017), que abarca la climatología de 1975-2005 y se complementó con la climatología de 1980-2010. Los pronósticos se llevaron a cabo utilizando el escenario RCP 4.5, el cual ha demostrado tener una buena concordancia con los resultados de la TCNCC durante el primer periodo de pronóstico (2011-2040). En este estudio, se combinaron los horizontes de la TCNCC y se generó un único pronóstico de la climatología para el año 2100.

PRECIPITACIÓN

1975 - 2005



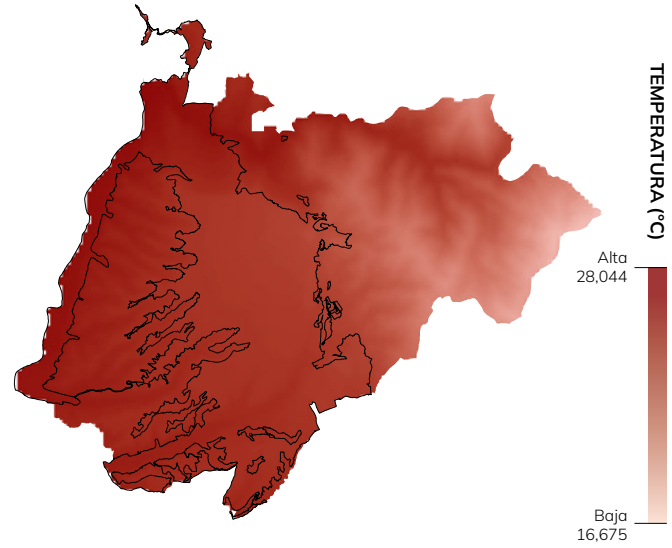
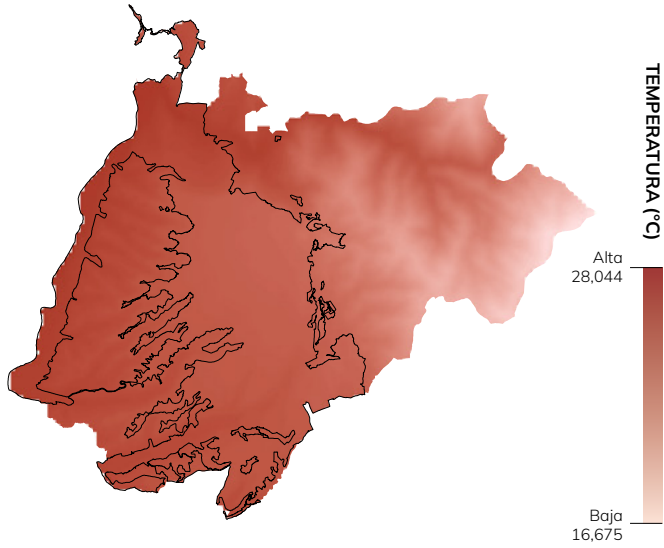
RCP 4.5 - 2100



TEMPERATURA MEDIA

1975 - 2005

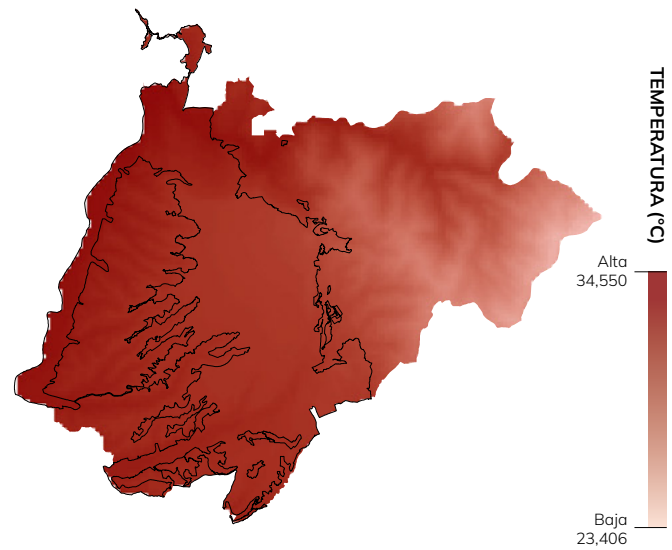
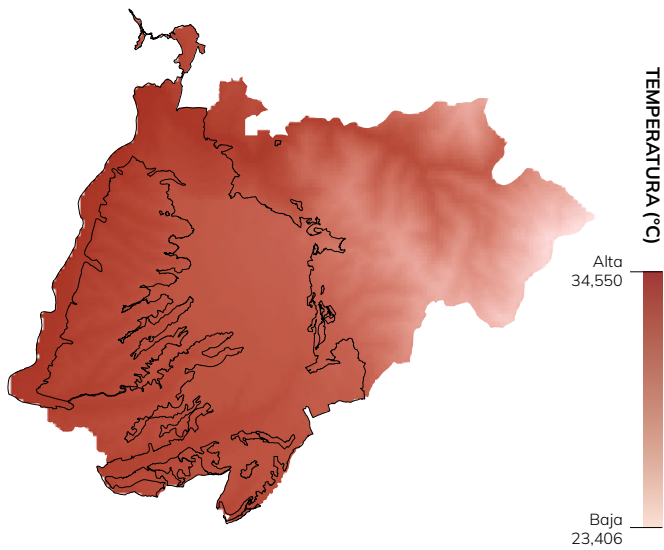
RCP 4.5 - 2100



TEMPERATURA MÁXIMA

1975 - 2005

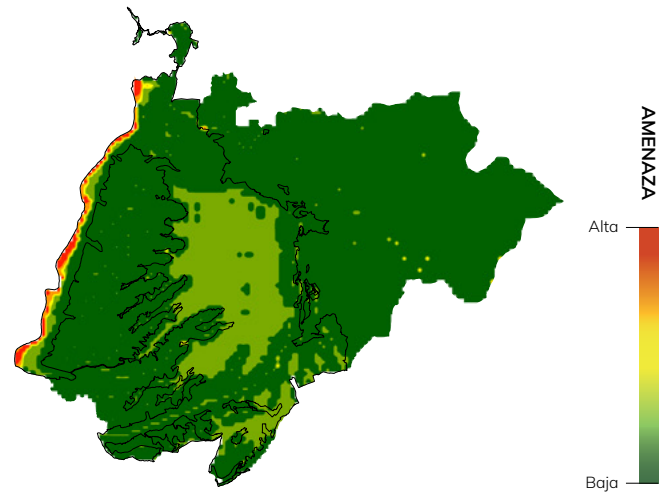
RCP 4.5 - 2100



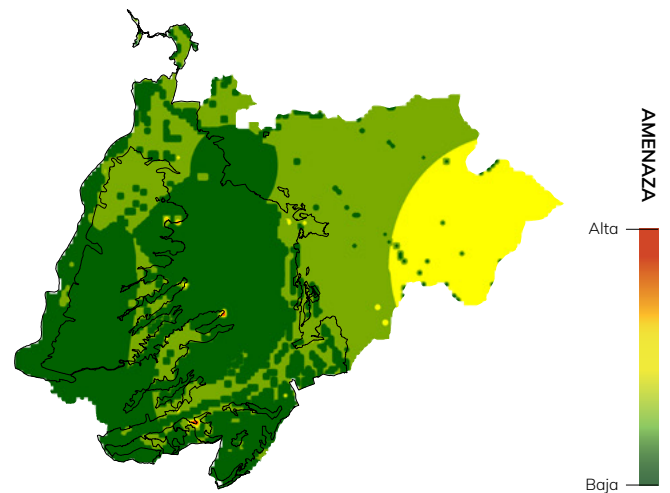
CAMBIO EN EL RIESGO POR CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo con la formulación del modelo de riesgo, se incorporaron los escenarios de cambio climático mediante la actualización de los indicadores de amenaza, considerando los cambios en la precipitación, ya que esta es la principal variable climática asociada a los riesgos evaluados. Para proyectar el comportamiento de la precipitación, se utilizó el escenario RCP 4.5, que fue modelado en el presente capítulo. Los demás indicadores se mantuvieron constantes para la proyección del riesgo.

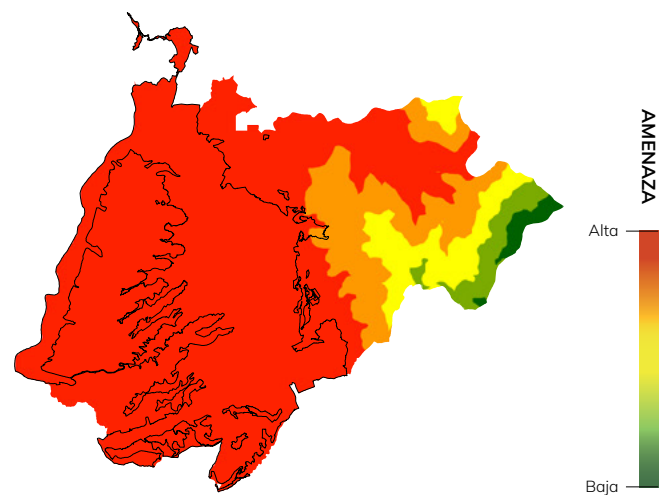
AMENAZA POR INUNDACIÓN BAJO EL ESCENARIO RCP 4.5 PARA EL HORIZONTE 2001



AMENAZA POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA BAJO EL ESCENARIO RCP 4.5 PARA EL HORIZONTE 2001



AMENAZA POR ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES BAJO EL ESCENARIO RCP 4.5 PARA EL HORIZONTE 2001



RIESGO CRÍTICO

Teniendo en cuenta que bajo el escenario RCP 4.5 la precipitación en Bucaramanga puede incrementar aproximadamente entre 150 y 215 mm para el horizonte temporal 2100, se observa que en la mayor parte del casco urbano y en las zonas rurales al oriente del municipio, el riesgo crítico multidimensional aumentará entre un 0-15 %. Por otra parte, las zonas del DRMI (Distrito de Manejo de Riesgo de Inundación) en su mayoría presentarán incrementos entre un 15-30 %. Estos incrementos se deben al efecto de la precipitación sobre el modelo de riesgo por

inundación y movimientos de remoción en masa, y al aumento de temperatura que aumentará la probabilidad de transmisión de enfermedades transmitidas por vectores.

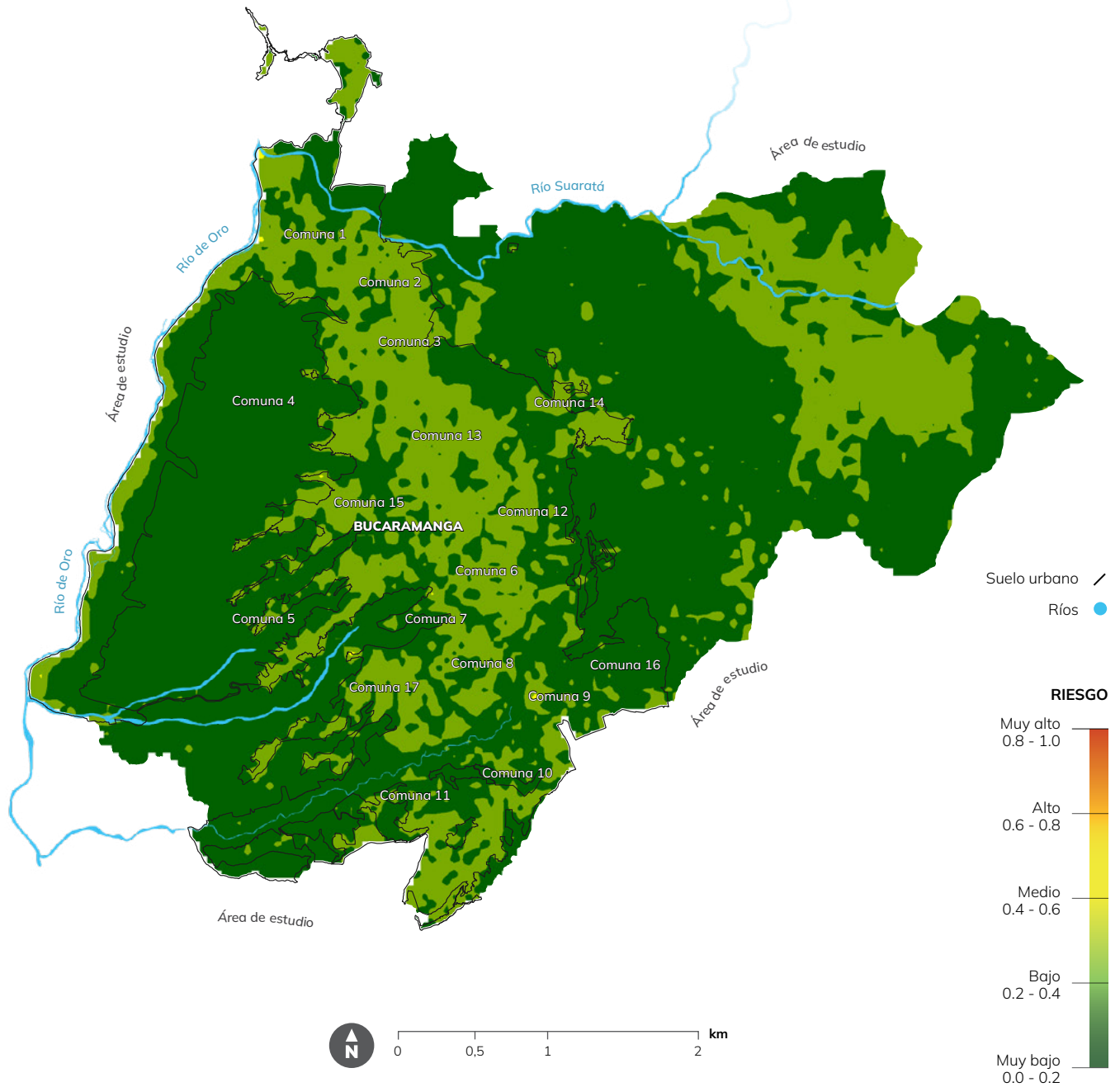
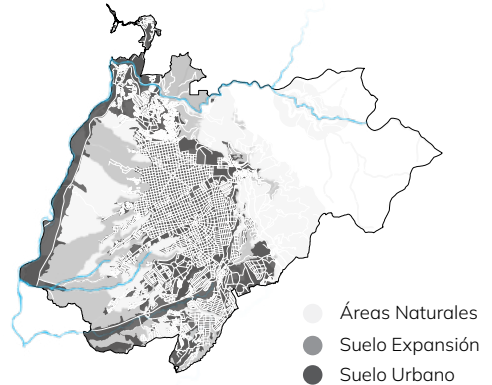
En cuanto al cambio en el riesgo crítico para la dimensión de biodiversidad, el DRMI, que representa el área de mayor importancia ecológica, podrá experimentar un incremento en el riesgo entre un 0-15 %. Este incremento estará asociado principalmente al aumento en la probabilidad de movimientos de remoción en masa, tanto por deslizamientos como por flujos.



RCP45-2100

RIESGO CRÍTICO

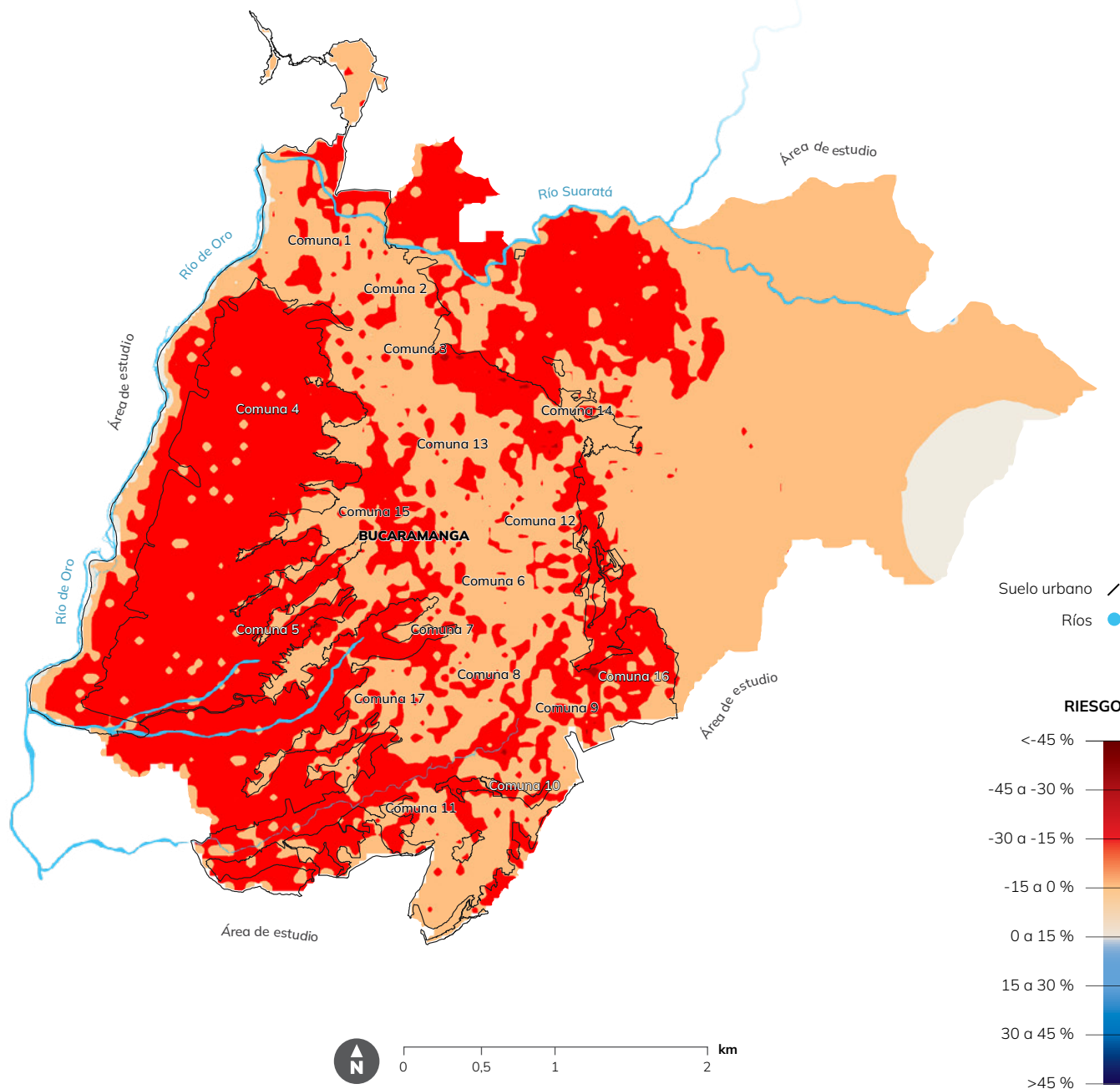
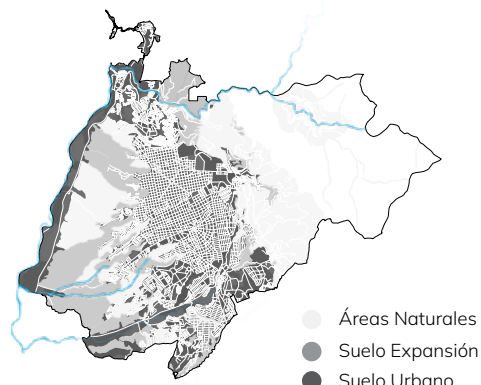
El DRMI de Bucaramanga experimentará incrementos de riesgo entre 15-30 % debido a la precipitación y movimientos en masa. Estos efectos se deben al escenario RCP 4.5.



Cambio climático

RIESGO CRÍTICO

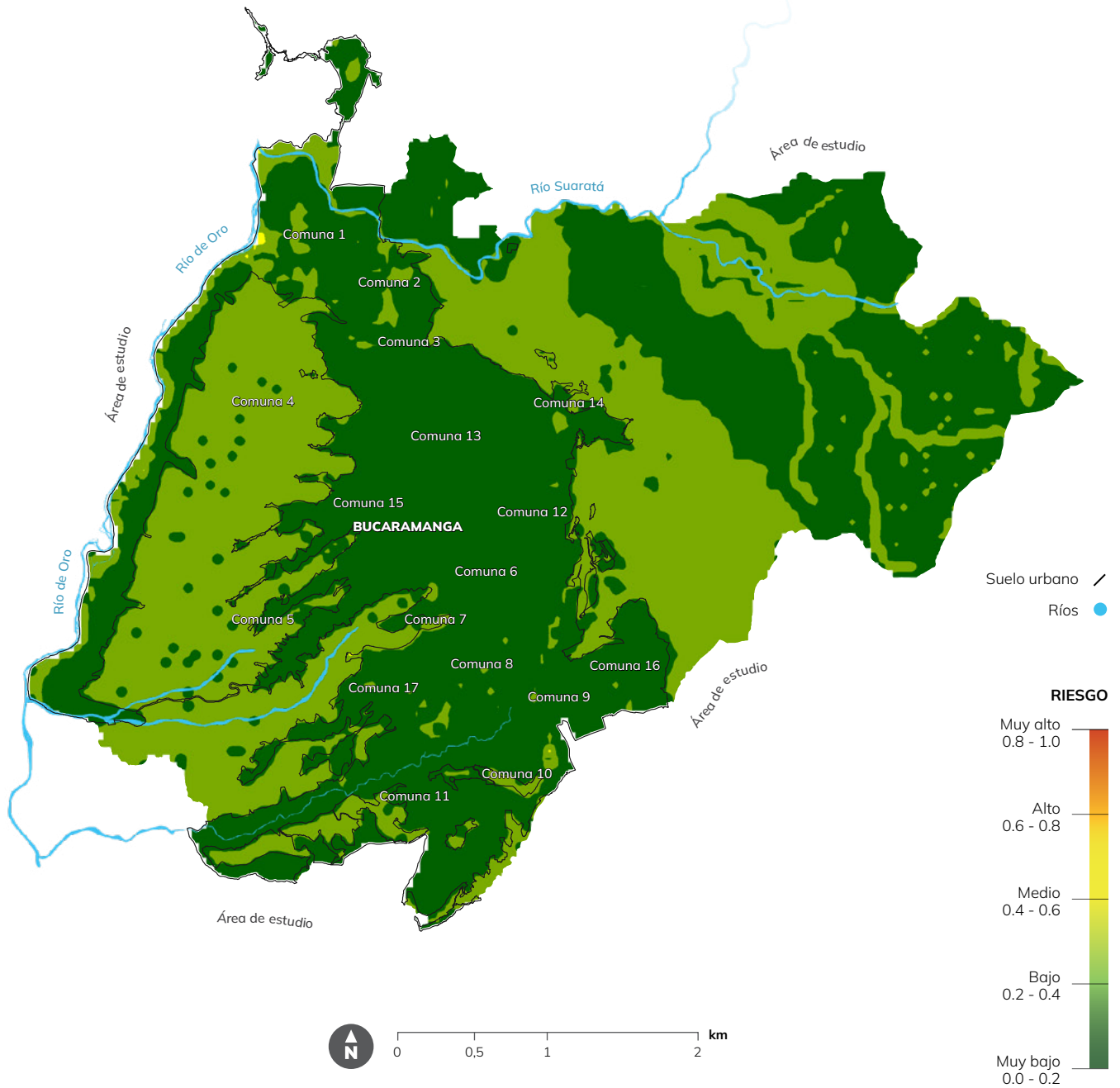
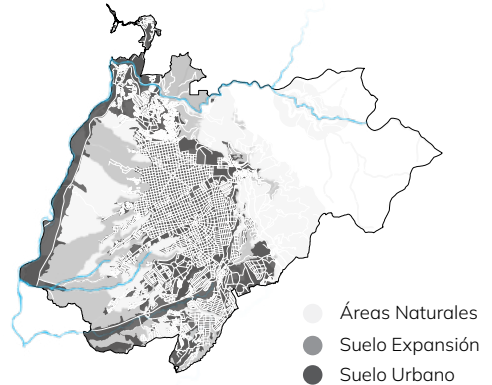
Bajo el escenario RCP 4.5, se prevé un aumento de 150-215 mm en la precipitación de Bucaramanga para 2100. Esto incrementará el riesgo crítico multidimensional en el casco urbano y las zonas rurales.



RCP45-2100

RIESGO CRÍTICO Y BIODIVERSIDAD

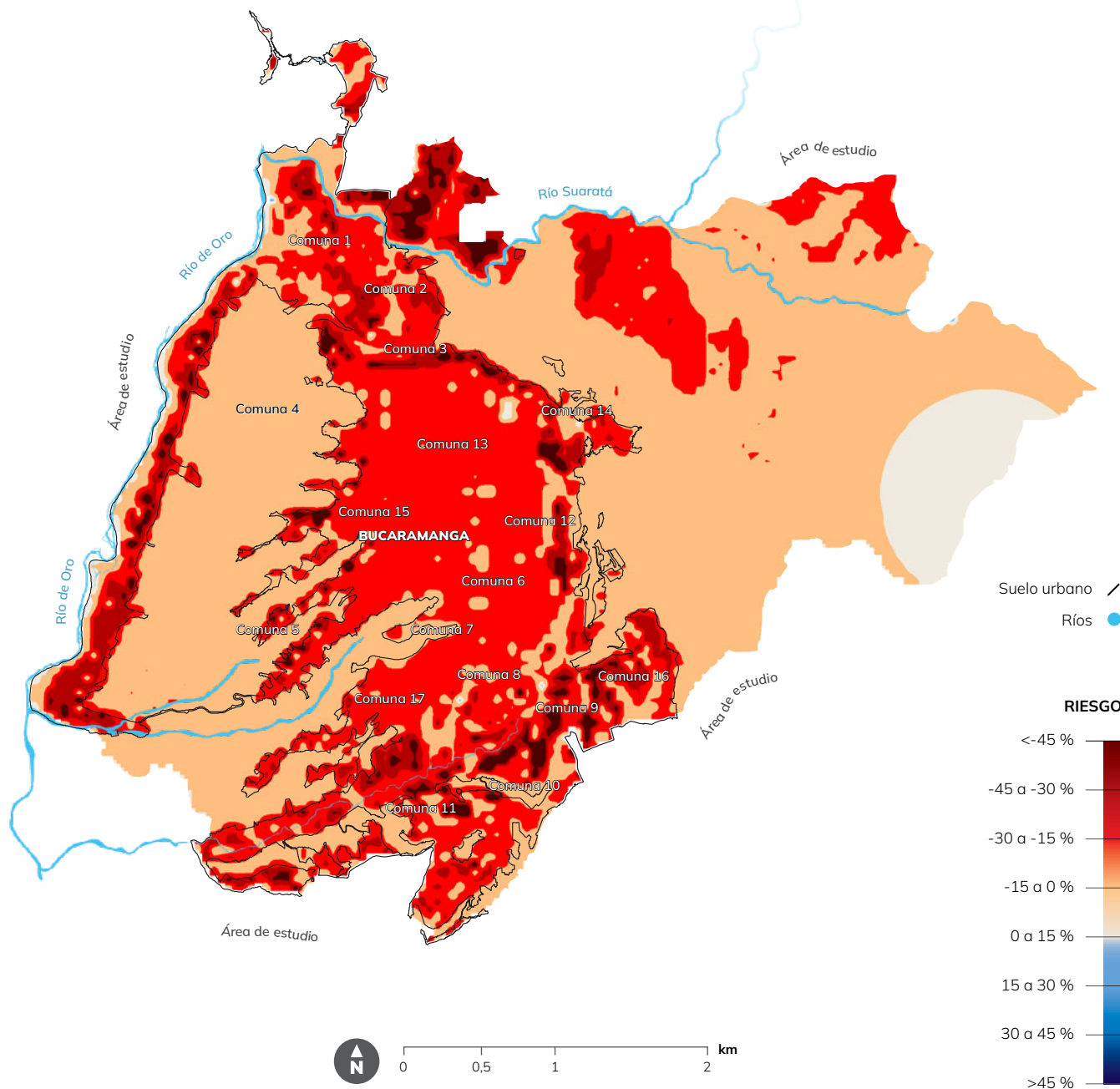
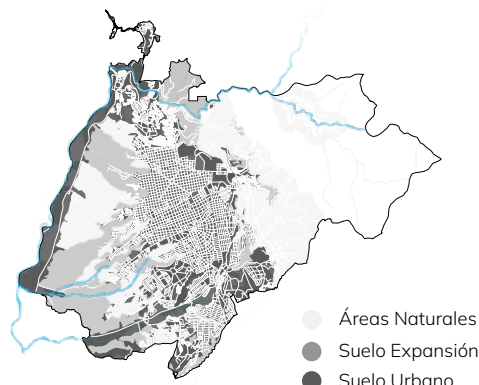
El DRMI de Bucaramanga, área de gran importancia ecológica, enfrentará un incremento de riesgo de 0-15 % debido a la probabilidad de movimientos de remoción en masa.



Cambio climático

RIESGO CRÍTICO Y BIODIVERSIDAD

El aumento de la precipitación previsto bajo RCP 4.5 generará incrementos del riesgo crítico multidimensional en el casco urbano y zonas rurales al oriente de Bucaramanga.





Análisis de índices de

CAMBIO CLIMÁTICO

ÍNDICES ASOCIADOS A INUNDACIONES

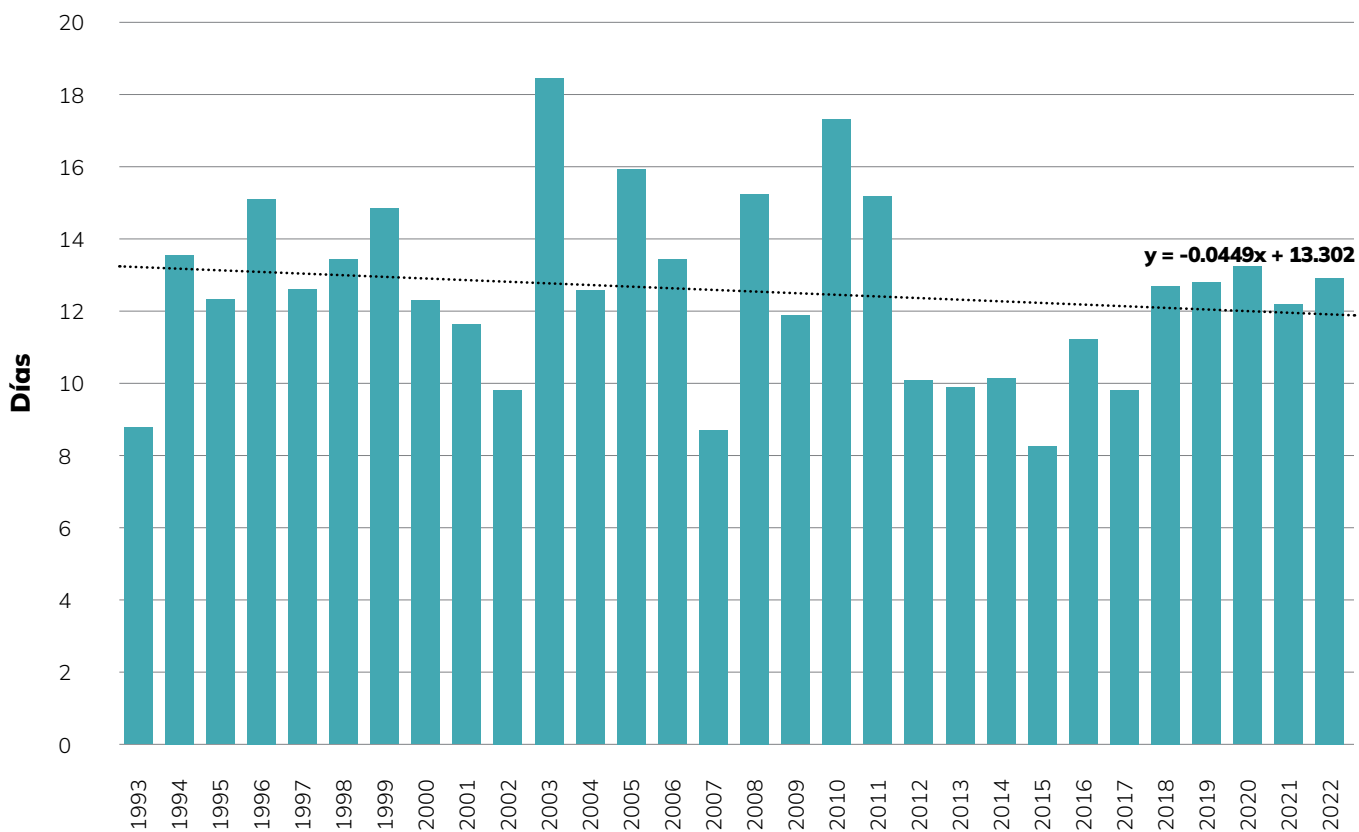
Al realizar el análisis cartográfico de los índices R25 y R95p, se observa que los eventos de precipitación intensa se concentran con mayor frecuencia en la zona oriental del área de estudio, donde se encuentran los Cerros Orientales de la ciudad. En esta misma zona se presentan los eventos de precipitación de mayor magnitud. En el resto de la ciudad, se registran eventos de precipitación más moderados y hacia el suroccidente la frecuencia de estos eventos tiende a disminuir.

En cuanto a la tendencia de los índices, se puede ver que, en las últimas décadas, a pesar de las fluctuaciones en el valor del R25, en promedio no muestra una tendencia definida, por lo que no se espera un incremento en la frecuencia de eventos de

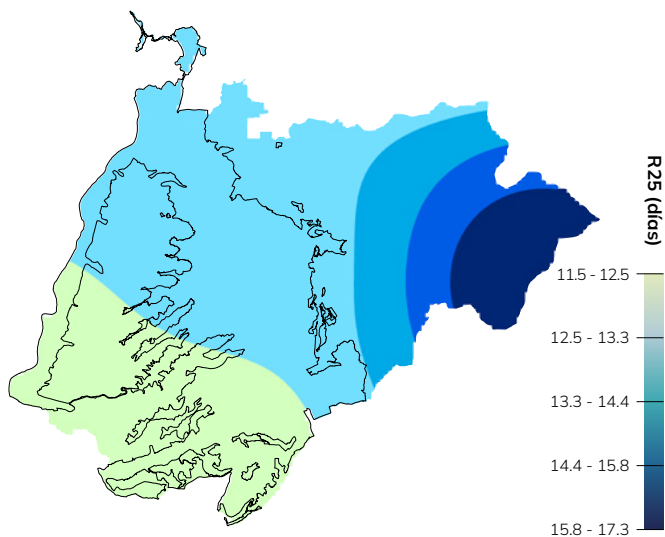
precipitación intensos. Por otra parte, al analizar la tendencia del R95p, se observa que en promedio la región experimentará una disminución en la cantidad de lluvia acumulada en los días más lluviosos del año. Este comportamiento es evidente en el casco urbano y la escarpa occidental, donde se espera una disminución en la frecuencia de inundaciones asociadas a fuertes precipitaciones. Sin embargo, en la zona oriental del municipio, incluyendo el embalse del Tona, se puede esperar un incremento anual de hasta 2 mm. Es importante tener en cuenta estas condiciones para el manejo del embalse y para los asentamientos rurales que puedan verse afectados al estar ubicados en valles o zonas de acumulación de la escorrentía.

NÚMERO DE DÍAS CON PRECIPITACIÓN MUY INTENSA (R25)

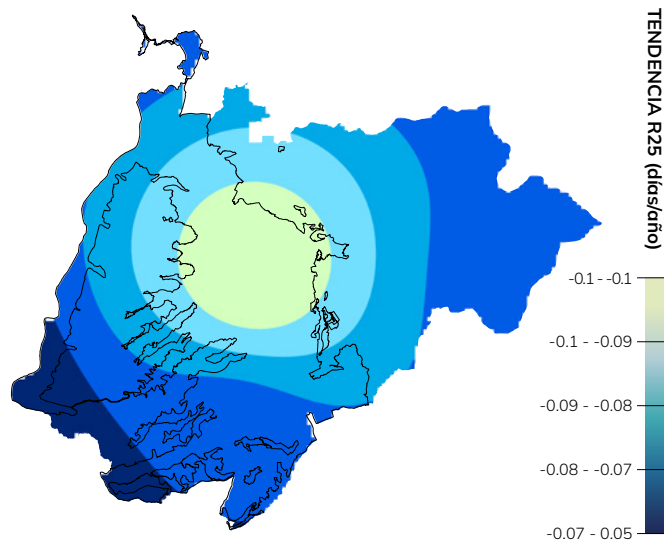
Figura 8. Tendencia de R25.



DÍAS DE LLUVIAS MUY INTENSAS

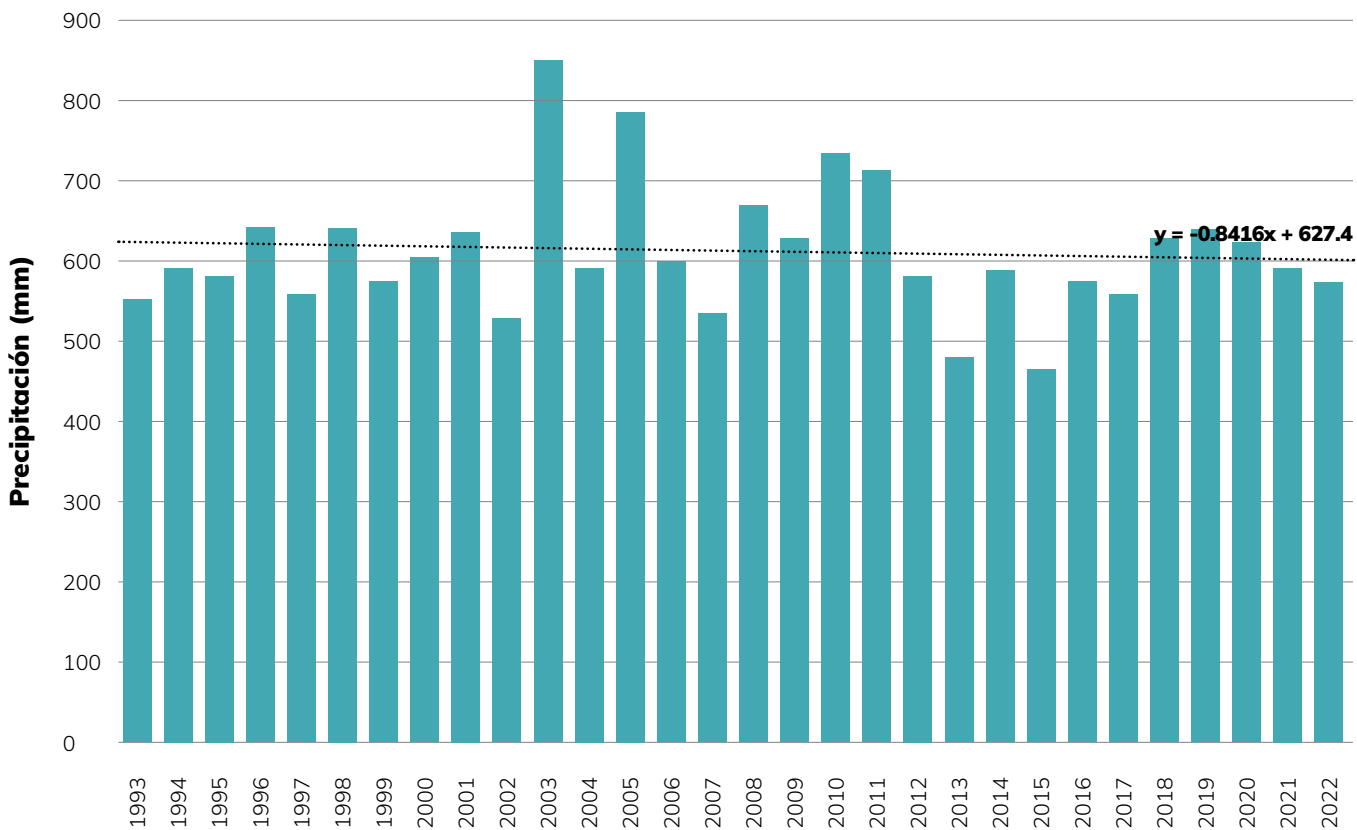


TENDENCIA DE R25 (1993-2022)

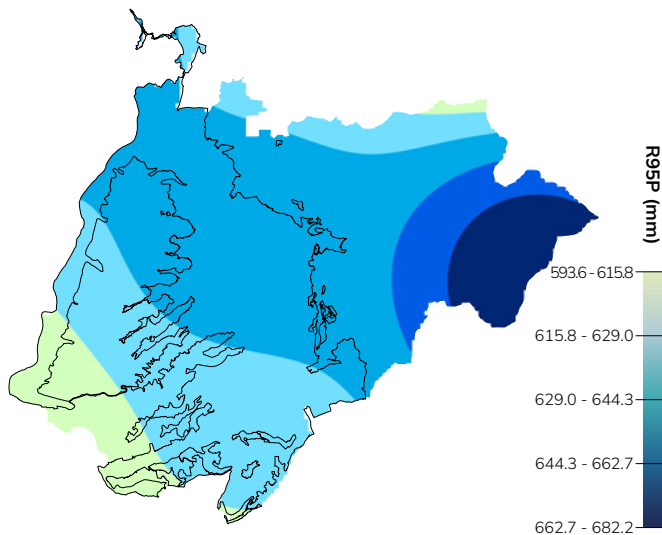


DÍAS MUY HÚMEDOS (R95P)

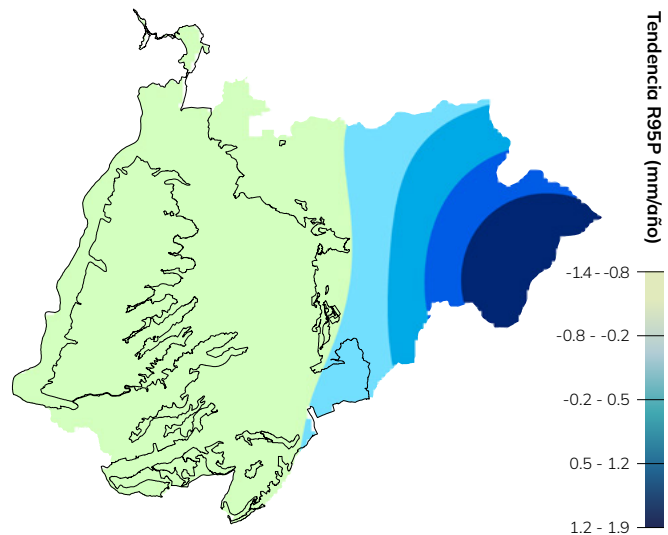
Figura 9. Tendencia de R95P.



DÍAS MUY HÚMEDOS



TENDENCIA DE R95P (1993-2022)



INDICADORES ASOCIADOS A MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

La cartografía de los índices CWD y R5D revela que la zona oriental de la ciudad experimenta los periodos de lluvia más prolongados, llegando a alcanzar hasta 13 días consecutivos. De manera similar, es en la zona de los Cerros Orientales donde se registra la mayor cantidad de precipitación en periodos de 5 días consecutivos, y esta cantidad disminuye gradualmente hacia el occidente. Con base en lo anterior, se puede afirmar que la zona oriental del municipio presenta las condiciones más propicias para la ocurrencia de movimientos de remoción en masa, debido al comportamiento de la precipitación y al relieve caracterizado

por fuertes pendientes, lo cual podría afectar a los asentamientos rurales ubicados en zonas de ladera.

El número de días consecutivos de lluvia muestra una leve tendencia al incremento, especialmente hacia el oriente y el sur, aunque la diferencia con el comportamiento del resto de la ciudad no es significativa. Por otro lado, la cantidad de lluvia concentrada en periodos prolongados muestra una tendencia más marcada al incremento en los próximos años. Nuevamente, es la zona oriental la que experimentará los mayores aumentos, llegando a incrementos anuales de hasta 1,28 mm.

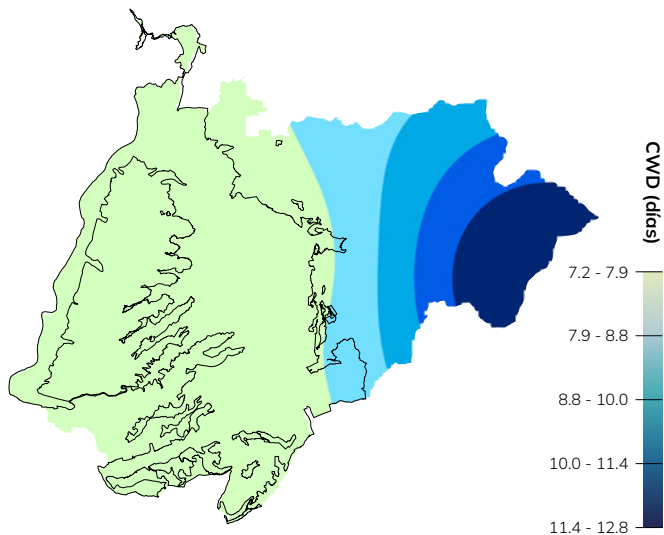


DÍAS HÚMEDOS CONSECUTIVOS (CWD)

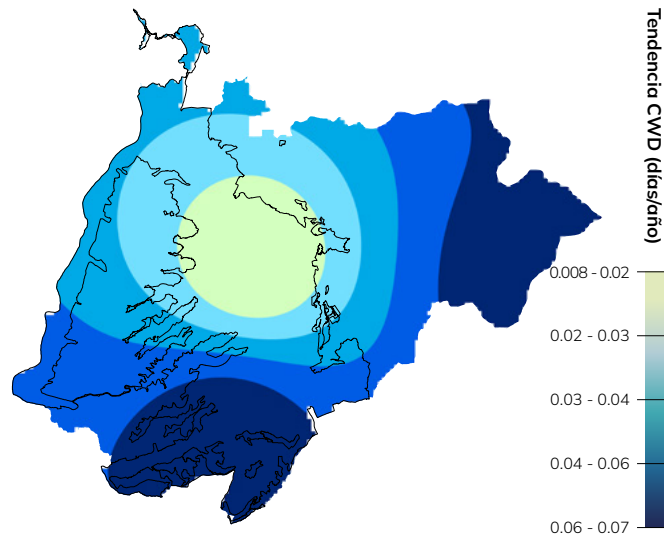
Figura 10. Tendencia de CWD.



DÍAS CONSECUTIVOS DE LLUVIA

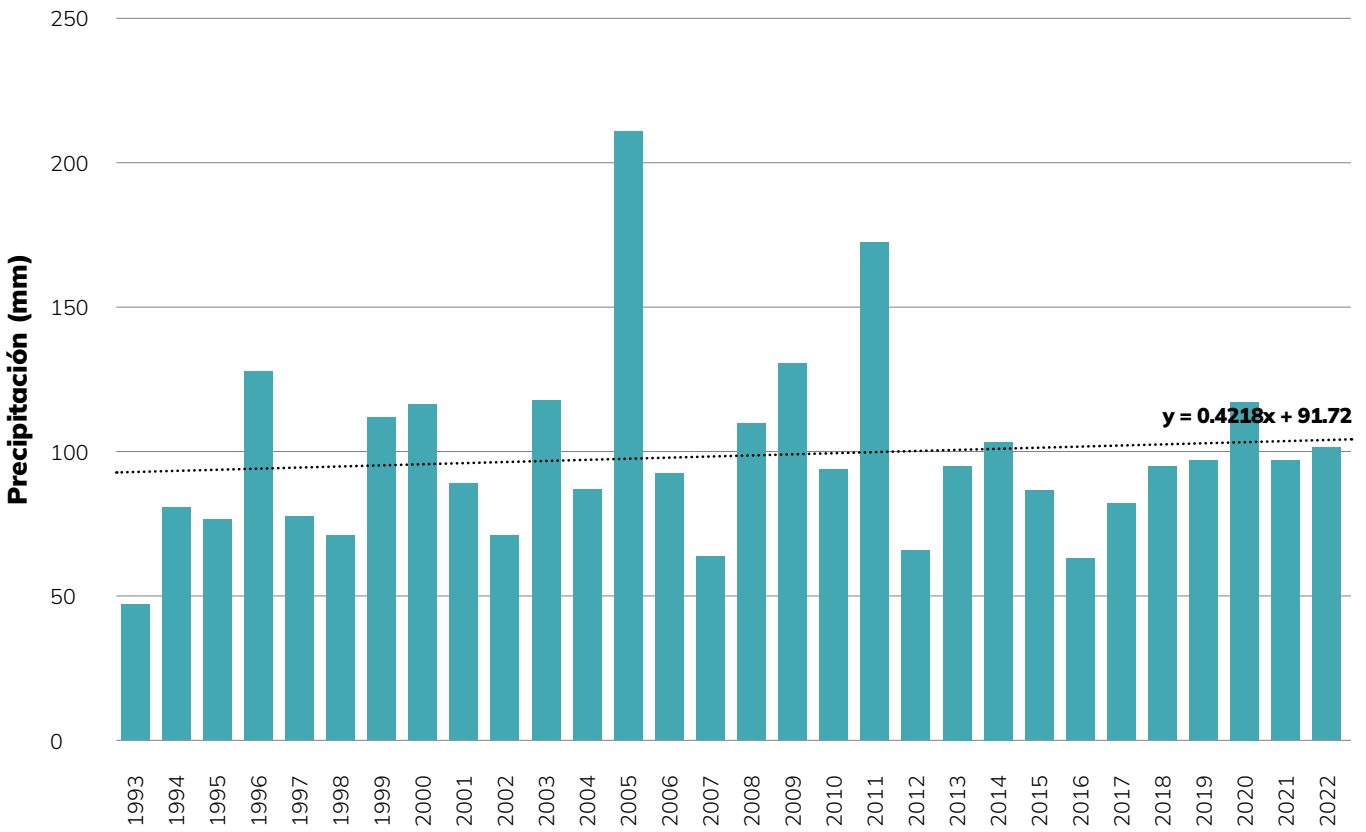


TENDENCIA CWD (1993-2022)

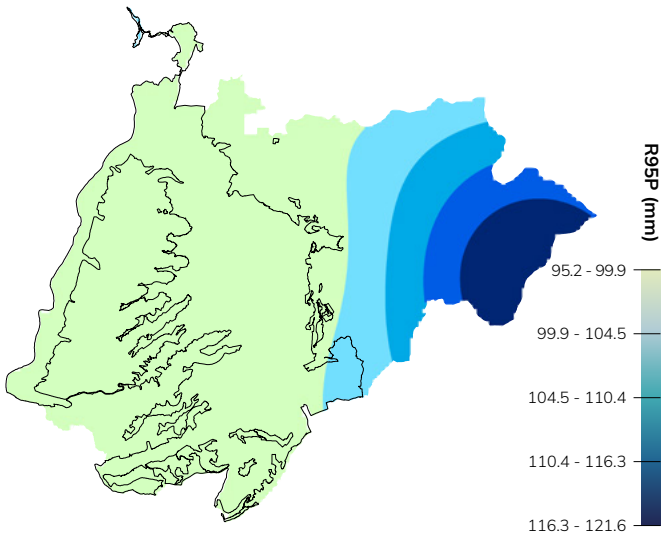


CANTIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN EN 5 DÍAS (R5D)

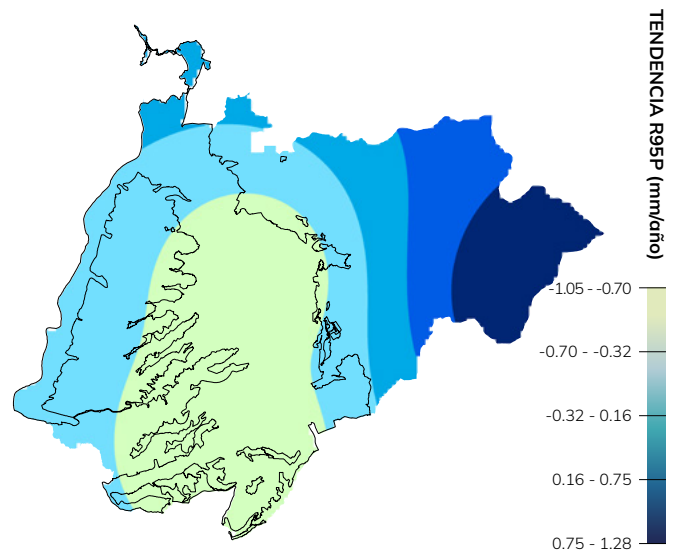
Figura 11. Tendencia de R5D.



PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE CINCO DÍAS



TENDENCIA DE R5D (1993-2022)



INDICADORES ASOCIADOS A SEQUÍA

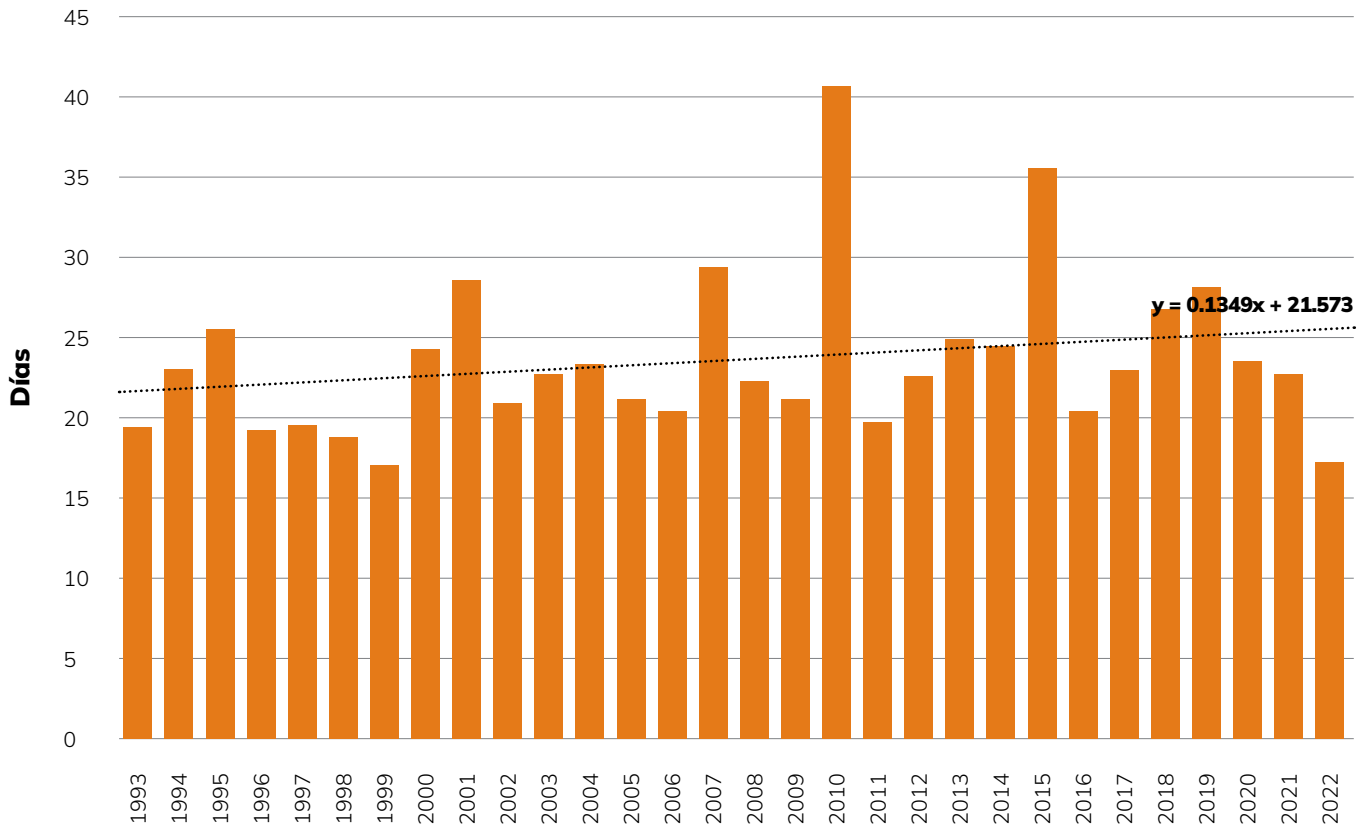
Con respecto al comportamiento del índice de sequía, se observa que los periodos sin lluvia pueden alcanzar hasta 24 días consecutivos en la zona occidental, que incluye el cauce del río de Oro y parte del casco urbano, mientras que en la zona oriental se registran periodos secos de aproximadamente 18 a 20 días. Este índice muestra una tendencia positiva, lo que

sugiere que en los próximos años es probable que se presenten periodos cada vez más prolongados sin lluvia, especialmente en el casco urbano y las zonas cercanas que forman parte del Distrito Regional de Manejo Integral. Se estima que este incremento podría significar un aumento de hasta 6 días adicionales de sequía en un lapso de cinco años.

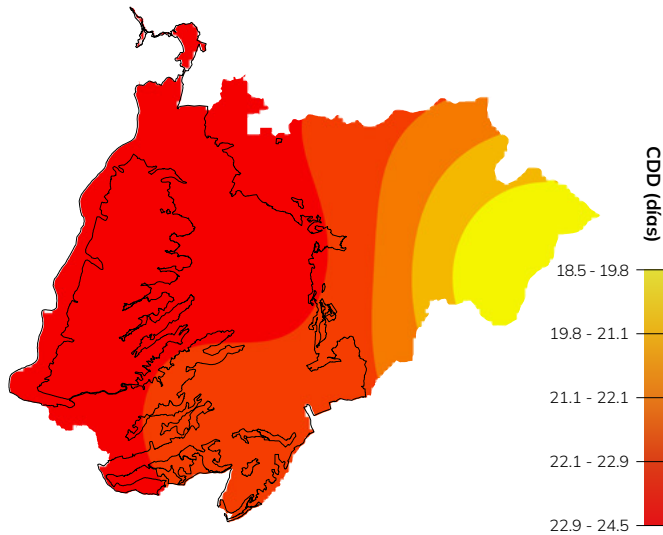


DÍAS SECOS CONSECUTIVOS (CDD)

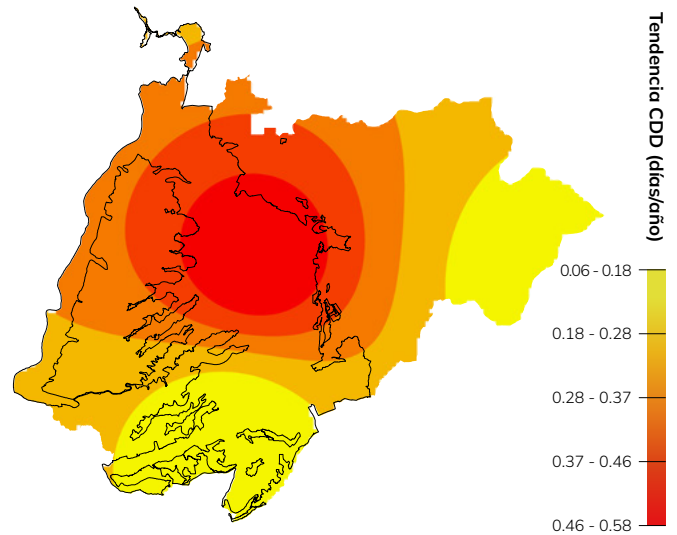
Figura 12. Tendencia de CDD.



DÍAS CONSECUTIVOS SECOS



TENDENCIA CDD (1993-2022)



INDICADORES ASOCIADOS AL AUMENTO DE LA TEMPERATURA Y SU EFECTO SOBRE LAS ISLAS DE CALOR

El índice TX90P (Percentil 90 de Temperatura Máxima) es un indicador climático que representa la fracción de días en los que las temperaturas máximas superan el percentil 90, en relación con un periodo de referencia específico. El valor promedio del índice TX90P de 9,00 indica que, en promedio, alrededor del 9 % de los días en Bucaramanga superan el umbral del percentil 90 en cuanto a temperatura máxima. Esto implica que la ciudad experimenta una proporción significativa de días calurosos en comparación con su historial climático. Por otro lado, el valor promedio de la tendencia de 0,13 sugiere que hay una tendencia positiva o creciente en la frecuencia de días con temperaturas máximas que superan el percentil 90 en Bucaramanga a lo largo del tiempo. Esto indica que la cantidad de días extremadamente cálidos está aumentando gradualmente en la ciudad.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para la ciudad de Bucaramanga. El aumento en la frecuencia de días calurosos y extremadamente cálidos puede tener impactos significativos en diversos aspectos, como la salud pública, el bienestar de la población y la gestión de los recursos naturales. Es probable que también afecte a sectores como la agricultura, la infraestructura y el turismo, los

cuales dependen en gran medida de las condiciones climáticas.

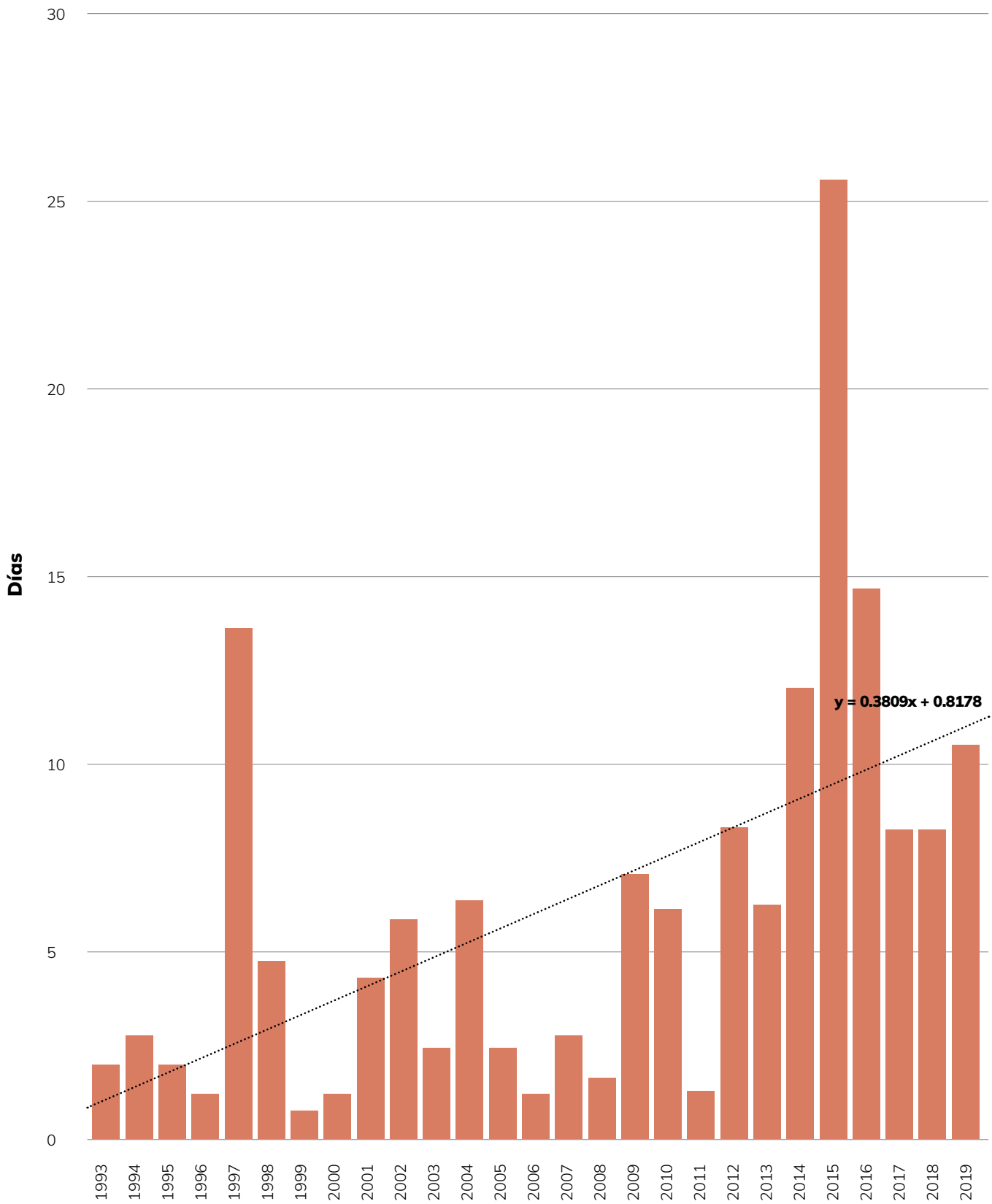
Es fundamental considerar estos resultados al tomar decisiones informadas en términos de adaptación al cambio climático y gestión de riesgos en Bucaramanga. La planificación adecuada y la implementación de medidas de mitigación y adaptación pueden ayudar a reducir los efectos adversos de los días calurosos extremos y promover una mayor resiliencia frente al cambio climático.

Además, este análisis resalta la importancia de seguir monitoreando y estudiando los patrones climáticos en Bucaramanga. La recopilación continua de datos y la evaluación de las tendencias climáticas permitirán una comprensión más completa de la realidad climática de la ciudad y sentarán una base sólida para la toma de decisiones futuras.

En resumen, los valores del índice TX90P para Bucaramanga indican una proporción significativa de días calurosos, con un promedio del 9 %, y una tendencia creciente en la frecuencia de días extremadamente cálidos a lo largo del tiempo. Estos resultados subrayan la importancia de tomar medidas para adaptarse al cambio climático y gestionar los riesgos asociados en la ciudad.

PORCENTAJE DE DÍAS DONDE LA TEMPERATURA MÁXIMA ES MAYOR AL PERCENTIL 90 (T90XP)

Figura 13. Tendencia TX90P.



WARM SPELL DURATION INDICATOR (WSDI)

El valor promedio del índice WSDI de 2,71 indica que, en promedio, los periodos consecutivos de calor en Bucaramanga duran aproximadamente 2,71 días. Esto implica que la ciudad experimenta periodos de calor moderados en comparación con su historial climático.

Por otro lado, el valor promedio de la tendencia de 0,14 sugiere que hay una tendencia positiva o creciente en la duración de los periodos de calor consecutivos en Bucaramanga a lo largo del tiempo. Esto indica que la duración de los periodos de calor está aumentando gradualmente en la ciudad.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para la ciudad de Bucaramanga. El aumento en la duración de los periodos de calor puede tener impactos significativos en diversos aspectos, como la salud humana, la agricultura y los recursos hídricos. Además, puede afectar la demanda de energía y la eficiencia de los edificios, así como la planificación urbana y la gestión de desastres relacionados con el calor.

Es fundamental considerar estos resultados al tomar decisiones informadas en términos de adaptación al cambio climático y gestión de riesgos en Bucaramanga. La implementación de estrategias de adaptación, como la mejora de la infraestructura urbana, la promoción de la resiliencia y la conciencia sobre la salud y el bienestar durante los periodos de calor, pueden ayudar a mitigar los impactos negativos.

Además, este análisis resalta la importancia de seguir monitoreando y estudiando los patrones climáticos en Bucaramanga. La recopilación continua de datos y la evaluación de las tendencias climáticas permitirán una comprensión más completa de la realidad climática de la ciudad y

sentarán una base sólida para la toma de decisiones futuras.

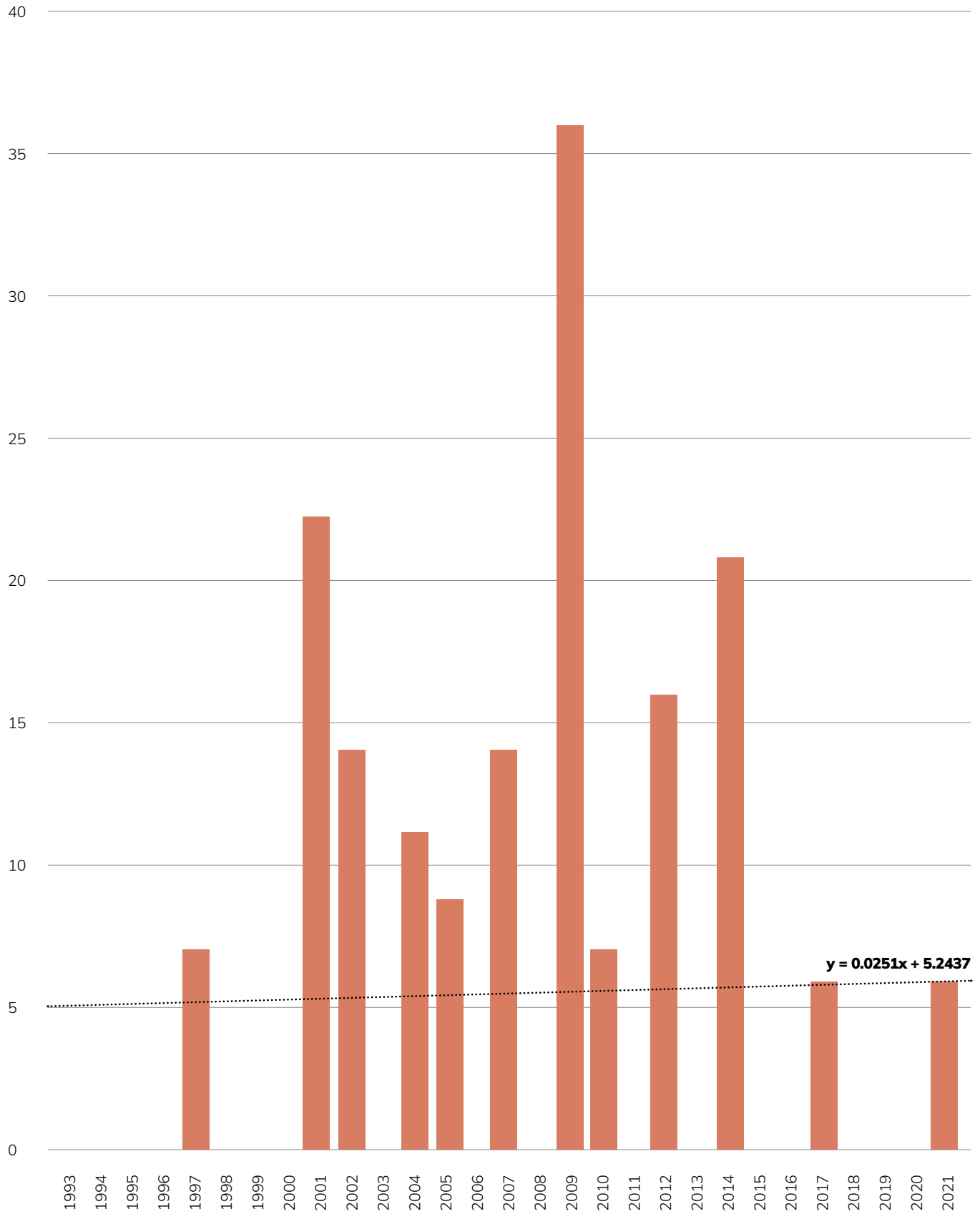
En resumen, los valores del índice WSDI para Bucaramanga indican una duración promedio de periodos de calor moderados, con un promedio de 2,71 días, y una tendencia creciente en la duración de estos periodos a lo largo del tiempo. Estos resultados subrayan la importancia de implementar medidas de adaptación y gestión de riesgos para enfrentar los desafíos asociados con los periodos de calor en la ciudad.

La inclusión de datos de diversas estaciones meteorológicas brinda la oportunidad de obtener una visión más completa y representativa de los patrones climáticos y las tendencias en la zona de Bucaramanga. Cada estación captura particularidades locales y variaciones geográficas, lo que enriquecerá nuestro entendimiento del clima de la región en su conjunto.

La incorporación de datos adicionales de múltiples estaciones meteorológicas en la región de Bucaramanga es esencial para obtener una comprensión más precisa de los patrones climáticos y las tendencias a largo plazo. Estos datos más completos permitirán tomar decisiones informadas y planificar estrategias más efectivas en la adaptación al cambio climático y la gestión de riesgos. Es un paso importante hacia una gestión más sólida y resiliente ante los desafíos climáticos que enfrenta la ciudad de Bucaramanga.

Nota: los análisis realizados hasta ahora se han basado en los datos recopilados de tres estaciones meteorológicas específicas en la región de Bucaramanga. Sin embargo, con el objetivo de obtener resultados y análisis más precisos, es fundamental incluir datos adicionales de múltiples estaciones meteorológicas.

Figura 14. Tendencia del WSDI.





Shutterstock/AFR-Studio

Capítulo 4

PRINCIPALES HALLAZGOS Y RECOMENDACIONES

El gradiente urbano-rural se desarrolla con relación a las dimensiones analizadas. Por ejemplo, las dimensiones de salud, infraestructura y hábitat humano se evidencian principalmente en el contexto urbano, mientras que la biodiversidad y la seguridad alimentaria se evidencian en el contexto periurbano y rural. En el caso del recurso hídrico, esta dimensión se presenta de manera transversal, ya que se analiza desde lo rural en cuanto a la oferta del recurso hídrico por parte del río de Oro y el Embalse de Tona, y desde lo urbano considerando el acceso al servicio de acueducto. Esto indica que los riesgos no tienen un comportamiento homogéneo en el territorio, por lo tanto, deben analizarse y evaluarse según el entorno en el que se desarrollan. Se requiere que la toma de decisiones se base en el entendimiento de las dinámicas de cada contexto, para que, al llevar a cabo acciones de reducción de estos riesgos, se incremente la resiliencia y la capacidad adaptativa de la ciudad.

DEL RIESGO PARTICULAR AL RIESGO CRÍTICO

En el análisis de los riesgos climáticos, es fundamental entender el comportamiento de cada riesgo, los impactos que genera en las diferentes dimensiones y cómo se debe gestionar para reducir esos impactos e incrementar la resiliencia. Sin embargo, es necesario complementar este tipo de análisis con un análisis de riesgo crítico, que identifique las áreas del territorio donde se presentan múltiples riesgos climáticos que, al interactuar, generan impactos adicionales.

En este sentido, la cartografía de riesgo crítico permite identificar zonas afectadas por múltiples riesgos que deben priorizarse, proponiendo medidas de adaptación integrales que consideren tanto los impactos individuales como los resultantes de la interacción de riesgos. Por otro lado, la cartografía de los riesgos particulares es crucial para proponer soluciones integrales de reducción de cada

riesgo en la ciudad. Dado el relieve del municipio, los movimientos de remoción en masa representan uno de los mayores desafíos en términos de gestión del riesgo de desastres climáticos, por lo cual es importante desarrollar planes a escala regional para reasentar a las comunidades ubicadas en zonas de amenaza y proponer soluciones sostenibles que incrementen la resiliencia del territorio.

BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

Los mapas de riesgo para la dimensión de biodiversidad revelaron la vulnerabilidad de los ecosistemas periurbanos. Estos ecosistemas están expuestos a amenazas que pueden aumentar debido a la crisis climática, lo que incrementará su riesgo. El aumento de las precipitaciones será un factor determinante para los riesgos de remoción en masa e inundación, que afectarán principalmente al Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) si no se implementa un manejo sostenible.

Asimismo, la transformación y degradación de estos hábitats, a través de la pérdida de coberturas naturales y la extinción de especies, comprometen la resiliencia de los sistemas socioecológicos. Esto se traduce en un llamado a la protección de las áreas naturales, identificando cuáles son esos ecosistemas que pueden fortalecer la estructura ecológica principal de la ciudad, con el fin de que sean conservados y restaurados, y de esta manera aumenten la capacidad de respuesta ante un posible desastre.

RIESGOS ASOCIADOS AL AGUA

Está claro que el exceso o la carencia de agua pueden perjudicar o alterar las dinámicas naturales del ambiente, y como consecuencia, los seres humanos se ven obligados a encontrar soluciones para tratar de alcanzar un equilibrio. En el caso de Bucaramanga, los ríos de Oro y Suratá suponen la principal amenaza para las comunidades asentadas cerca de sus márgenes. Asimismo, el relieve de la región, junto con la presión sobre las coberturas naturales y el comportamiento de la precipitación, promueven fenómenos de remoción en masa que deben ser gestionados mediante la protección de los suelos y el manejo integral de la escorrentía, promoviendo procesos de infiltración.

Por lo tanto, se requiere que la gestión del recurso hídrico se base en el reconocimiento de sus afectaciones, con el fin de proponer alternativas que sean resilientes, como el uso de infraestructura verde que complemente el funcionamiento de la infraestructura gris, y que permita aumentar la capacidad adaptativa en términos del manejo de la escorrentía.

RIESGO BAJO LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

No se puede negar que la crisis climática está tomando cada vez más fuerza, y con el paso del tiempo podrían aparecer riesgos que actualmente no se contemplan. Con el incremento de la amenaza en zonas que actualmente no se encuentran expuestas a riesgos climáticos, el aumento en la variabilidad e intensidad de estos eventos climáticos afectará principalmente a los grupos más vulnerables. Teniendo esto en cuenta, todos los barrios asentados en el perímetro urbano, ya sea cerca de alguno de los ríos o en los bordes de la escarpa o los cerros orientales, serán los más afectados por los impactos derivados del cambio climático. En este sentido, es necesario reforzar el conocimiento del riesgo actual, ya que esto permitirá generar capacidades para prepararse ante posibles riesgos futuros y emprender acciones de prevención para los riesgos existentes.

RIESGOS CLIMÁTICOS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

La seguridad alimentaria consiste en mantener la disponibilidad de alimentos de manera estable en el tiempo, sin embargo, se evidencia que esta dimensión presenta los niveles más altos de vulnerabilidad, ya que no cuenta con la suficiente capacidad adaptativa para ser resiliente ante los impactos de eventos climáticos extremos. Teniendo esto en cuenta, es necesario identificar si se están aplicando prácticas sostenibles adecuadas de acuerdo a las necesidades de cada cultivo, tipo de suelo y relieve, y reforzar la implementación de sistemas agroforestales, ya que son sistemas que restablecen las propiedades físicas y químicas del suelo.

Dentro del análisis del riesgo que presenta la seguridad alimentaria en Bucaramanga, se presentan sinergias importantes con la dimensión de infraestructura, ya que las principales vías que garantizan el transporte de alimentos producidos en otras regiones se ven afectadas por derrumbes o deslizamientos, causando un impacto indirecto en la seguridad alimentaria que también está asociado a un riesgo climático.

IMPACTO DEL ARVC EN LAS HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Los instrumentos de ordenamiento territorial son fundamentales para el desarrollo del municipio, ya que permiten la organización político-administrativa en torno a la ocupación física del territorio. Como todos los sistemas urbanos interactúan con su entorno natural, pueden encontrarse expuestos a diferentes amenazas naturales, y es ahí donde el análisis de riesgo y vulnerabilidad climática juega un papel crucial en la planificación, ya que permite evaluar las condiciones actuales y futuras de los riesgos climáticos y, de esta manera, proponer modelos de desarrollo urbano que consideren adecuadamente estas condiciones. Todo esto encaminado a la generación de políticas y directrices que ayuden a la regulación de los asentamientos, así como a la implementación de acciones orientadas a generar conocimiento sobre el riesgo y capacidades ante los desastres.

JUSTICIA CLIMÁTICA

La evaluación y el monitoreo del cambio climático en las últimas décadas han permitido establecer que las comunidades más vulnerables y de bajos recursos tienen una

mayor tendencia a asentarse en las zonas más amenazadas. Esto refleja que los modelos de crecimiento urbano propician condiciones de desigualdad, evidenciando que los riesgos no afectan de manera uniforme a todo el municipio. Es necesario que el gobierno local priorice el acompañamiento de estas poblaciones y genere planes de acción que contengan soluciones, como la implementación de medidas estructurales y no estructurales, para así reducir el riesgo y mejorar la resiliencia de estos habitantes.

MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Para la gestión de los riesgos climáticos actuales considerando escenarios de cambio climático, es necesario adoptar nuevas medidas de adaptación y fortalecer las medidas que ya se han implementado a través de diferentes iniciativas. A continuación, se presentan una serie de medidas generales que pueden contribuir al manejo eficiente y a la adaptación climática de Bucaramanga.

MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

En la parte oriental, donde se desarrolla la agricultura y la ganadería en zonas montañosas, durante épocas de fuertes lluvias y tormentas, es importante implementar avisos de evacuación y advertencias sobre el peligro de desprendimientos. Además, se recomienda la implementación de sistemas agroforestales que promuevan la renaturalización de los taludes y estabilicen el suelo. Esto requiere un constante acompañamiento por parte de las autoridades ambientales para asegurar que el manejo del suelo no comprometa su estabilidad ni favorezca procesos de remoción en masa. El estudio de prácticas de rotación de cultivos con especies más resistentes también es una técnica recomendada.

Se recomienda también la reubicación de los asentamientos informales presentes en la escarpa y en los cerros orientales, ya que están expuestos a estos fenómenos y serían los más afectados en caso de deslizamientos o derrumbes.

INUNDACIONES


Dado que los mayores niveles de riesgo por inundación se registran dentro del perímetro urbano, se pueden hacer las siguientes recomendaciones: mejorar los sistemas de alerta para la población que reside dentro o cerca de zonas de riesgo, intensificar los esfuerzos de reasentamiento de estas comunidades y desarrollar infraestructura verde y gris que atenúe las inundaciones.

Es importante que a medida que la ciudad desarrolle medidas de adaptación y reducción del riesgo por inundaciones, se sistematice información cartográfica que permita retroalimentar los modelos de riesgo y así estimar los cambios en ellos.

ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

Las recomendaciones para abordar este problema incluyen incrementar el alcance, la frecuencia y el impacto de las campañas que realiza el municipio para el control y reducción de estas enfermedades. Se debe actuar principalmente sobre las poblaciones más vulnerables, como niños pequeños y adultos mayores, así como en aquellas personas que se encuentran en grupos de riesgo, como mujeres embarazadas y personas con enfermedades cardíacas, entre otras.

Es necesario trabajar en la reducción de las condiciones que favorecen la proliferación de los vectores, es decir, eliminar las zonas con aguas estancadas que, bajo condiciones favorables de temperatura, aumentan la probabilidad de transmisión de las ETV. Para lograr esto, es necesario formalizar los asentamientos informales brindándoles servicios públicos de buena calidad y enseñarles cómo realizar un manejo y disposición adecuados de residuos, ya que este factor también puede contribuir a la proliferación de los vectores.



El cambio climático es resultado de la acción humana en los últimos 50 años, con la economía mundial y la urbanización como principales factores. Las ciudades son particularmente vulnerables a los impactos del cambio climático, como inundaciones, lluvias intensas, sequías y olas de calor, y es importante tomar medidas para mitigar y adaptarse a estos riesgos. Colombia es un país altamente vulnerable al cambio climático, con efectos visibles en los ecosistemas, como el derretimiento de los nevados y el blanqueamiento de los corales. El aumento de la temperatura global debido a las actividades humanas ya ha alcanzado aproximadamente 1 °C con respecto a los niveles preindustriales, y es probable que aumente a 1,5 °C en las próximas décadas.