

## Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático para el municipio de Guatemala

Enero 2024

Autores: Michiel van Eupen, Manuel Winograd, Emilio Garcia y Raiza Barahona

Con la colaboración de la Municipalidad de Guatemala, CONRED y SEGEPLAN

## ÍNDICE

<b>LISTADO DE FIGURAS</b> .....	2
<b>LISTADO DE TABLAS</b> .....	3
<b>LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS</b> .....	4
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>2. OBJETIVO</b> .....	6
<b>2.1. Público Objetivo</b> .....	6
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	6
<b>4. CONTEXTO DEL MUNICIPIO Y DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUATEMALA</b> .....	10
<b>4.1. Antecedentes sobre el proceso de crecimiento urbano</b> .....	12
<b>4.2. Actores e iniciativas claves</b> .....	16
<b>4.3. Contexto económico y social.</b> .....	17
<b>4.4. Contexto biofísico</b> .....	21
<b>5. CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO</b> .....	26
<b>5.1. Patrones climáticos y variabilidad</b> .....	26
<b>5.2. Impactos observados</b> .....	28
<b>5.3. Proyecciones climáticas futuras</b> .....	28
<b>6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGOS CLIMÁTICOS</b> .....	33
<b>6.1. Indicadores y métrica</b> .....	33
<b>6.2. Causas de los impactos</b> .....	33
<b>6.3. Vulnerabilidad y riesgos climáticos</b> .....	35
Inundaciones .....	35
Derrumbes y deslizamientos .....	37
Incremento de las temperaturas e islas de calor .....	38
Sequía meteorológica .....	38
<b>6.4. Detección de puntos críticos</b> .....	40
Áreas identificadas en el municipio de Guatemala .....	40
Condición de los servicios ecosistémicos en la ciudad.....	43
Condiciones de los servicios ecosistémicos en las cuencas abastecedoras .....	47
Infraestructuras básicas.....	49
Infraestructuras viales, alcantarillado y drenajes.....	50
Grupos vulnerables .....	53
Resumen .....	53
<b>6.6. Cascada de impactos:</b> .....	56
<b>7. USO DEL ANÁLISIS EN LA PLANIFICACIÓN URBANA DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA</b> .....	59
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	61

<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>64</b>
------------------------	-----------

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1. Componentes y variables de la evaluación en Nature4Cities para Santo Domingo en función de las etapas y productos .....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2. Ejemplos de tipo de datos necesarios para la evaluación de vulnerabilidad y riesgo en el municipio de Guatemala.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 3. Estructura poblacional del municipio de Guatemala en 2018. ....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 4. Localización y división administrativa por zonas del Municipio de Guatemala.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 5a. Evolución de la expansión urbana en el municipio de Guatemala (1990-2020). ....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 6. Cinturón ecológico Municipal y áreas de protección y riesgo (acuerdos municipales).....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 7. Mapa de nodos y conexiones entre actores. ....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 8. Equipamientos prioritarios del municipio de Guatemala. ....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 9. Mapa del uso de la tierra en el municipio de Guatemala (año base 2020). ....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 10. Mapa de la distribución de los servicios de los ecosistémicos de importancia para el municipio de Guatemala y el AMCG.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 11. Tendencia de temperatura media mensual de enero 1980 a mayo 2023.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 12. Tendencia de precipitación diaria de enero 1980 a mayo 2023. ....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 13. Tendencias y proyecciones en la precipitación anual para el periodo 1950-2100 en el municipio de Guatemala.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 14. Tendencias y proyecciones en la temperatura anual para el periodo 1950-2100 en el municipio Guatemala. ....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 15. Islas de calor actuales en el municipio de Guatemala para el 2022 (temperatura de superficie actual normalizada por manzanas al día más caluroso).....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 16. Componentes, variables e indicadores para la evaluación en el municipio de Guatemala. ....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 17. Cambio de la cobertura forestal en el municipio de Guatemala 2000-2022.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 18. Mapa de riesgo actual de inundaciones sobre la base del flujo de escorrentía y puntos potenciales de inundación. ....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 19. Mapa de riesgo actual de deslizamientos para el municipio de Guatemala.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 20. El Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDWI) para el AMG y las cuencas abastecedoras (2020). ....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 21. Mapa de cambios en el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) en el periodo 2000-2022 en el municipio de Guatemala. ....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 22. Mapa de riesgo actual de deslizamientos y localización de asentamientos y calidad de viviendas baja y muy baja en el municipio de Guatemala. ....</b>	<b>41</b>

<b>Figura 23. Mapa del Índice de Vegetación Normalizado y los distritos de oportunidad (polígonos en rojo) en el municipio de Guatemala.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 24. Mapa de las principales áreas de reforestación y zonas forestales en el municipio de Guatemala y zonas prioritarias por islas de calor.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 25. Mapas de las principales zonas de protección, Distritos de Oportunidad y de recarga de acuíferos (A) en comparación con los usos de los suelos actuales (B).....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 26. Potencial de infiltración para recarga en el municipio de Guatemala.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 27. Zonas de recarga hídrica potencial en el municipio de Guatemala, cambios en la cobertura vegetal y zonas prioritarias para la reforestación (2022). .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 28. Zonas de recarga hídrica potencial en el AMG y departamentos vecinos, cambios en la cobertura vegetal y zonas prioritarias para la reforestación (2022).....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 29. Distribución de infraestructuras vitales, escuelas y hospitales por manzanas en las zonas del municipio de Guatemala. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 30. Accesibilidad a los hospitales del municipio de Guatemala. ....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 31. Riesgo de inundación actual por acumulación y bloqueo de aguas superficiales en el municipio de Guatemala.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 32. Ilustración de riesgo de derrumbes en infraestructuras viales en el AMG.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 33. Porcentaje del área en riesgo de inundación por manzanas en el municipio de Guatemala. ....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 34. Áreas en riesgo de deslizamientos por manzanas en el municipio de Guatemala.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 35. Deslaves recientes en la zona del río Las Vacas.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 36. Islas de calor e infraestructuras básicas (hospitales y escuelas). ....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 37. Ejemplo resumido de la cascada de impactos socioeconómicos por inundaciones y deslizamientos en el municipio de Guatemala y el AMG. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 38. Uso de la información para comprobar eficacia de acciones actuales e identificar áreas para escalonamiento de acciones futuras. ....</b>	<b>60</b>

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1. Componentes para la evaluación.....</b>	<b>10</b>
<b>Tabla 2. Distribución de ingresos familiares anuales en el municipio de Guatemala. ....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 3. Usos de la tierra en el municipio de Guatemala.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 4. Calidad del agua aguas superficiales de la AMG. ....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 5. Aumento de temperatura de superficie en el municipio de Guatemala según diferentes escenarios de cambio climático para el 2050. ....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 6. Áreas con inestabilidad crónica y porcentajes por zona en función de la calidad de vivienda y estrato socioeconómico. ....</b>	<b>42</b>

## LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<b>AbE</b>	Adaptación basada en Ecosistemas
<b>AMG</b>	Área Metropolitana de Guatemala
<b>AVE</b>	Dirección de Administración de Vulnerabilidades y Emergencias
<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres
<b>CUB</b>	Comité Único de Barrio
<b>DCAI</b>	Dirección de Catastro y Administración del IUSI
<b>DIGM</b>	Dirección de Información Geográfica Municipal
<b>DMA</b>	Dirección de Medio Ambiente
<b>DPU</b>	Dirección de Planificación Urbana
<b>EMPAGUA</b>	Empresa Municipal de Agua
<b>FVC</b>	Fonde Verde para el Clima
<b>MARN</b>	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
<b>NDWI</b>	Índice de Humedad de Diferencia Normalizado
<b>NDVI</b>	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado
<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo Sostenible
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>PDM</b>	Plan de Desarrollo Municipal
<b>POT</b>	Plan de Ordenamiento Territorial
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones para el Medio Ambiente
<b>SbN</b>	Soluciones Basadas en la Naturaleza
<b>SEGEPLAN</b>	Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia

## INTRODUCCIÓN

Esta evaluación se realiza en el marco del proyecto preparatorio regional “Incremento de la resiliencia a través de Soluciones Basadas en la Naturaleza en las ciudades de América Latina (Nature4Cities)”, financiado por el Fondo Verde del Clima (FVC) y cofinanciado por el Programa Euroclima+. El objetivo que persigue la iniciativa, implementada en 13 ciudades, entre las cuales esta Ciudad de Guatemala, es el de explorar el potencial para desarrollar planes de desarrollo, integrando el cambio climático a nivel de ciudad para la adaptación y mitigación con soluciones basadas en la naturaleza (SbN), así como estrategias de financiamiento, generación de información y capacidades para la implementación. Para Guatemala, las autoridades ambientales y de planificación territorial a escala nacional, han definido enfoques y lineamientos para los análisis del riesgo de cambio climático que identifican los principales riesgos y vulnerabilidad presentes y futuras (MARN y Rain Forest Alliance, 2022a; 2022b). De forma general, estas evaluaciones de riesgo climático analizan la vulnerabilidad (en base a la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación), e identifican las amenazas y riesgos del clima, que para el departamento y el municipio de Guatemala son: deslizamientos, inundaciones, sequías meteorológicas, incendios, lluvias extremas y ciclones, olas de calor y temperaturas extremas, frentes fríos y heladas).

Para evaluar la vulnerabilidad y riesgos climáticos en ciudades, es necesario un proceso participativo que facilite la creación de conocimientos y la incorporación de los actores<sup>1</sup> en el proceso de diagnóstico del riesgo climático, en la exploración de soluciones y para la selección de medidas locales de SbN. De esta manera, se brinda un soporte a la toma de decisiones en las ciudades a través de la integración de la vulnerabilidad y riesgo climático en la planificación urbana, y el escalonamiento de las intervenciones locales de SbN, con sus múltiples co-beneficios vinculados al uso adecuado de los ecosistemas urbanos y periurbanos. Por esto el objetivo de la evaluación es identificar los principales riesgos e impactos climáticos para priorizar puntos, áreas y grupos críticos, en función de las problemáticas urbanas. Así se podrá conocer la exposición y la sensibilidad de las personas y grupos sociales, de las infraestructuras y de los servicios de los ecosistemas. La evaluación fue realizada sobre la base de los datos e información existente en la ciudad y busca ser espacialmente explícita y sensible al género. Además, cubre las zonas urbanas, periurbanas, rurales y las cuencas de las ciudades, para así identificar las causas de los riesgos y las consecuencias de los impactos.

El principal uso que se busca para este tipo de evaluaciones es disponer de información útil para la exploración e identificación de medidas locales de SbN, el conocimiento de las escalas y niveles de decisión implicados, y el intercambio y validación en la definición, implementación e intervenciones de SbN a nivel local y en el contexto de la planificación urbana. Se propone poner a disposición de las personas e instituciones involucradas, la información existente y aquella que es necesaria para la integración de la vulnerabilidad y riesgo climático en la planificación urbana y la toma de decisiones. La evaluación está dirigida principalmente al personal técnico, tomadores de decisiones, asesores y consultores de los gobiernos locales, y otros actores clave a nivel de la ciudad, tanto del sector público, la sociedad civil y el sector privado. Al mismo tiempo, los métodos y hallazgos de la evaluación tratan de integrar y asegurar sinergias con otras iniciativas existentes en las ciudades. A nivel local y nacional, los gobiernos e instituciones pueden beneficiarse del estudio para mejorar y

---

<sup>1</sup> El uso del lenguaje no discriminatorio entre hombres y mujeres debe ser considerado en todo documento. Sin embargo, no hay acuerdo entre los lingüistas y comunicadores sobre la manera de cómo hacerlo en el idioma español. Para evitar la sobrecarga que supone utilizar en español o/a para diferenciar entre sexos, se ha optado en este documento por emplear el masculino genérico clásico, en el entendido de que todas las menciones en tal género representan siempre a hombres y mujeres.

crear capacidad, e integrar las metodologías y hallazgos para su replicación y escalamiento a otras ciudades.

## 2. OBJETIVO

Para el proyecto Nature4Cities se definió un marco conceptual práctico y fácil de utilizar que responda a las necesidades de la ciudad, las capacidades de los actores implicados en la planificación y toma de decisiones y que integra la participación de todos los actores.

En este contexto, el presente análisis para el municipio de Guatemala tiene como objetivos:

1. Compilar los datos e información disponible en la ciudad, con el fin asegurar la integración de los conocimientos y capacidades ya existentes en las instituciones locales, evitándose así la dualidad de diagnósticos.
2. Identificar, en función de las problemáticas urbanas, los principales riesgos e impactos climáticos para la identificación posterior de puntos, áreas y grupos críticos para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN).

Dada la organización administrativa, la disponibilidad de datos y en consulta con los actores, el alcance inicial de la evaluación se definió dentro del límite del municipio de Guatemala. Sin embargo, algunos de los principales problemas, relacionados con los servicios ecológicos (ej. provisión de agua, regulación hídrica, control de la erosión), no pueden ser analizados solamente a escala de la ciudad y es necesario integrar en el análisis el AMG<sup>2</sup>.

### 2.1. Público Objetivo

En el contexto de los POT y los PDM en Guatemala y los planes de adaptación al cambio climático, la presente evaluación está dirigida principalmente a personal técnico, asesores y consultores del gobierno municipal y del área metropolitana y otros actores clave a nivel de la ciudad tanto del sector público, la sociedad civil y el sector privado. Al mismo tiempo, los métodos y hallazgos de la evaluación integran y aseguran sinergias con otras iniciativas existentes en la ciudad. Por último, a nivel local y nacional, los gobiernos, ministerios e instituciones descentralizadas se pueden beneficiar para mejorar y crear capacidades e integrar las metodologías y hallazgos para su replicación y escalamiento a otras ciudades.

## 3. METODOLOGÍA

Esta evaluación constituye un análisis destinado a guiar decisiones en torno a un tema tan complejo y de interés público como el cambio climático y la adaptación en ciudades. Se fundamenta en preguntas pertinentes para la toma de decisiones, con el objetivo de disminuir la complejidad inherente y añadir valor a la información disponible. Las evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo climático constituyen un elemento esencial para enfrentar los desafíos complejos y apoyar a los tomadores de decisiones en la exploración e implementación de soluciones creativas, que sean rentables, aceptadas por las comunidades, técnicamente realizables y que brinden múltiples beneficios. Para facilitar su uso, estas deben identificar los riesgos de la población y de los servicios ecosistémicos (de provisión, soporte, regulación, y culturales), para proporcionar el análisis de las

---

<sup>2</sup> En 1986 se estableció que el Área metropolitana de Guatemala está conformada por el Departamento de Guatemala en su totalidad, lo cual involucra 17 municipios

problemáticas (sus causas y consecuencias), con el fin de identificar puntos críticos donde es necesario explorar la implementación de posibles medidas de SbN, integrando las perspectivas y las formas de accionar de los actores en la ciudad.

De esta manera se podrá seleccionar y priorizar un conjunto de acciones estratégicas y el posible escalonamiento de su ejecución en la ciudad. En Guatemala, a través de diversas iniciativas y proyectos se han elaborado documentos y Atlas para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo climático (MARN y Rain Forest Alliance, 2022a, 2022b).

A modo de resumen como ilustra la Figura 1, en función del contexto de cada ciudad y del marco metodológico estructurado para el Proyecto, se detallan los componentes principales para definir la métrica de la evaluación, siendo los siguientes:

- **los peligros** (principales amenazas y elementos expuestos);
- **los impactos** (principales efectos sobre los ecosistemas y la sociedad como consecuencia de los peligros);
- **la sensibilidad** (principales componentes socioeconómicos relacionados con las necesidades, infraestructuras y servicios);
- **la capacidad de adaptación** (principales medidas y acciones estructurales y no estructurales en el contexto de cada ciudad);
- **la vulnerabilidad** (principales grupos sociales y población, servicios ecosistémicos y recursos naturales e infraestructuras y servicios básicos susceptibles de ser afectados);
- **los riesgos** (principales consecuencias de la interacción entre los peligros, la sensibilidad, los impactos y capacidad de adaptación en el contexto de cada ciudad).

**La primera etapa** consiste en establecer la línea base e identificar a actores involucrados, para así conocer la situación y problemáticas de la ciudad, a partir de entrevistas e intercambios con dichos actores. Esta etapa permite además identificar datos e información disponible. El mapeo de actores ayuda a identificar quién produce y utiliza datos e información (ver Figura 1, columna gris).

**La segunda etapa** de la evaluación consiste en identificar y evaluar los principales peligros y niveles de exposición. Esto permite conocer en las áreas urbanas, periurbanas y rurales de las ciudades, las afectaciones por peligros naturales y evaluar la localización de áreas y sectores más amenazados (incluidas infraestructuras, personas, grupos y servicios ecosistémicos) (ver Figura 1, columnas rojas).

Con esta información se puede pasar a la **tercera etapa**, que consiste en la evaluación y análisis de los principales impactos y consecuencias sobre los ecosistemas y la sociedad según los peligros y la sensibilidad (ver Figura 1, columnas naranjas). En función de los peligros y los impactos es posible evaluar en la **etapa cuatro**, la sensibilidad de los principales componentes sociales y económicos (ver Figura 1, columna amarilla).

Una vez completadas estas etapas iniciales, es posible abordar la **etapa cinco** sobre la capacidad de adaptación, que aborda la identificación y exploración de las posibles opciones y tipos de respuestas ante la variabilidad y el cambio climático (ver Figura 1, columna verde). No obstante, como uno de los objetivos del proyecto es realizar las evaluaciones en el marco de procesos

participativos, esta etapa se realiza en talleres con actores locales para explorar y priorizar las opciones y acciones de adaptación en función de las necesidades de cada ciudad y los procesos en curso (focalizando sobre todo en aquellas acciones orientadas a Adaptación basada en Ecosistemas). De esta manera, se facilita la integración de los conocimientos, puntos de vista y necesidades de todos los actores en el contexto del ordenamiento, planificación urbana y la toma de decisiones en las ciudades.

La **etapa seis** consiste en identificar y analizar la vulnerabilidad desde las perspectivas sociales, ecológicas y económicas (ver Figura 1, columna azul claro) que sumada la capacidad de adaptación permite analizar y validar en la **etapa siete**, los riesgos para la población, los ecosistemas y las infraestructuras en función del contexto de cada ciudad (ver Figura 1, columna azul oscuro).

Etapa:	2. Peligros		3. Impactos		4. Sensibilidad	5. Capacidad de Adaptación		6. Vulnerabilidad	7. Riesgos
	a. Amenazas	b. Exposición	a. Ecológicos	b. Socio-económicos	Socio-económica	a. Estructural	b. No estructural		
Ciudad de Guatemala (Ladera)	Cambios de temperatura Cambios en precipitación Balance hídrico Sequía Islas de calor Eventos extremos	Población Grupos sociales Infraestructuras Medios de vida Recursos naturales	Regulación hídrica Control de temperatura Control erosión Disponibilidad y provisión de agua Biodiversidad Producción de alimentos	Viviendas Servicios básicos Mortalidad Morbilidad Accesibilidad Grupos afectados Seguridad alimentaria Enfermedades	Acceso a servicios Nivel de ingresos Estructura de la población Tipo de viviendas Nivel educativo Cabezas de hogar Desempleo	Infraestructuras grises/ Infraestructuras verdes/ azules (SbN) Reforestación Protección Restauración Conectividad	Gestión de desastres POT Seguridad social Reubicación planificada Políticas públicas Instrumentos urbanísticos	Social y población Servicios ecológicos y uso de tierras Infraestructuras y servicios básicos	Inundación Derrumbes Islas de calor Sequías
Producto:	- Mapeo de actores - Talleres virtuales - Recopilación de datos - Consulta y elaboración de información		- Análisis de variabilidad y cambio climático - Análisis inicial de riesgos y puntos críticos		- Talleres de validación de evaluación y exploración de opciones para la adaptación		- Integración de resultados		

Figura 1. Componentes y variables de la evaluación en Nature4Cities para Santo Domingo en función de las etapas y productos

Con el marco metodológico definido para Nature4Cities a nivel de las ciudades, es pertinente plantear como punto de entrada, algunas preguntas relacionadas con las diferentes etapas de la evaluación de la vulnerabilidad y los riesgos climáticos, a saber:

**Etapa 1: Definir el contexto y la línea de base**

- ¿Cuáles son los principales problemas de la ciudad?
- ¿Quiénes son los actores involucrados en el ordenamiento territorial, urbano y la gestión de riesgos?

**Etapa 2: Identificar las amenazas y evaluar la exposición**

- ¿Cuáles son las principales amenazas climáticas en la ciudad?
- ¿Cuáles son los principales elementos expuestos (incluidos grupos sociales, servicios ecológicos e infraestructuras)?

### **Etapas 3: Evaluación de los impactos**

¿Qué pérdidas económicas y en vidas ocasionan los peligros e impactos?

¿Cómo se distribuyen los riesgos y vulnerabilidades en la ciudad?

### **Etapas 4: Evaluar la sensibilidad**

¿Qué elementos para el bienestar de las personas y la sociedad están comprometidos?

¿Cuáles son las causas y consecuencias de amenazas y exposición de la población e infraestructuras?

### **Etapas 5: Analizar la capacidad de adaptación**

¿Qué iniciativas existen para adaptarse al cambio climático y para la gestión de riesgos?

¿Qué políticas e instrumentos urbanísticos existen para el ordenamiento territorial y urbano?

### **Etapas 6: Evaluar la vulnerabilidad:**

¿Cuáles son los puntos críticos en las zonas urbana, periurbana y rural de la ciudad?

¿Cuáles son las causas y consecuencias de la(s) vulnerabilidad(es)?

### **Etapas 7: Evaluar los riesgos climáticos**

¿Cuáles son los principales riesgos climáticos actuales y futuros en la ciudad?

¿Cómo se manifiestan y distribuyen los riesgos climáticos?

Sobre la base de esta información compilada en la primera etapa de la investigación, se realizaron análisis técnicos y consultas para identificar las amenazas y evaluar la exposición de las infraestructuras, grupos y servicios ecosistémicos con mayor peligro ante eventos relacionados con el clima actual y futuro. Esto con el fin de delimitar las zonas y los puntos críticos donde hay más vulnerabilidad y riesgo climático para las personas, grupos sociales, infraestructuras y servicios de ecosistemas. Es importante anotar que existe una gran diversidad en la escala de los datos e información disponible (e.j. desde 10 a 30 metros para datos de SENTINEL, hasta 1 Km para datos de escenarios de cambio climático). Por esto para disponer de datos apropiados y utilizables en la planificación municipal, los resultados finales de los análisis se presentan a escala de la manzana como unidad de análisis.

Para estos análisis se utilizó la base de información que existe para la municipalidad de Guatemala en particular en la Dirección de Planificación Urbana (DPU), la Dirección de Medio Ambiente (DMA), Dirección de Administración de Vulnerabilidades y Emergencias (AVE), la Dirección de Catastro y Administración del IUSI (DCAI), Dirección de Información Geográfica Municipal (DGIM) y La Empresa Municipal del Agua (EMPAGUA) así como la de instituciones nacionales como el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) y Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). El POT (Municipalidad de Guatemala, 2006), el ) Diagnóstico para el Plan de Resiliencia (DPU, 2019) y el Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala (PROSEHIGUA, 2021). Además de estas fuentes principales de información para la ciudad y parte de su área metropolitana, que presentan varios indicadores a nivel social, ambiental y económico, se utilizaron también como fuentes de información datos entregados directamente por las dependencias municipales, que constituyen información de uso interno. En el caso de variables biofísicas fue necesario completar los datos con información novedosa e indicadores proxys (ej. índices de vegetación, temperatura de superficie o de humedad de suelos) (Figura 2 y Tabla 1).

Ciudad	Mapeo de actores		Vulnerabilidad y riesgo							Vulnerabilidad y riesgo futuros									
	Encuesta	Peligros		Impactos		Sensibilidad		Riesgos		Escala	Formato	Fecha	Accesible	Escenarios	Riesgos	Escala	Formato	Accesible	
		B	SE	B	SE	SE	B	SE											
Ciudad de Guatemala	SI	SI	SI	SI	P	P	SI	SI	100mts 250mts	SHP	2020 2021	SI	SI	SI	RCP 2.6 RCP 8.5	Espacial (nacional) Temporal (día, mes año)	PDF SHP - NC	SI	
Ciudad de Guatemala	Otros datos							Datos Mitigación			Datos Capacidad de adaptación								
	Indices (NDVI, NLight, STem)	Huella urbana Expansión área urbana		Densidad de población		Escala		Inventario		Acciones	SbN	POT/PGR	Evaluación Servicios		PMACC				
	SI	30-10mts		SI	30mts		SI	250mts		SI	30-10mts		P (Ciudad)	P	NO	SI	NO	P	NO

B = biofísicos; SE = socioeconómicos incluido genero; P = Parcial

Figura 2. Ejemplos de tipo de datos necesarios para la evaluación de vulnerabilidad y riesgo en el municipio de Guatemala

En general, para el uso de los datos se puede partir de la premisa de que las zonas sujetas a un mayor riesgo e impacto potencial ante eventos climáticos son las que tienen mayor amenaza y exposición y con condiciones socioeconómicas más sensibles (vivienda, salud, estructura demográfica y socioeconómica). Un aspecto crucial en este tipo de evaluaciones, que apoye a las actoras y los actores involucrados en la planificación urbana y territorial, es el de tomar en cuenta los niveles implicados en la toma de decisiones. Por esto, como en función de la escala, el análisis debe considerar el componente a ser evaluado en relación a los servicios de los ecosistemas, el nivel de la decisión y la acción a ser implementada, explorada o evaluada (Tabla 1).

Tabla 1. Componentes para la evaluación

Escala	Componente	Ejemplo de servicios de ecosistemas	Nivel de decisión	Acciones de adaptación
<b>Macro</b>	Red ecológica e hidrológica	Provisión de agua	Cuenca/Departamento	Identificación Planificación
<b>Meso</b>	Red de conectividad (áreas verdes/red vial)	Control de inundaciones	Municipio/Zona	Diseño Gestión
<b>Micro</b>	Infraestructuras verdes/ grises/mixtas	Regulación de la temperatura	Barrio/Manzana	Implementación Mantenimiento

## 4. CONTEXTO DEL MUNICIPIO Y DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUATEMALA

El municipio de Guatemala tiene una extensión de 228 km<sup>2</sup>, de los cuales el 56.27% corresponde a tejido urbano. Su población estimada para el 2022 es de 1,213,651 habitantes (INE 2019), con un total de 258,218 hogares, toda considera urbana. El municipio es la capital del país y la zona urbana

más grande de toda la república, siendo 2.3 veces mayor en población que el siguiente municipio más poblado. Esta forma parte del Área Metropolitana de Guatemala (AMG), la cual incluye los 17 municipios del departamento, y aglutina una población de 3,599,257 personas.

En términos demográficos, la estructura de la población (Figura 3) está en una condición intermedia entre una pirámide de rápido crecimiento y una en fase de envejecimiento, ya que el grupo etario más joven dejó de ser el más numeroso. La población entre 20 y 39 años es la que más acumula, con el 33.98%, seguido de las personas menores de 20 años con 32.77%, y aquellas entre 40 y 69 con 20.94% (INE 2019). Con relación al sexo, como ocurre en todo el país, las mujeres son el grupo mayoritario, en una proporción de 52.5% respecto al 47.5% de hombres (INE 2019)

A nivel interno, el territorio del municipio de Guatemala está dividido en 22 zonas administrativas, las cuales están numeradas del 1 al 25, no existiendo la zona 20, 22 y 23 (Figura 4). Cada una tiene seguimiento de una alcaldía auxiliar, que son entes intermediarios entre el vecino y la municipalidad, sus funciones van desde capacitar, asesorar y dar seguimiento a gestiones y trámites hechos por los Comités Únicos de Barrio –CUB–, recibir y trasladar denuncias hechas por los vecinos, hasta la promoción de talleres de capacitación para las mujeres y adultos mayores del sector, así como gestionar actividades culturales, recreativas y formativas para jóvenes.

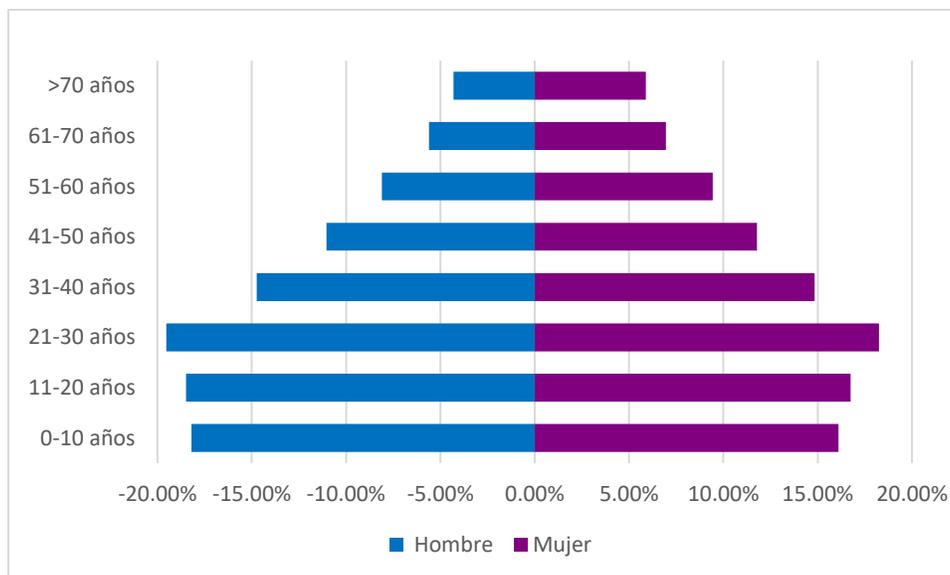


Figura 3. Estructura poblacional del municipio de Guatemala en 2018. Fuente: Elaboración propia con datos del censo 2018 (INE, 2019)

A partir del ordenamiento jurídico, la municipalidad tiene como estructura de gobierno superior al Concejo Municipal (que en el caso del municipio se compone de 10 concejales y 3 síndicos), y al alcalde como máxima autoridad ejecutiva y de representación. Además, en términos de funcionamiento, la municipalidad creó 5 gerencias, 3 secretarías, 4 empresas municipales, 31 direcciones temáticas, 2 cuerpos policiales, un cuerpo de Socorro y de Bomberos municipales y 4 Juzgados (Juzgado de Asuntos Municipales y Juzgado de Asuntos Municipales de Tránsito).

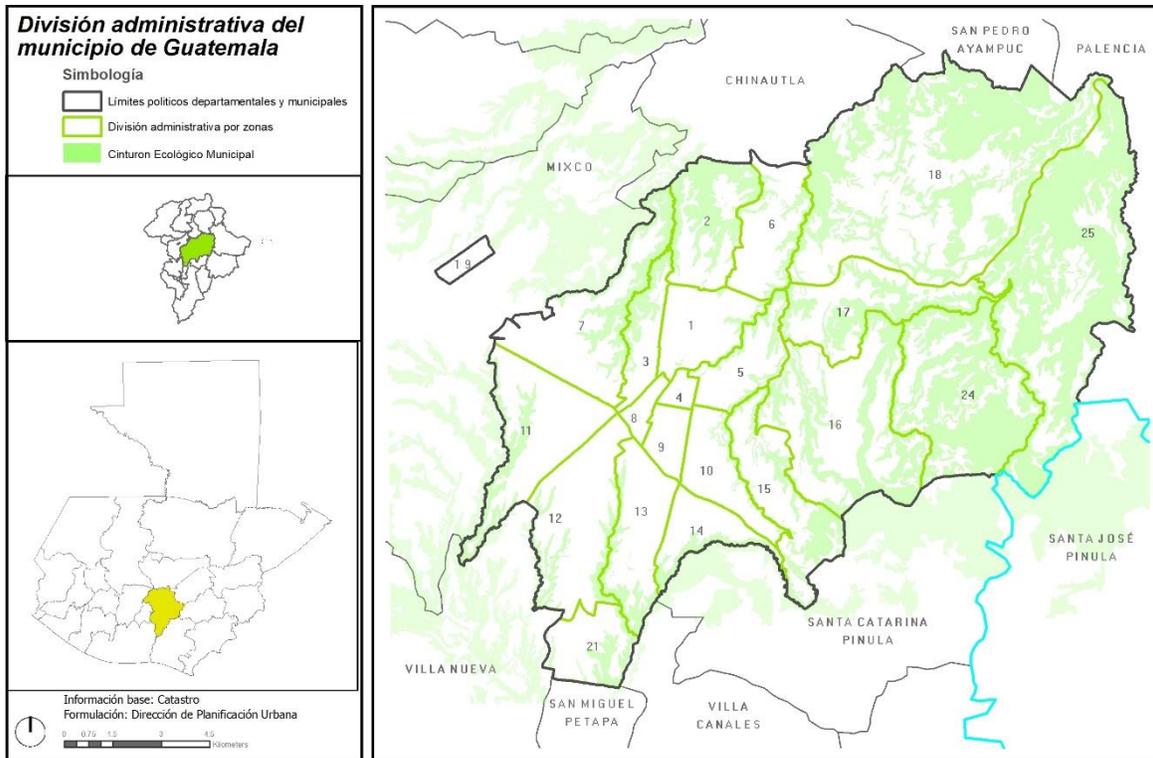


Figura 4. Localización y división administrativa por zonas del Municipio de Guatemala. Fuente: DPU, Municipalidad de Guatemala 2020

#### 4.1. Antecedentes sobre el proceso de crecimiento urbano

La marcada dinámica de crecimiento del municipio de Guatemala ocurre por los procesos de urbanización desarrollados en los últimos 70 años, tiempo en el cual se pueden observar distintos periodos de fuerte expansión. De manera inicial, a mediados de siglo, esto ocurre por la inercia del centralismo y la dinámica económica como capital del país. Más tarde, a esto se le agrega una fuerte migración rural-urbano por el terremoto del 76 y la violencia en las zonas rurales en los años 80s durante las dictaduras militares (Bravo 2007). Este crecimiento urbano estuvo concentrado en el municipio de Guatemala hasta los años 70s, para luego extenderse a zonas adyacentes al Este y al Sur, a municipios como Mixco y Villa Nueva. Las transformaciones durante este tiempo significaron una expansión que conformó la zona metropolitana, estructurando núcleos urbanos, una organización espacial de la economía y una dinámica de movilidad que se mantienen hoy.

A pesar del gran crecimiento hasta finales de la década de años los ochenta, el proceso de crecimiento urbano a partir de la década de los noventa ha sido especialmente notable (Figura 5a y 5b). Ello ha tenido lugar por una combinación factores que incluyen: a) el proceso demográfico endógeno venido de las décadas pasadas (Bravo 2007); b) la permanente inmigración desde otras áreas del país por el fuerte centralismo en los servicios y el funcionamiento del Estado (Gálvez 1998); y c) por la concentración de capital provocada por la estructura económica y las dinámicas de los grupos económicos más influyentes en el país (Nuñez & Lebeau, 2015).

La dinámica urbana de la ciudad no puede ser comprendida y analizada para una planificación territorial si no se considera la ciudad y el área metropolitana en donde se observa la evolución de los cambios de usos del suelo. Un aspecto fundamental de esta evolución es que al final de la década de los setenta esa expansión dejó de estar acompañada de un ordenamiento territorial adecuado y una planificación económica que la dirigiera tanto en el municipio, como en la AMG en general y la expansión urbana no ha parado de avanzar tanto en la ciudad como en el AMG (Figuras 5a y 5b). A ello se le agregó la limitada inversión del gobierno central y las municipalidades para garantizar condiciones sociales (Ordoñez 2018). Tal convergencia de situaciones dio lugar a un proceso de crecimiento con fuertes condiciones de vulnerabilidad biofísica y social, el cual se muestra en la fuerte desigualdad, la localización de un alto porcentaje de la población en zonas de riesgo, la marcada contaminación de las aguas superficiales, entre otras (Lucas et al. 2003; Moran, 2011; Nuñez & Lebeau, 2015; González, 2018).

La planificación territorial del municipio, como conjunto, se retoma de manera estructurada a mediados de la década del 2000, cuando se define una clasificación de zonas de uso a partir de criterios topográficos y la cercanía a vías principales, con la que en el 2008 se establece un Plan de ordenación territorial (POT). Esto, sin embargo, no se realiza de manera paralela en municipios circundantes, y es solo desde el 2018 que otros 15 desarrollan esfuerzos en este tema (SEGEPLAN 2023). Actualmente, 14 municipios de la AMG poseen con planes de desarrollo y ordenación territorial (PDM-OT), uno, Villa Nueva, cuenta con un POT, y uno más, Villa Canales, todavía no cuenta con plan de ordenamiento (SEGEPLAN 2022). Estas políticas o normativas, no obstante, son muy generales, carecen de una cartografía adecuada, y no se planificaron considerando las fuertes dinámicas y problemas interrelacionados como área conurbada. Además, la planificación, ordenamiento e inversión en el AMG como conjunto sigue siendo una tarea pendiente por parte del gobierno nacional, al mismo tiempo que el alcance del trabajo intermunicipal es muy limitado.

Como consecuencia de los procesos de expansión urbana en el municipio de Guatemala, del 100% del Cinturón Ecológico Municipal, únicamente un 48% se encuentra cubierto por bosques y las áreas más críticas por falta de masa boscosa, localizadas al borde de quebradas y en barrancos están las zonas 1, 5, 6, 7, 18 y 21, donde las áreas sin cobertura vegetal sobrepasan el 60% del área (Figura 6) (DPU, 2021). En contraste las áreas permeables naturales dentro del área urbana del municipio ocupan únicamente un 10%, correspondiente a arriates y antejardines, vías arboladas y alamedas y parques y jardines (DPU, 2021).

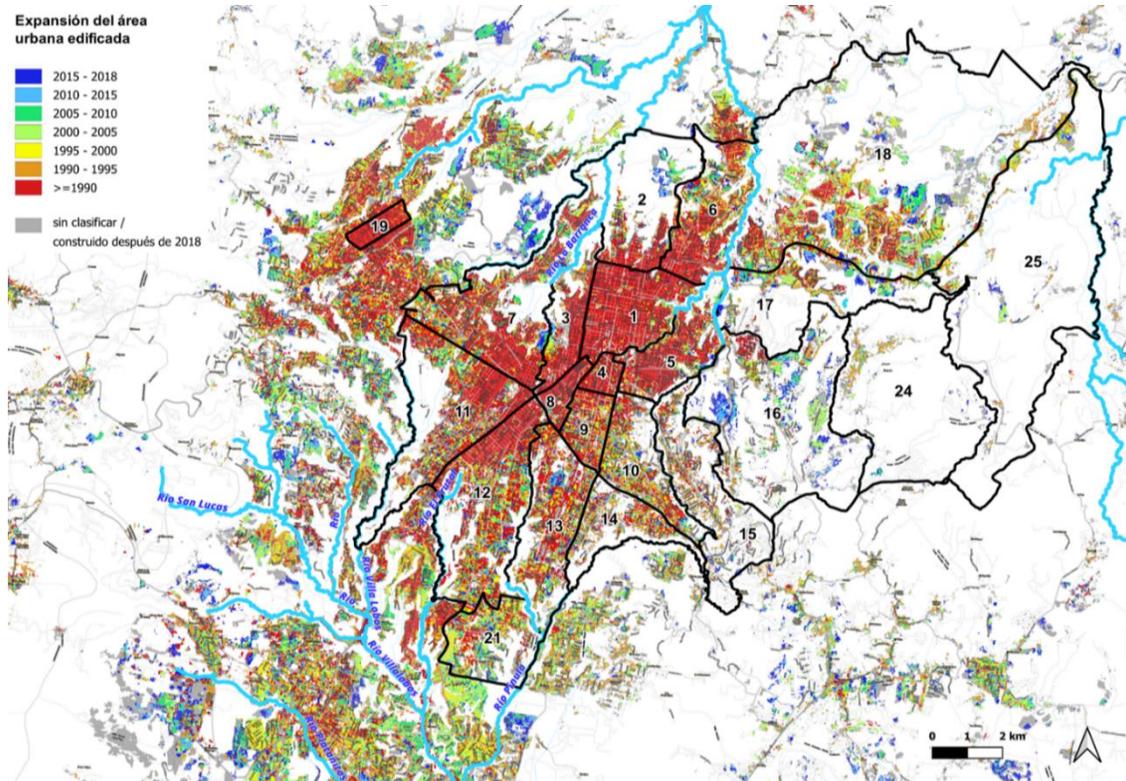


Figura 5a. Evolución de la expansión urbana edificada en el municipio de Guatemala (1990-2020). Fuente: Gong P., et al. 2020.

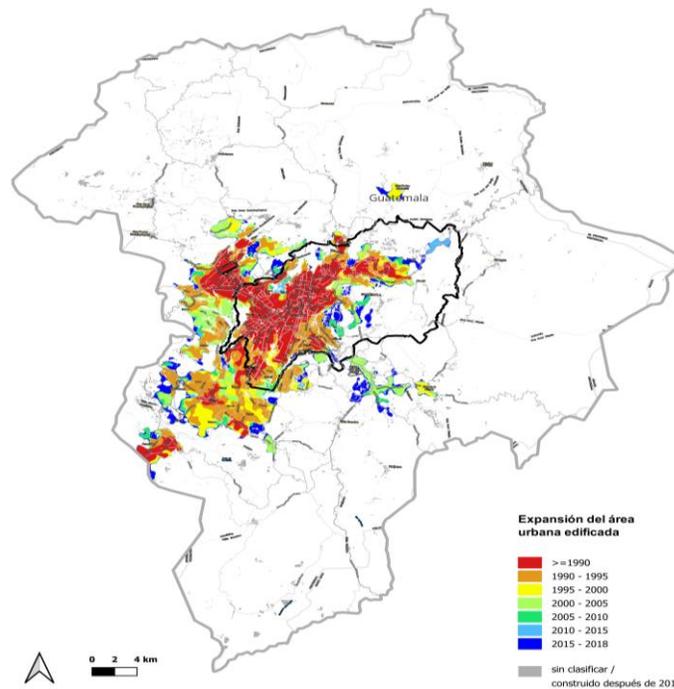


Figura 5b. Evolución de la expansión urbana edificada en el AMG (1990-2020). Fuente: Gong P., et al. 2020.

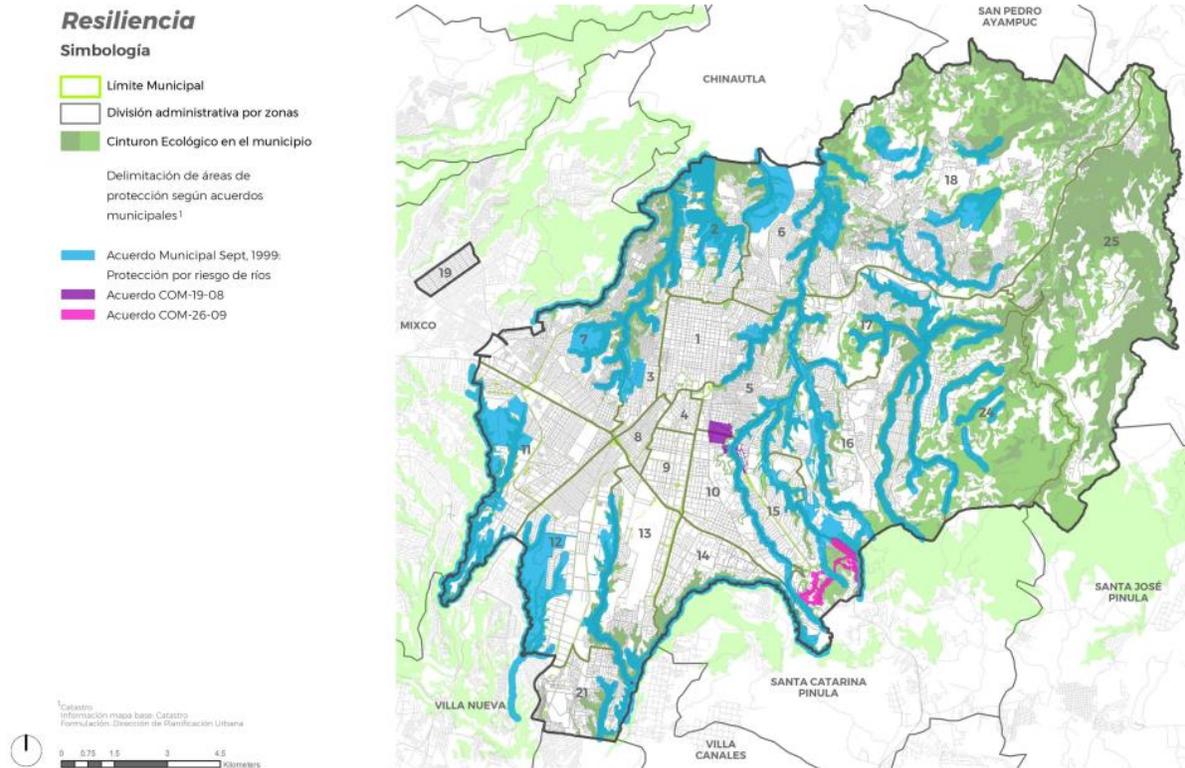


Figura 6. Cinturón ecológico Municipal y áreas de protección y riesgo (acuerdos municipales). Fuente: DPU, Municipalidad de Guatemala 2020.

En este contexto la municipalidad ha definido que dado que el 40% de la ciudad ya está desarrollado y en teoría el otro 40 % es lo que se conoce como el cinturón ecológico municipal, para conservación y protección, queda un 20 % restante definido como Distritos de Oportunidad con un horizonte de planificación e implementación a largo plazo. para el 2050 (DPU, 2021). Los Distritos de Oportunidad son territorios pilotos que proponen el desarrollo y la oportunidad de promover el emprendimiento, la inversión, la competitividad y la resiliencia. Se definieron siete distritos, cinco proyectos habilitadores y todo un plan de ordenamiento que va en camino para una ciudad con mejor movilidad y calidad de vida para sus habitantes. El objetivo es encaminar a la municipalidad de Guatemala hacia una Capital más moderna y ordenada, que mejora los espacios públicos, e incluye la implementación de parques, ampliación de infraestructura, transporte masivo y de movilidad alternativa (como las ciclovías) para mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Los distritos son:

- Distrito Vía Norte: cubre inmediaciones zona 18.
- Distrito NU6: en el centro de la zona 6
- Distrito Central: abarca las zonas 1, 3 y 5
- Distrito Tívoli: zona 9
- Distrito Siete11: zona 11
- Distrito Víadoce: parte de la Atanasio Tzul

Gran Distrito Verde: comprende los 97 kilómetros de área verde en la Ciudad, que se están transformando en parques ecológicos, acercando las áreas verdes a los distritos y se convierta en un articulador de las diferentes áreas. Además, buscan atender el tema del cambio climático.

## 4.2. Actores e iniciativas claves

Desde hace tiempo han existido iniciativas claves en vías de conformar un área metropolitana más acorde con los procesos de expansión, la movilidad y la planificación urbana. Es así como se conformó el área metropolitana de Guatemala (AMG) según el Decreto 70-86 del Congreso de la República de Guatemala conformada por todos los municipios del Departamento de Guatemala y que cuenta con una población de 5 millones de habitantes. Pero han surgido otras iniciativas para hacer de esta área metropolitana algo más operativo como en el 2012 la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, que es una mancomunidad de asociación libre de municipios, con el objeto de prestar a los municipios asociados servicios profesionales y técnicos especializados en diversas materias, para dar soluciones a problemas municipales a todos sus miembros. Esta incluye las ciudades de Amatitlán, Guatemala, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva con una población de cerca de 2.5 millones de habitantes. Como resultado de esta iniciativa han surgido planes de movilidad, planes de gestión de recurso hídricos y saneamiento, planes de ordenamiento y desarrollo territorial entre otros ejes estratégicos (MGCS 2023).

SEGEPLAN en 2013 propone, en el contexto del plan de desarrollo nacional K'atun 2032, considerar el municipio de Guatemala capital como centralidad de un área metropolitana conformada el conjunto de ciudades intermedias del departamento de Guatemala y algunos municipios de Sacatepéquez, Chimaltenango y Escuintla. En el 2017 el estado central promovió la ley de formación del área metropolitana y su área de influencia integrada por los municipios de Guatemala, Amatitlán, Mixco, Fraijanes, Santa Catarina Pinula, Villa Canales, Chinautla y Villa Nueva (MCC, 2019).

La Figura 7 muestra el diagrama de los actores y sus relaciones en el municipio de Guatemala, señalando la estructura de nodos y conexiones según el papel que realizan en el municipio vinculado a las SbN. Como se puede ver, la municipalidad es el actor que más vínculos acumula, ya que es la entidad que mayor cantidad de funciones desempeña. Además, las instituciones estatales son, en general, los nodos principales, ya que los demás actores mantienen o dirigen sus acciones hacia estas, sea por su rol rector o por ser agentes centrales para la prestación de servicios. Las entidades públicas son por tanto los actores de mayor jerarquía, debido al papel que ejercen y su capacidad de influencia. Además de estas dinámicas, existen relaciones o acuerdos colaborativos entre actores, las cuales en general son temporales porque obedecen a objetivos finitos, tal como ocurre con las organizaciones de cooperación internacional, siendo estos últimos actores que no son permanentes en el territorio.

La municipalidad, como encargado de regular el uso de la tierra, revisa todos los proyectos de fraccionamiento de terrenos, construcción y cambio de uso de suelo del sector privado, a partir del Plan Ordenamiento Territorial (POT) y las normas de construcción. Esta relación se mantiene además en términos de la prestación de servicios públicos y el cobro anual del UISI (Impuesto Único Sobre Inmuebles). Fuera de lo anterior, existen algunos vínculos que la municipalidad mantienen enfocadas en el planificación y ejecución de iniciativas, tal como la alianza con ciertos actores privados para trabajar y promover el desarrollo de áreas definidas como Distritos de oportunidad.

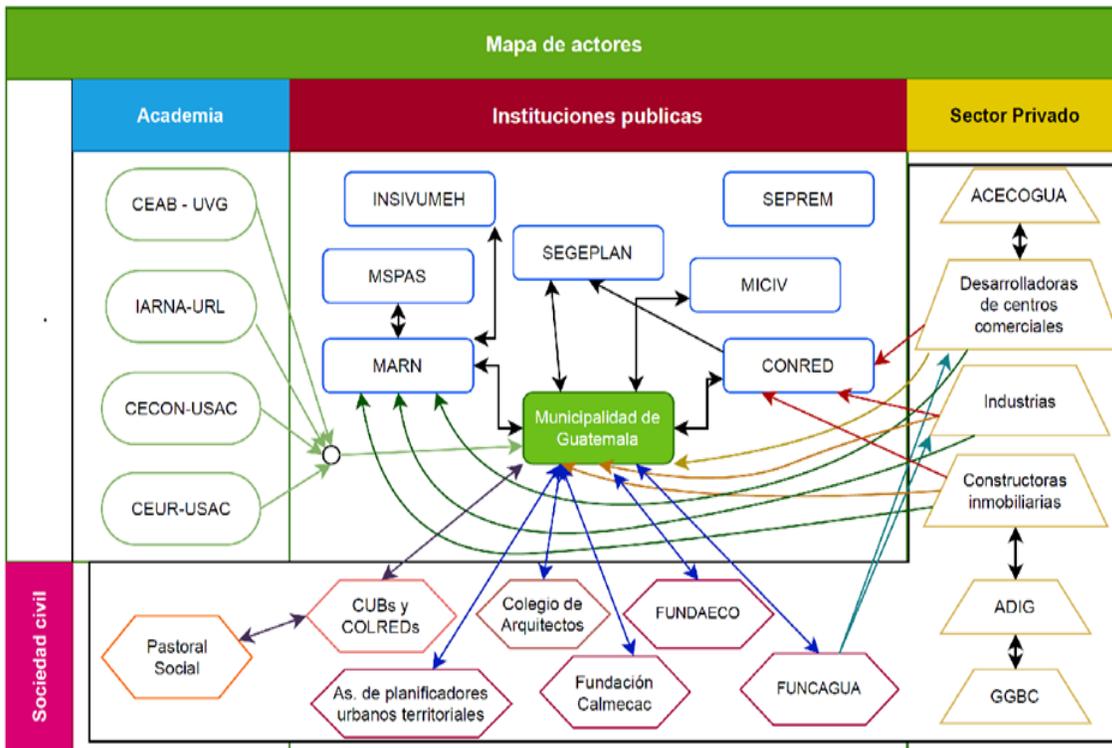


Figura 7. Mapa de nodos y conexiones entre actores. Fuente: Garcia-Piedrasanta, 2023

### 4.3. Contexto económico y social.

En las últimas tres décadas, el proceso de crecimiento del municipio, y en general del AMG, reforzó la condición del territorio como centro económico y político del país, de tal modo que la mayor parte del sector secundario y terciario nacional se concentra en este. Esto resulta provocando, por ejemplo, que en 2022 el 63.9% de la industria del país se encuentre dentro del AMG, o que en 2022 el 86.6% del total de empresas grandes del país y el 79.5% de las medinas se concentren en esta área (INE 2022). Tal condición refuerza la centralización y provoca que, para el 2022, el 45,1% del PIB del país se ubique en la zona (FUNDESA, 2022), aunque en ella habita solo el 20,23% de la población total. De hecho, las estimaciones de los últimos dos años señalan que existe un proceso de concentración geográfica de la riqueza, de tal modo que en el último año la cuota del PIB de la AMG aumentó en promedio 2.5% respecto a años anteriores (FUNDESA, 2022).

Tales condiciones se hacen mucho más marcadas en el municipio de Guatemala, el cual concentra el 24,6% del PIB, aunque solo representa el 6,9% de la población del país. De ello que el municipio reciba, según estimaciones de la Dirección de Movilidad Urbana, alrededor de 1,5 millones personas diarias como población flotante, la mayor parte proveniente de municipios colindantes, aunque el conglomerado que ingresa incluye un flujo de todos los departamentos de la república. El municipio de Guatemala, en función del grado de urbanización, está muy densamente poblada, donde algunas zonas dentro del municipio superan los 200 hab/ha como son las zonas 1, 5, 6, 7, 19 y 21 (DPU, 2021).

Los indicadores sociales y económicos del municipio de Guatemala son muy contrastantes. De partida, la concentración de la economía del país en la ciudad da lugar a que el PIB per cápita del municipio sea de US\$ 20,209.6 (FUNDESA, 2022), sin embargo, el coeficiente de Gini de 0.86 (IARNA 2017). Estos niveles de desigualdad se pueden entender observando la distribución de los ingresos familiares anuales, los cuales se muestran en la Tabla 1, según los datos de la Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos 2021.

Tabla 2. Distribución de ingresos familiares anuales en el municipio de Guatemala.

Centil	Ingresos (en US\$)
10	\$ 2,665
25	\$ 6,663
50	\$ 11,104
75	\$ 19,962
90	\$ 33,683

Fuente: Elaboración propia con datos de la ENEI (INE 2021)

Respecto a la Población Económicamente Activa, el 43.62% trabaja en el sector formal, y el restante 53.68% en lo informal. Además, el 10.23% de la PEA está subempleada (ENEI 2021).

Como sucede en otros espacios geográficos en Latinoamérica, la población flotante está vinculada a la movilidad provocada por las dinámicas económicas y políticas de concentración que se generan desde los espacios urbanos de mayor tamaño. En el caso de la AMG, este fenómeno tiene su base en las lógicas económicas y políticas centralistas del país, lo cual da lugar a esa doble condición de ser el único centro urbano con más de un millón de habitantes y, a su vez, de concentrar más de la mitad de la actividad económica en el municipio de Guatemala. Tales situaciones, vinculadas al proceso de configuración de la metrópoli, involucran una marcada estructuración de ciudades dormitorio en los municipios circundantes, las cuales se constituyen como zonas periféricas o suburbios.

Este contexto influye marcadamente con relación a la sostenibilidad y las capacidades de resiliencia del municipio por cuatro factores: a) porque se mantienen deficiencias y condiciones de vulnerabilidad sin resolver; b) se continúa y alimenta el hiper-centralismo; c) hay problemas de conjunto acumulados en la AMG; y d) existe limitaciones en la capacidad de carga, el diseño, e inversión que respondan a estos problemas.

Las condiciones descritas son importantes respecto los procesos de crecimiento y transformación urbana por las condiciones de vulnerabilidad social que se han generado. Un tema muy marcado de lo anterior es el alto número de asentamientos precarios, sobre los cuales en el 2015 se registraron un total 412 en toda la AMG, 255 de los cuales se encuentran en el municipio de Guatemala (Nuñez

& Lebeau, 2015). En términos demográficos, estas áreas involucran el 22,85% de la población de la AMG, la cual vive en lugares expuestos a peligros y/o son vulnerables por las condiciones de la infraestructura y la disponibilidad de servicios (Nuñez & Lebeau, 2015). Si consideramos solo a el municipio de Guatemala, este porcentaje aumenta, ya que representa 37,18% de la población.

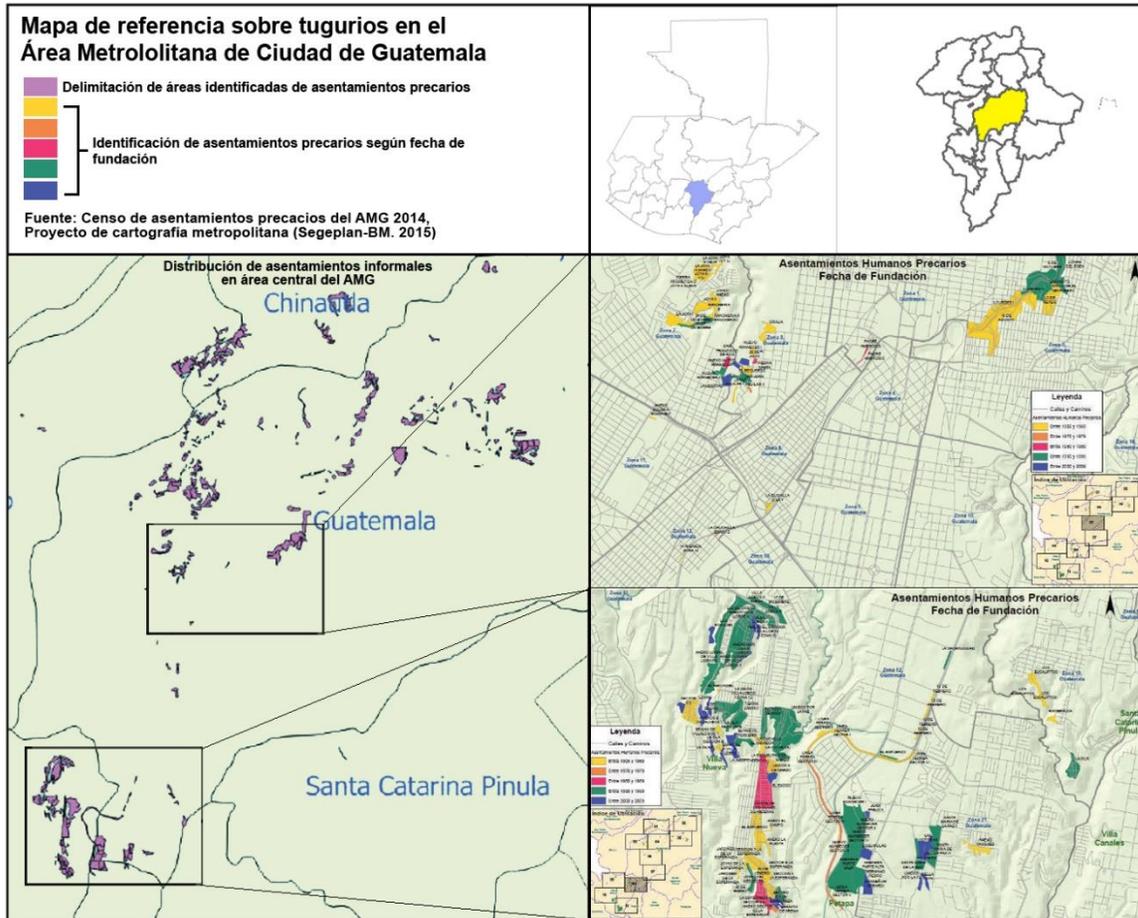


Figura 8. Distribución de asentamientos precarios en el área central del AMG. Fuente: Nuñez & Lebeau, 2015

En términos de las condiciones de los hogares, el Censo (INE 2019) señala que el 92.25% cuenta con servicio de agua domiciliar con instalaciones internas, otro 2.65% con servicio domiciliar con instalaciones externas, un 2.05% de pozos con instalaciones de bombeo, y el restante 3.05% depende de chorro público, pipas de agua, lluvia u otro. Con relación al manejo de agua residuales, un 96.79 está conectado a la red de alcantarillado público, y el 94.1% tiene Inodoro vinculado a esa conexión. Respecto al acceso a electricidad, la fuente en el 99.45% es la red de energía pública. En cuanto a la fuente principal de energía para cocinas, el 89.64% utiliza gas propano, el 6.75% electricidad, y el 3.61% usa leña, carbón o no cuenta con cocina.

### Población en asentamientos precarios

Las zonas con más alta concentración de población de estrato socioeconómico muy bajo corresponde a la 7, 18, 21 y 25 y las zonas con alta concentración de población de estrato socioeconómico bajo corresponde a las 6, 7, 18 y 21. Para el área metropolitana hay 422



Las infraestructuras viales son necesarias para interconectar el territorio urbano entre sus principales accesos, zonas pobladas, equipamientos prioritarios (ej. salud, abasto, cuerpos de socorro y escuelas) y de recreo (parques, zonas verdes). Estas infraestructuras viales dan acceso e intercambio a la ciudad, conectan a las zonas pobladas y facilitan la conectividad hacia equipamientos de salud, abasto, de atención y recreación. Los impactos climáticos, como derrumbes e inundaciones, sobre estas infraestructuras vitales tienen efectos sobre la economía, la población (y los grupos más vulnerables) y el bienestar de las personas.

#### 4.4. Contexto biofísico

La estructura topográfica del municipio se organiza en altiplanicies, agrupadas en nueve valles, y numerosas zonas de laderas que los fragmentan. Muchas de estas últimas tienen pendientes pronunciadas, dentro de las cuales hay formaciones con profundidades de más de 100 mts. Esta fisiografía es parte del ascenso de la ladera sur de la Sierra Madre oriental, y representa el fin de la boca costa que se forma hacia el océano Pacífico. Dentro de esta geografía, la zona Este y Oeste representan áreas donde continúa el ascenso altitudinal hacia las zonas altas de los cuerpos montañosos del arco volcánico, mientras que el sur y el norte son áreas de descenso, la primera hacia la costa ya mencionada, y la segunda hacia la cuenca del Motagua, la cual desemboca en el Golfo de Honduras.

#### Usos de la tierra

Respecto a las características de la cobertura de la tierra (Tabla 3), el uso predominante es el urbano, ocupando un total de 11,827.85 ha, o el 55.1% del territorio. El segundo con mayor cobertura son las áreas naturales de distinto tipo (bosques naturales y zonas en regeneración) las cuales ocupan 7610.31 ha, o el 35.4% del área total. Además, a pesar que no es un uso visible, el municipio mantiene una extensión de 1,520.981 ha de áreas con producción agrícola o forestal, en su mayoría granos básicos y hortalizas, lo cual involucra el 7% del territorio. El restante 2.5% son canteras, vertederos y otros (Figura 9).

Tabla 3. Usos de la tierra en el municipio de Guatemala. Fuente: Elaboración propia con datos del mapa de usos de la tierra del MAGA, 2021

No	Uso de la tierra	Área (ha)	% del total
1	Tejido urbano no definido continuo	6975.833	32.5%
2	Vegetación arbustiva baja (matorral y /o guamil)	4488.179	20.9%
3	Tejido urbano no definido discontinuo	2498.110	11.6%
4	Bosque mixto/Bosque latifoliado	2493.648	11.6%
5	Comercios y servicios diversos	769.179	3.6%
6	Granos básicos (maíz y frijol)	654.097	3.0%
7	Pasto natural	628.478	2.9%
8	Instalación deportiva y recreativa	581.265	2.7%
9	Hortalizas (papa, cebolla, repollo, zanahoria, lechuga y otros)	525.591	2.4%
10	Complejo industrial	310.802	1.4%
11	Café	261.039	1.2%
12	Instalación educativa	209.046	1.0%
13	Zonas de extracción minera (canteras)	206.891	1.0%
14	Centro comercial	184.083	0.9%
15	Aeropuerto internacional	147.161	0.7%

17	Base militar	142.724	0.7%
18	Cementerio	96.705	0.5%
19	Hospital	55.666	0.3%
20	Plantación de conífera	44.345	0.2%
21	Escombreras, vertederos o rellenos sanitarios y plantas de tratamiento	43.118	0.2%
22	Agroindustria	35.909	0.2%
23	Otros	119.84	0.6%

Sin embargo para entender la dinámica del uso de suelos en el municipio de Guatemala y sus implicaciones se debe tomar en consideración las cuencas de las áreas de donde la ciudad obtiene los principales servicios ecosistémicos (como por ejemplo provisión de agua, regulación de suelos, regulación hídrica, provisión de alimentos y materiales, soporte a la biodiversidad) que incluye no solo la ciudad y el AMG sino los Departamentos de Guatemala, Chimaltenango, Sacatepéquez, Baja Verapaz y el Progreso (Figura 10). Es así como las cuencas abastecedoras del 30% del agua del municipio de Guatemala se encuentran en las cuencas de los ríos Pixcayá y Xayá en el Departamento de Chimaltenango, a más de 35 kilómetros de las zonas de aprovisionamiento en la ciudad (Figura 9) (PROSEHIGUA. 2021).

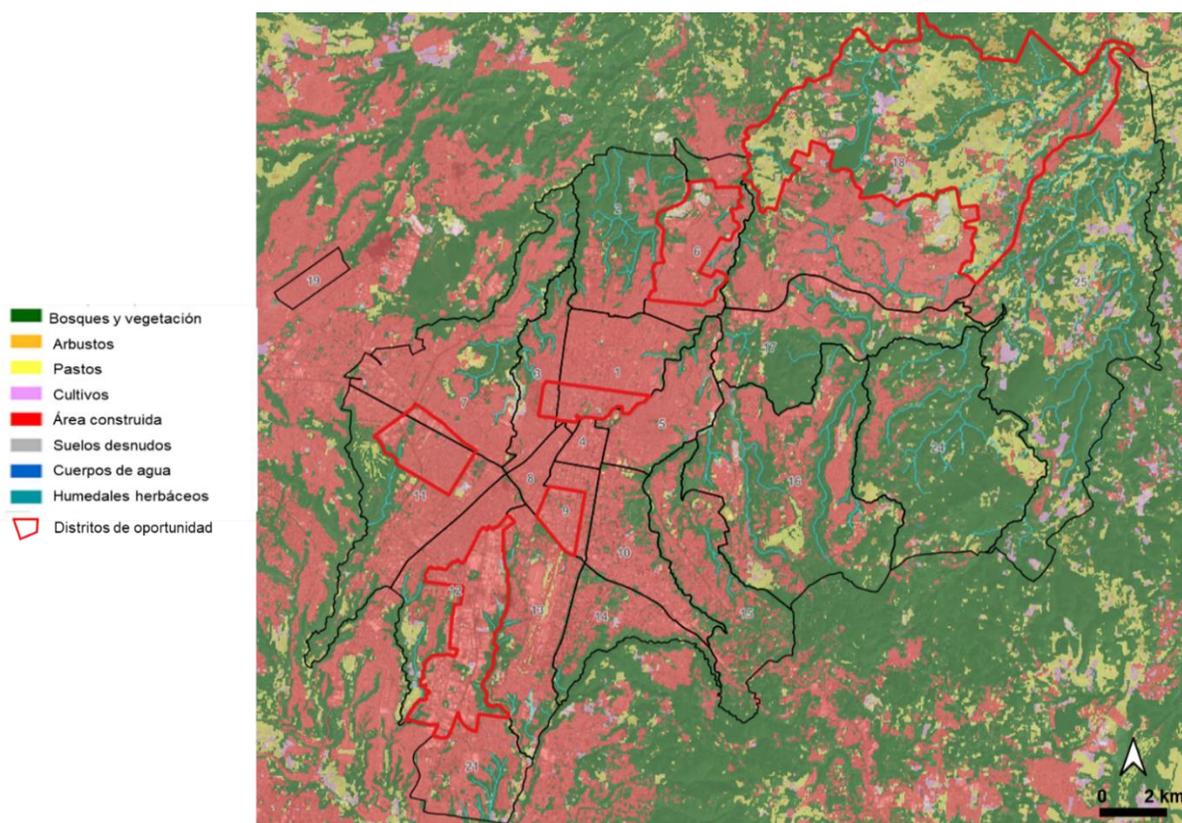


Figura 9. Mapa del uso de la tierra en el municipio de Guatemala (año base 2020). Fuentes: MAGA, 2021; ESA 2023

Este condición respecto a la ubicación de una de las fuentes principales tiene importantes implicaciones para la provisión de recursos y servicios básicos y en las políticas, estrategias y acciones de conservación y restauración de las cuencas abastecedoras específicamente en áreas de captación, infiltración y recarga hídrica de los acuíferos. Así las áreas específicas en cada municipio y departamento con potencial para proveer y regular servicios ecosistémicos deben ser

tomadas en cuenta para la planificación y ordenamiento territorial implicando diferentes actores y niveles de decisión. De esta manera se podrá conocer, analizar y decidir los usos del suelo actuales y futuros en función de los peligros y susceptibilidades a deslizamientos e inundaciones, la importancia para recarga hídrica y las áreas deforestadas y degradadas con potencial para la restauración y protección (PROSEHIGUA. 2021).

### Recursos hídricos y uso del agua

Por consiguiente, es esencial analizar el recurso hídrico a diferentes escalas, incluyendo la municipal, la del Área Metropolitana de Guatemala (AMG) y la departamental, en todo proceso de planificación y ordenamiento territorial. Las condiciones en las que se han llevado a cabo los procesos de crecimiento y transformación urbana están ejerciendo una considerable presión sobre el recurso hídrico, principalmente debido a tres aspectos clave:

- a) Contaminación de las aguas superficiales: Originada por problemas en la gestión de desechos, esta contaminación afecta directamente la calidad del agua superficial disponible.
- b) Impermeabilización del suelo: La urbanización del suelo ha contribuido a la impermeabilización, alterando los patrones naturales de infiltración y aumentando el riesgo de escorrentía, lo que puede afectar negativamente la recarga de los acuíferos y la disponibilidad de agua.
- c) Dependencia y sobreexplotación de aguas subterráneas: Existe una marcada dependencia y sobreexplotación de las aguas subterráneas para satisfacer la demanda de agua, tanto para uso doméstico como industrial.

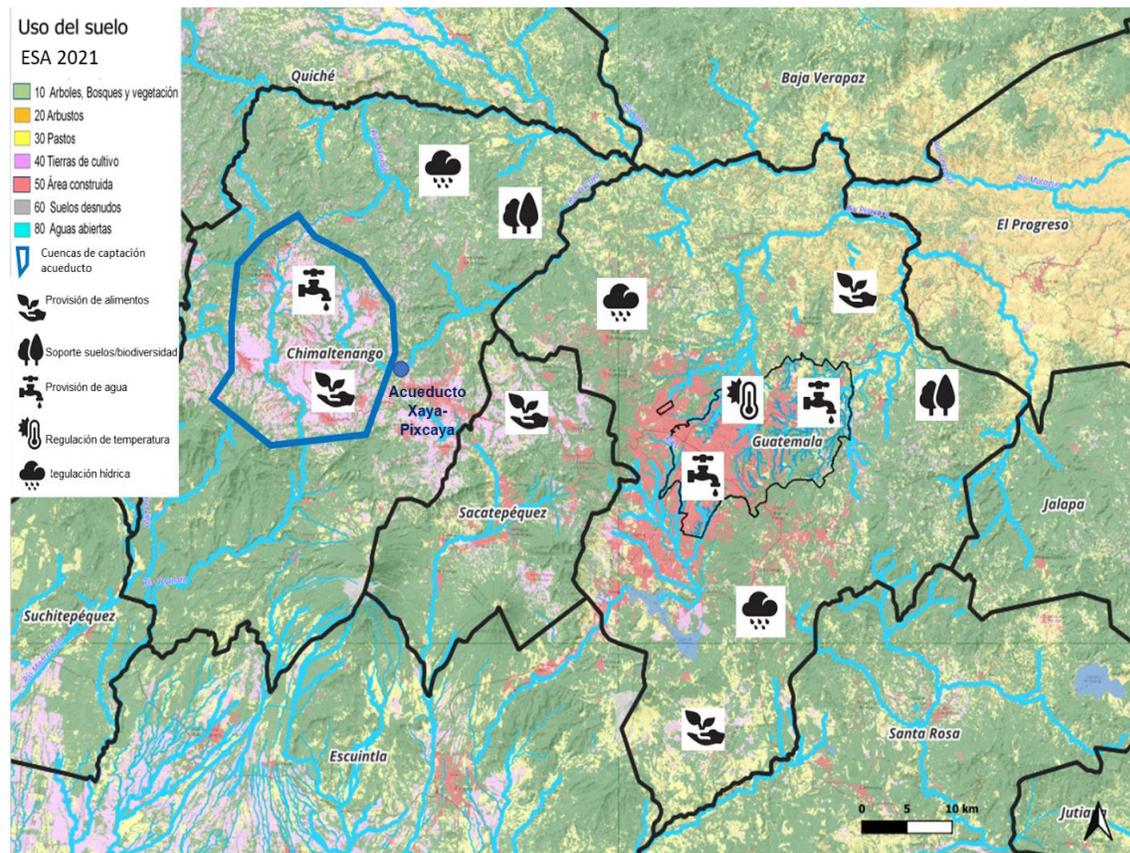


Figura 10. Mapa de la distribución de los servicios de los ecosistémicos de importancia para el municipio de Guatemala y el AMCG. Fuente: Elaboración propia a partir de MAGA (2021) y ESA, 2023.

Abordar estos desafíos requiere un enfoque integral que considere las diferentes escalas territoriales y se centre en prácticas sostenibles de gestión del agua, así como en estrategias efectivas para el manejo de desechos y la planificación urbana.

Del primer punto, es importante señalar los problemas de la producción, gestión y tratamiento de desechos sólidos y las aguas residuales en toda la AMG, ya que cada municipio afecta distintas áreas de las subcuencas del Villalobos, y la del río las Vacas. En términos de las aguas residuales, solo de la 30% de estas es tratado, siendo el restante descargado directamente en las corrientes superficiales permanentes (PROSEHIGUA. 2021). Esta deficiencia, está en parte vinculada a la dispersión del trazado y en la reorganización del diseño del sistema de alcantarillado público, el cual tiene función mixta y une drenajes sanitarios con los pluviales, de tal modo que en época de lluvias se hace muy complejo el tratamiento de aguas. Sobre la contaminación de las corrientes debida a desechos sólidos, la dificultad ocurre de inicio por el alto nivel de producción de desechos, la cual se estima llega a 1500 toneladas diarias solo en el municipio de Guatemala (PROSEHIGUA. 2021).

Con los datos de calidad de agua que se disponen por el monitoreo de 7 corrientes superficiales de la subcuenca de Villalobos, se puede observar que 6 de estas está fuertemente contaminadas, por lo cual no pueden ser utilizadas para el consumo. Utilizando de indicador el DBQ, los coliformes totales, *E. coli* y el arsénico y el plomo, se tiene los siguientes datos de la calidad de agua de estas corrientes:

**Tabla 4. Calidad del agua aguas superficiales de la AMG. Fuente: Elaboración propia con datos de AMSA (2022)**

Río / Estándar	DBO (mgO <sub>2</sub> /l)	Col. Totales (ufc/100ml)	E. coli (ufc/100ml)	Arsénico (µg)	Plomo (µg)
<i>LMP Coguanor NTG29001*</i>	0	0	0	10	10
<i>LMP AG 236-2006**</i>	200	10,000(NMP)	-	100	400
San Lucas	220	1,000,000	300,000	25.1	9.8
Pansalic	550	1,500,000	900,000	4,861	329
Frutal/Zacatal	250	4,800,000	4,200,000	38.7	11
Platanitos	400	21,000,000	11,000,000	46.1	10.8
Villalobos	110	2,700,000	1,200,000	48.8	4.6
Pampumay	3	990	270	13.3	3.1
Pinula	270	3,200,000	2,400,000	73.4	12.2

Respecto al segundo aspecto, el municipio mantiene 33.9% del territorio con cobertura arbustiva, forestal o agroforestal, pero el área ha estado disminuyendo a lo largo del tiempo y sufre además de los incendios regulares que afectan su capacidad para mantener la recarga hídrica. La situación

influye en la tercera problemática mencionada, ya que la falta de disponibilidad de fuentes superficiales desemboca en que el 90,7% del agua en el AMG es extraída de fuentes subterráneas. Tomando en cuenta las estimaciones que señala el IARNA-URL y TNC (2013), la demanda diaria de agua es de 1.516.190,2 m<sup>3</sup>, lo que involucra que hay un déficit hídrico de 362.554.962 m<sup>3</sup> anuales tomando en cuenta la capacidad de recarga de las cuencas y el porcentaje del agua que se extrae de esta fuente. De hecho el departamento con mayor presión sobre el recurso es el de Guatemala en el que la demanda supera en 77% la oferta de aguas superficiales (Gobierno de Guatemala; MARN, Rain Forest Alliance. 2022a).

Una evaluación reciente del nivel de 48 pozos en el AMG observó que la sobreexplotación de los acuíferos, entre el 1978 y el 2018, implica que un 20% de ellos paso de tener menos 100 m de profundidad, a más de 200mts, y otro 20% pasó de tener de 100 a 200 m a más de 300 m de profundidad (FUNCAGUA 2022). De hecho, las perforaciones actuales para alcanzar mantos freáticos suficientes específicamente dentro del municipio están en un rango de 365 a 609 m de profundidad.

En los inicios de la década de los sesenta la demanda de agua para consumo humano en Ciudad Guatemala se satisfacía aprovechando los nacimientos y vertientes más cercanas a la ciudad, posteriormente, y debido a la creciente demanda, se recurrió a traer caudales de zonas más lejanas ubicadas a unos 50 kilómetros de la ciudad (PROSEHIGUA, 2021). Pero el agua subterránea cubre el 60% de la demanda de agua del municipio de Guatemala, y el 40% restante proviene de agua superficial sobre todo de las cuencas abastecedoras de los ríos Pixcaya y Xayá, ambos situados en el Departamento de Chimaltenango. En consecuencia la regulación de la vegetación de estas cuencas es esencial en la interceptación, infiltración y recarga hídrica potencial del Valle de Guatemala y el soporte de los boques al control de la erosión y la susceptibilidad a deslizamientos (PROSEHIGUA. 2021). Por esto PROSEHIGUA en su Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala define una estrategia de restauración, rehabilitación y conservación de bosques, cafetales y áreas agrícolas, considerando el área metropolitana extendida que comprende los municipios de Guatemala, Amatitlán, Mixco, Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva, de manera a identificar las áreas prioritarias a escala de cuencas para asegurar la implementación y el impacto de las acciones (PROSEHIGUA. 2021).

Sin embargo, los acuíferos norte y sur del municipio de Guatemala presentan evidencias de estar siendo explotados por encima de su tasa de recarga media por varias décadas, puesto que se observan notables tendencias en el descenso de los niveles estáticos, así como niveles de contaminación antrópica preocupantes. El acuífero sur parece estar en situación estable, mientras que el acuífero norte se encuentra en sobreexplotación. Es por esto que varias iniciativas tratan de evaluar la capacidad de recarga de los acuíferos y las distintas opciones técnicas a ser aplicadas. PROSEHIGUA y EMPAGUA analizan el potencial de recarga en el municipio de Guatemala en función del tipo y uso de suelos, y FUNCAGUA inició proyectos piloto para recarga con pozos de infiltración en distintos puntos del Valle de Guatemala y municipios vecinos. Estas características de los cambios en el uso de la tierra permiten entender la dinámica y los efectos sobre los servicios de los ecosistemas de los cuales depende la ciudad y el área metropolitana, en particular para la provisión de agua y el control hidrológico (ver Servicios ecosistémicos en la ciudad).

## 5. CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

### 5.1. Patrones climáticos y variabilidad

En relación a los cambios climáticos observados, las tasas medias de precipitación son poco consistentes y las señales de las tendencias a largo plazo son generalmente débiles. Las distintas bases de datos muestran diferencias significativas dependiendo principalmente del tipo y resolución de los datos. Se observaron pequeñas tendencias positivas en la precipitación anual total para el país. No obstante, para Centro América, las tendencias de las precipitaciones anuales generalmente no son significativas, con excepción de pequeñas tendencias positivas significativas para subregiones o períodos limitados (IPCC, 2021).

Para el AMG, debido a la conformación geográfica y las diferentes alturas, el clima puede ser muy variado, con temperaturas promedio anuales entre los 10 y 25 °C. En relación con la precipitación, el promedio anual varía dependiendo de las altitud y condiciones locales variando desde los 624mm hasta los 4,000mm. Como en todo el país, las condiciones climáticas en el municipio de Guatemala están principalmente definidas por la época de lluvias, la cual normalmente ocurre entre mayo y octubre, siendo noviembre a abril la época seca. Además, entre julio y agosto se produce un período seco denominado canícula debido al ciclo de los vientos alisios, los cuales causan cambios temporales en la movilización de los sistemas nubosos, fortaleciendo un fenómeno de anticiclón.

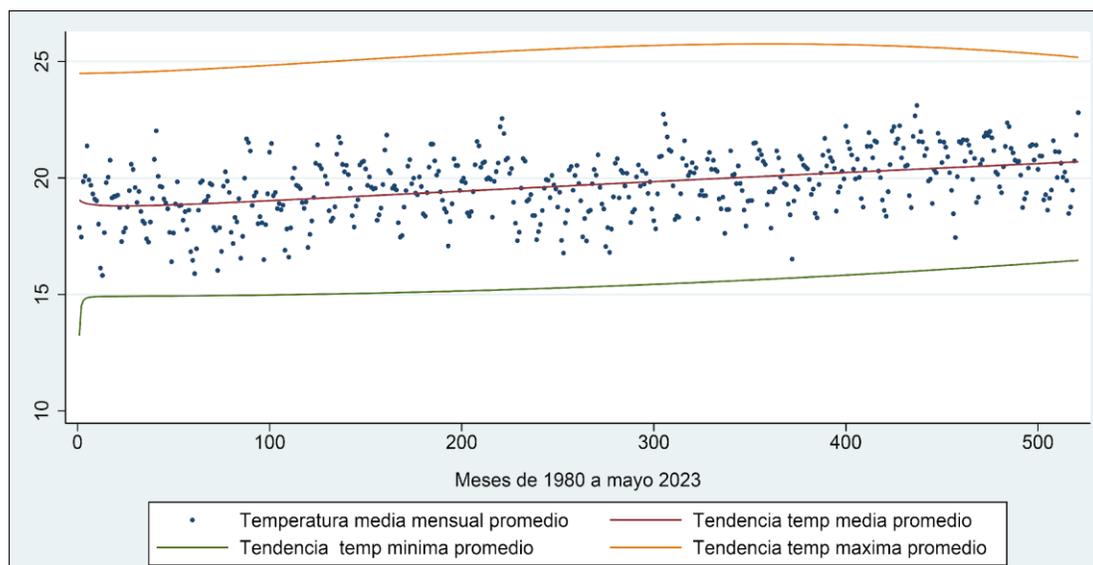


Figura 11. Tendencia de temperatura media mensual de enero 1980 a mayo 2023. Fuente: Elaboración propia con datos de estación meteorológica de INSIVUMEH (2023)

Los patrones, sin embargo, se han modificado en las últimas 2 décadas, de tal modo que los niveles y rangos de las variables climáticas están en un proceso de cambio. Con relación a las temperaturas, hay una propensión muy definida al aumento de estas, que se evidencia por una correlación temporal positiva en las temperaturas mínimas, medias y máximas. Respecto a las tendencias (Figura 11), las temperaturas mínimas tienen una inclinación positiva permanente; las temperaturas medias tienen un periodo muy corto de disminución a inicios de la década de los ochenta, para luego igual mantener una constante inclinación positiva; mientras que las temperaturas máximas presentan una tendencia

positiva hasta alrededor del 2010, para luego tener una leve tendencia decreciente durante la última década. En términos del cambio de valores, de los años ochenta a la última década, la magnitud del aumento de la temperatura promedio es de 1.45 °C. Esta modificación es más marcada en las temperaturas mínimas, las cuales variaron en 1.82°C, y menor en las máximas, las que aumentaron 1°C.

La dinámica de las lluvias, al observar la distribución de los datos de la precipitación acumulada mensual, existen patrones diferenciados según los meses del año. Durante la época seca no se evidencia mayor cambio en los últimos 40 años, más que en marzo de la última década, y en noviembre de la década a inicio de siglo, donde aparecen niveles de precipitación con un límite superior mayor. Por su parte, durante la época lluviosa, fuera de junio y septiembre, en la última década se visibiliza una marcada ampliación del rango de distribución, lo que involucra un aumento de la variabilidad de año a año. Además, en el caso de mayo, agosto y septiembre, existe una tendencia al aumento del volumen de lluvias mensual. Respecto a la tendencia de la precipitación acumulada (Figura 12, esta muestra una inclinación positiva continua que inicia con niveles inferiores a los 100 mm en los ochenta, para pasar a valores superiores a los 100mm. Tal patrón parece vincularse con la mayor ocurrencia de una precipitación acumulada por sobre los 300mm mensuales después del siglo.

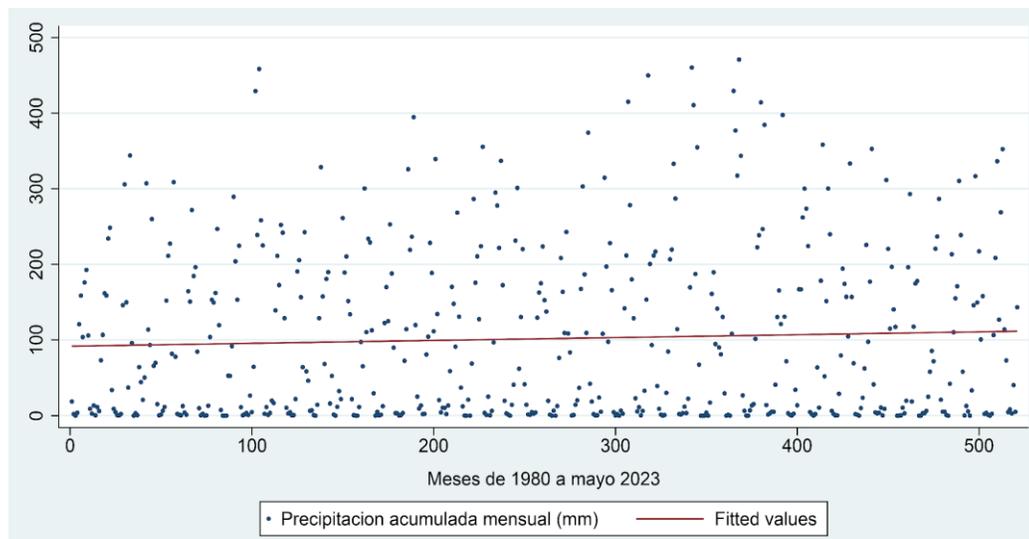


Figura 12. Tendencia de precipitación diaria de enero 1980 a mayo 2023. Fuente: Elaboración propia con datos de estación meteorológica de INSIVUMEH (2023)

Un aspecto importante de los patrones de lluvia es señalar que existen extremos muy altos en las precipitaciones diarias, las cuales han ocurrido en todas las décadas. Por ejemplo cada 10 a 50 años pueden ocurrir fenómenos de lluvias extremas con acumulación de lluvia muy importante. De estas, es especialmente marcada la ocurrida en noviembre del 1998, cuando se registraron 198 mm en un día durante la tormenta tropical Mitch, y la de mayo del 2010, cuando hubo una precipitación de 232 mm, por la tormenta Agatha. Esta última, además, sucedió 2 días después una fuerte erupción del Volcán de Pacaya, lo cual tuvo fuertes impactos en la ciudad porque agregó los efectos de la arena y ceniza caída con el arrastre de las lluvias. Durante las tormentas Eta y Iota, en Noviembre del 2020,

se acumularon en zonas de Guatemala, en solo 10 días, hasta 635 mm de lluvia (Bello y Peralta, 2021). Por ejemplo, en algunas áreas de Alta Verapaz llovió entre 150 y 200 milímetros en 24 horas y esto se estima ocurre solamente una vez cada 10 a 50 años, pero en Noviembre del 2020, ocurrió dos veces en menos de un mes (Escobar Wolf, 2021).

## 5.2. Impactos observados

Aunque existen indicaciones que los impactos del cambio climático son diversos y afectan varios aspectos de la vida urbana del municipio de Guatemala, aún no existen evidencias suficientes para afirmar que se estén ya observando de manera clara. Algunos de los impactos para los que empiezan a existir evidencias son la variabilidad en las precipitaciones y cambios en los patrones de lluvia con sus efectos en la disponibilidad de recursos hídricos como lo muestran los datos de los últimos 25 años sobre alteraciones en los patrones de lluvia y el aumento de la propagación de enfermedades transmitidas por vectores como mosquitos, el incremento en los riesgos para las infraestructuras básicas consecuencia de eventos climáticos extremos, incluyendo carreteras, puentes y sistemas de drenaje.

(MARN y Rain Forest Alliance, 2022a, 2022b).

No obstante, dada la variabilidad climática actual, hay evidencias sobre los principales impactos observados en el municipio de Guatemala y su área metropolitana que se relacionan con la provisión de agua (tanto subterránea en las cuencas dentro de la ciudad y el AMG, como superficial en las cuencas abastecedoras sobre todo en otros departamentos), las inundaciones por lluvias intensas y derrumbes (dados los patrones de uso de tierras y de planificación urbana), las sequías meteorológicas y las islas de calor consecuencia de la urbanización y expansión urbana creciente. La amenaza actual de sequía meteorológica para el municipio de Guatemala es moderada. No obstante, para el futuro, en función de un escenario pesimista (2040-2069 RCP 8.5), las cuencas de captación y aprovisionamiento de aguas superficiales, que constituyen el 40% del agua consumida por el municipio de Guatemala y están localizadas en los Departamentos de Chimaltenango y Guatemala la amenaza es alta a muy alta (MARN y Rain Forest Alliance, 2022a, 2022b).

Aunque el impacto de las inundaciones para el municipio de Guatemala actualmente es muy alto, con la disminución que se proyecta en los niveles de lluvia en un escenario pesimista para 2040-2069 (RCP 8.5) se espera un impacto por inundación disminuya. Contrariamente, el impacto de los deslizamientos que actualmente es muy alto, bajo un escenario pesimista para 2040-2069 (RCP 8.5) sigue siendo muy alto (MARN y Rain Forest Alliance, 2022a, 2022b).

## 5.3. Proyecciones climáticas futuras

La variabilidad natural seguirá modulando los cambios climáticos causados por el hombre, ya sea atenuando o amplificando los cambios proyectados, con poco efecto sobre el calentamiento global a escala del siglo. Es importante considerar estas modulaciones en la planificación de la adaptación, especialmente a escala regional y en el corto plazo (IPCC, 2023). Los modelos globales y regionales proyectan consistentemente un calentamiento en toda la región Centroamericana para finales de siglo 21, en particular bajo los escenarios de RCP4.5 y RCP8.5 se observa un mayor calentamiento para los territorios continentales en comparación con los insulares, alcanzando probablemente valores entre 2°C y 4°C (alta confianza) (IPCC, 2021). En cuanto a las precipitaciones, es probable

que los cambios de precipitación promedio anual para la región estén en los rangos de -10 a 0% (Centro Clima. 2020; IPCC, 2021). Existe un alto acuerdo y una alta confianza en la disminución proyectada de las precipitaciones para finales de siglo para la mayor parte de la región, particularmente para las precipitaciones anuales y de verano, pero hay poca confianza en la magnitud de esta disminución, que varía entre el 0% y el 50% para diferentes proyecciones (IPCC, 2021). Los escenarios de cambio climático para Guatemala muestran que para el Departamento y el municipio de Guatemala las principales amenazas son las lluvias extremas, inundaciones, deslizamientos e islas de calor y en menor medida sequías meteorológicas (Centro Clima. 2020; MARN y Rain Forest Alliance, 2022a, 2022b). Esto implica una mayor exposición de la población e infraestructuras básicas a estos fenómenos con impactos importantes sobre los servicios de los ecosistemas y algunos grupos de población específicos (menores, ancianos, mujeres).

Las proyecciones de los impactos del cambio climático de escenarios<sup>3</sup> para 2030, 2050 y 2100 pronostican para el departamento de Guatemala cambios en la pluviosidad y la precipitación (Figuras 13 y 14). Para los cambios en la precipitación la incertidumbre es alta pues los modelos utilizados y los datos generados no permiten tener información a escala de la ciudad que permita analizar los impactos de los cambios en variables como la precipitación. Es así como los cambios en las precipitaciones estacionales anuales varían entre -5% y +5% según los escenarios estacionales para el 2040, con valores que muestran una alta incertidumbre pues algunos de ellos alcanzan rangos de 0 % a 60 % de disminución de precipitación media anual con proyecciones para escenarios RCP4.5 y RCP8.5 proyectan una disminución de precipitación muy similar hasta la década del 2040-2049 de aproximadamente 5 a 7 % (Rivera, P., Ochoa, W., Salguero, M., 2020).

Sin embargo, para el caso de la temperatura media anual, las cifras son más claras y aunque se mantiene el comportamiento a lo largo del año, los incrementos de la temperatura serán mayores según el escenario, entre 1 °C (para RCP 4.5) y 2°C en promedio (para RCP 8.5) para el 2040 (Climate Knowledge Portal, 2023). Se observa además que la anomalía de la temperatura media para todos los escenarios es baja, lo que confirma un bajo nivel de incertidumbre acerca de las cifras de aumento de temperatura media para el periodo 2040-2100 (Climate Knowledge Portal, 2023) (Figura 13). En las primeras cuatro décadas de presente siglo se observa que los todos os RCP presentan un aumento de temperatura muy parecidos entre ellos y es solo después del periodo 2040-2069 que las proyecciones empiezan a diferenciarse entre sí, con aumentos mayores para la temperatura en el RCP8.5 cercano a los 4 °C (Rivera, P., Ochoa, W. & Salguero, M. 2020).

En cuanto a la amenaza de lluvias extremas para el municipio de Guatemala, en función de un escenario donde los GEI siguen la tendencia actual (2040-2069 RCP 8.5) esta amenaza moderada será similar a la actual. La amenaza de inundaciones para el AMG y el municipio de Guatemala

---

<sup>3</sup> Los RCP (por sus siglas en inglés) son las Trayectorias de Concentración Representativas de gases de efecto invernadero (no emisiones) adoptada por el IPCC. En el último informe del IPCC en 2022 se utilizaron 7 para la modelización del clima que describen diferentes escenarios futuros, los cuales se consideran posibles dependiendo del volumen de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos en las próximas décadas. Estos RCP van de mayor a menor fuerza reactiva, y se catalogan como RCP 1.9, RCP 2.6, RCP 3.4, RCP 4.5, RCP 6, RCP 7 y RCP 8.5 (IPCC, 2IPCC, 2022). Según las últimas recomendaciones del IPCC (2023) la relación de algunos escenarios de RCP y el impacto en las temperaturas puede resumirse en:

RCP 2.6 (emisiones bajas) = límite del calentamiento a 2 C

RCP 4.5 (emisiones intermedias) = límite del calentamiento a 3 C

RCP 8.5 (emisiones como las actuales) = límite del calentamiento excede los 4 C

actualmente es muy alta, pero, con los cambios en los regímenes de pluviosidad en un escenario RCP 8.5, para 2040-2069 la amenaza de inundación disminuiría porque se proyecta que el volumen de lluvia decrezca y este localizado en algunas áreas específicas de la ciudad (MARN y RA, 2022a, 2022b). Contrariamente, en el caso de la amenaza de deslizamientos en el escenario RCP 8.5, para 2040-2069 (RCP 8.5) la amenaza seguirá siendo muy alta (MARN y RA, 2022a, 2022b).

En resumen, aunque la incertidumbre es alta, se puede concluir que, a causa de estas variaciones climáticas futuras, se podría esperar:

- Inundaciones por fenómenos de lluvias extremas y como consecuencia de la urbanización en áreas expuestas al comportamiento de ríos, cañadas y barrancos que atraviesan la ciudad.
- Deslizamiento en zonas de ladera, bordes de quebradas y barrancos de la ciudad (en particular, el Barranco Incienso-Naranja, Molino-Las Charcas, Guadrón y Pinula), debido a los procesos de urbanización en áreas en expuestas y a la erosión y degradación de los suelos.
- Incremento del fenómeno de islas de calor en la ciudad, con efectos en grupos de riesgo (adultos mayores, mujeres, niños, niñas y enfermos).
- En cuanto al recurso agua, para el 2050 la demanda triplicaría la oferta de agua superficial en el departamento de Guatemala (MARN y RA 2022a).

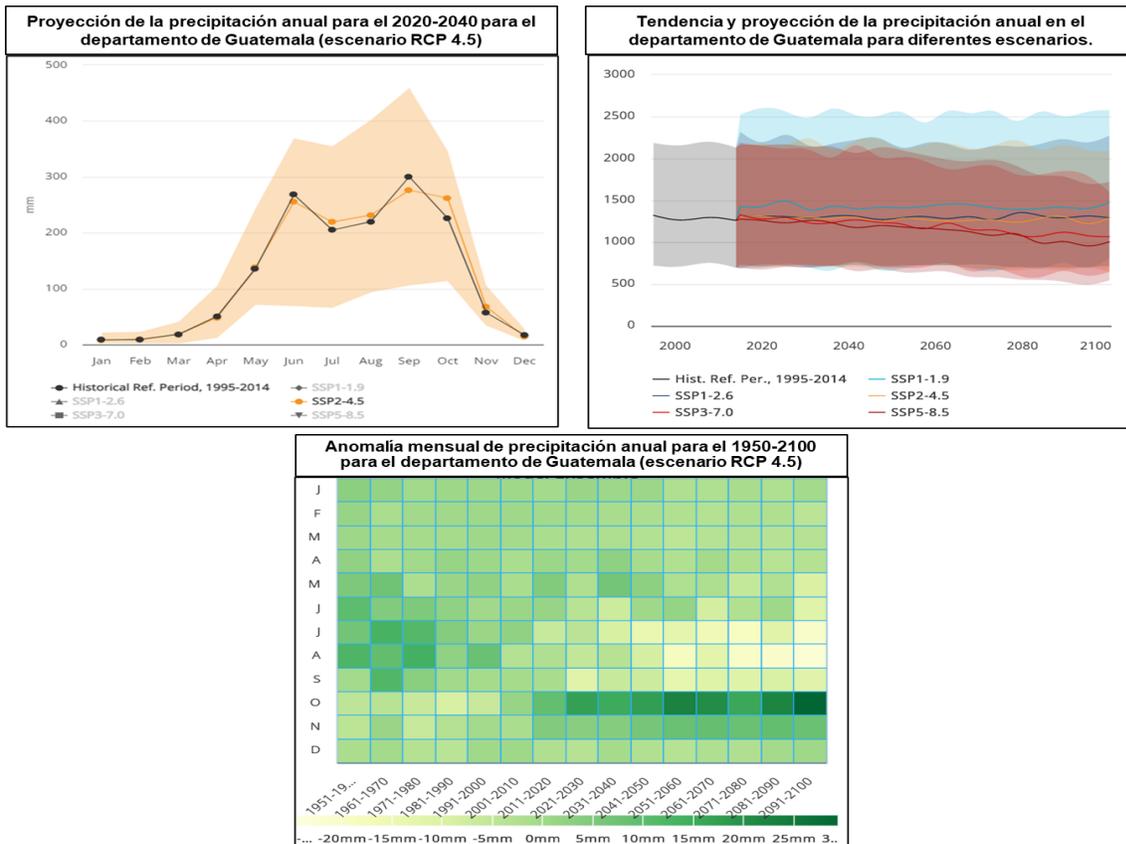


Figura 13. Tendencias y proyecciones en la precipitación anual para el periodo 1950-2100 en el municipio de Guatemala. Fuente: Climate Knowledge Portal

Con relación al fenómeno de islas de calor, las Figuras 15a y 15b muestran las islas de calor en función de la temperatura de superficie en la ciudad actualmente y para un escenario futuro de incremento de la temperatura de 2 grados C. Esto puede tener incidencia en la calidad de vida y la salud de importantes grupos sociales vulnerables (ej. ancianos e infantes) y zonas de la ciudad con implicaciones importantes a nivel de las inversiones o de las posibilidades de utilizar soluciones de adaptación para controlar y regular las islas de calor. De hecho, el confort ambiental o térmico para el cuerpo humano, según el tipo y la localización de una ciudad, se sitúa en temperaturas de entre 26 y 29 °C y el límite para realizar actividades físicas seguras está entre los 29 y 32 °C (BID, 2018).

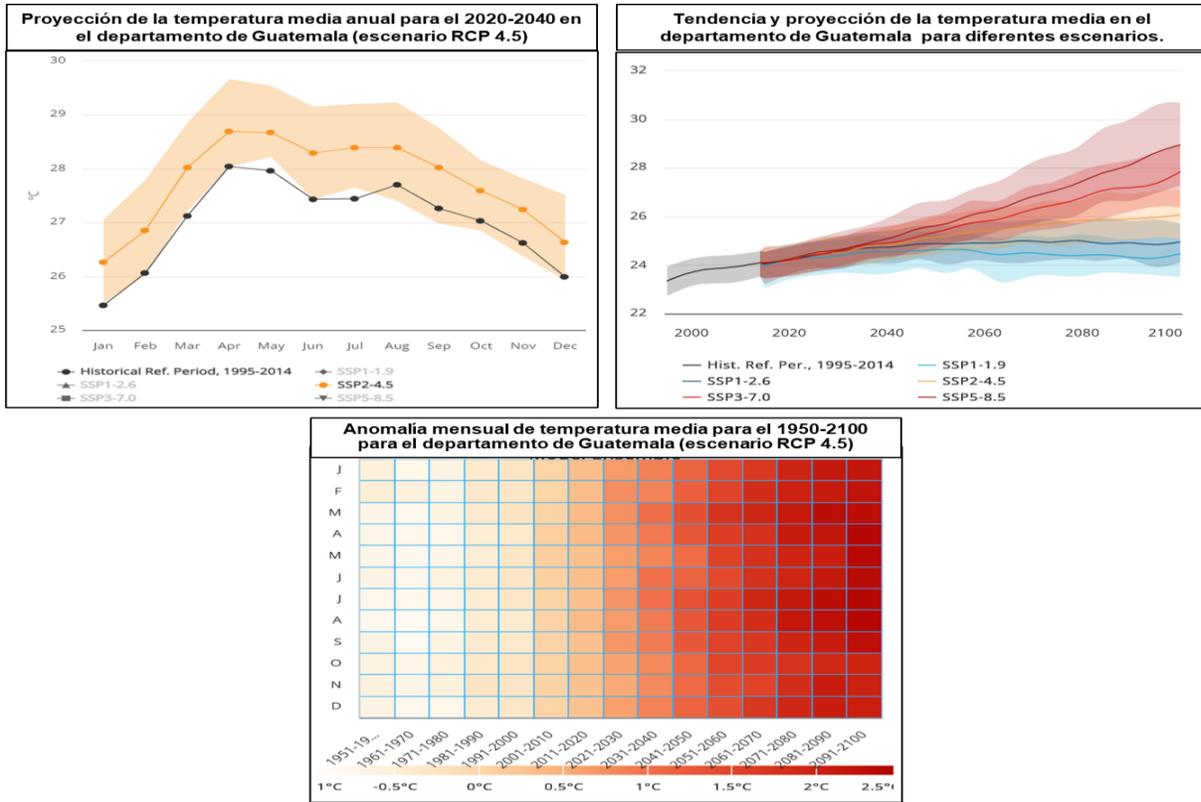


Figura 14. Tendencias y proyecciones en la temperatura anual para el periodo 1950-2100 en el municipio Guatemala. Fuente: Climate Knowledge Portal

Temperatura actual

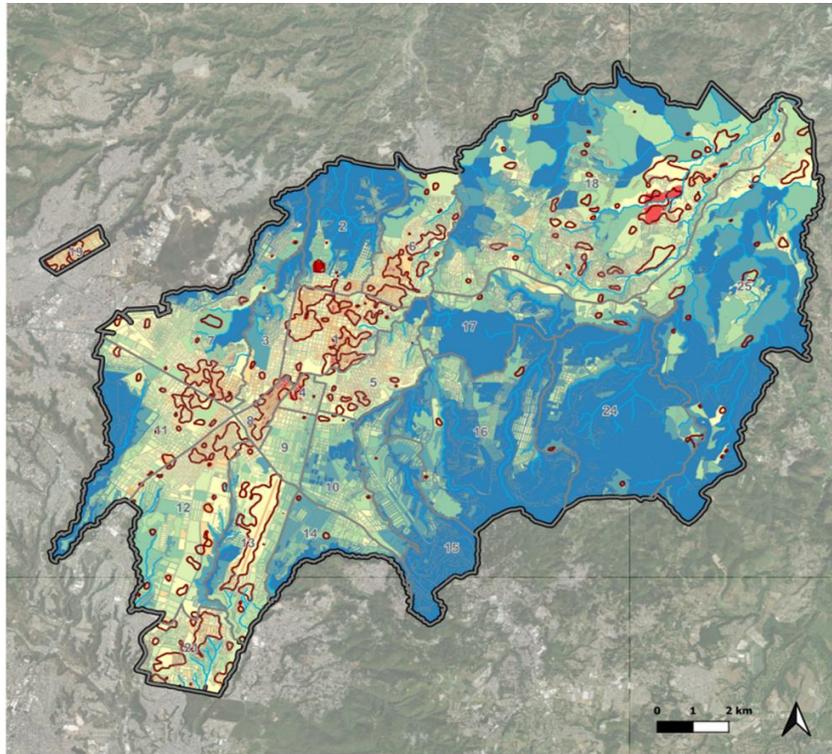


Figura 15. Islas de calor actuales en el municipio de Guatemala para el 2022 (temperatura de superficie actual normalizada por manzanas al día más caluroso) Nota: entre paréntesis, número de manzanas por categoría de temperatura. Fuente: Elaboración propia con datos de SENTINEL

Temperatura 2050 +2°C

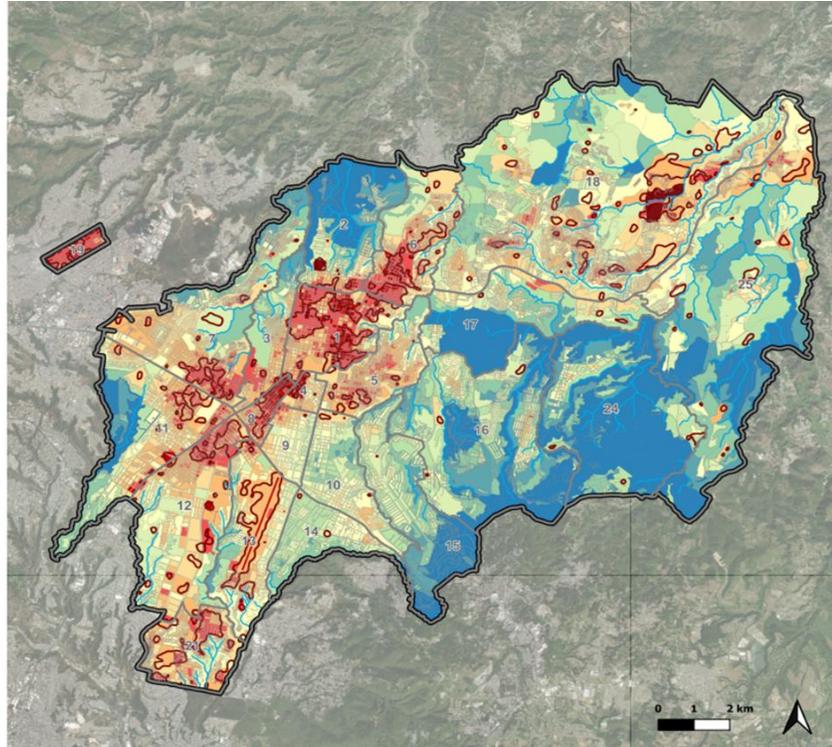
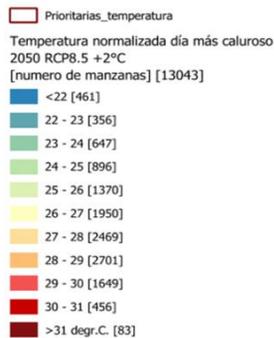


Figura 15b. Cambios en las islas de calor para el periodo 2030-2050 para el municipio de Guatemala (temperatura de superficie para un escenario de incremento RCP 8.5, normalizado por manzanas al día más caluroso) Nota: entre paréntesis, número de manzanas en cada categoría de temperatura. Fuente: Elaboración propia con datos de SENTINEL

## 6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGOS CLIMÁTICOS

### 6.1. Indicadores y métrica

En el caso de Nature4Cities, los análisis de vulnerabilidad y riesgo en las ciudades son específicos al contexto socioeconómico y ambiental, por lo tanto a las causas y consecuencias generadas por las acciones de planificación y gestión territorial. Por esto el uso, la agregación y la interpretación de los indicadores debe tomar en cuenta la disponibilidad de información, así como también el uso de la evaluación para la identificación de puntos críticos y la exploración de opciones de adaptación y mitigación al cambio climático y las necesidades y capacidades de los actores. Como ilustra la Figura 16, en función de los componentes y las variables, de la información disponible y de las necesidades para la planificación y ordenamiento urbano, se seleccionó en consulta con los actores un conjunto de indicadores para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo climático.

### 6.2. Causas de los impactos

Los impactos se derivan no solamente por la amenaza a fenómenos naturales y la exposición de áreas y grupos a peligros climáticos. Se debe tomar en consideración la dinámica de la urbanización y los cambios en el uso de las tierras (incluidos la dotación de recursos y servicios ecosistémicos que generan diversos impactos sobre la población, los grupos sociales, las infraestructuras y los medios de vida). Estos impactos se pueden incrementar resultado del desarrollo urbano y de los consecuentes efectos diferenciales derivados del cambio climático.

1. Contexto	2. Peligros		3. Impactos		4. Sensibilidad Socio económica	5. Capacidad de Adaptación		6. Vulnerabilidad	7. Riesgos
	a. Amenazas	b. Exposición	a. Ecológicos	b. Socio económicos		a. Estructural	b. No estructural		
Ciudad de Guatemala (Ladera)  Dinámica urbana  Socioeconomía (población, grupos vulnerables, actividades, infraestructuras)  Recursos naturales (medio biofísico, servicios de ecosistemas, uso recursos naturales)  Clima actual Clima futuro  Iniciativas pasadas y en curso	Temperatura media (cambio)  Temperatura de superficie (cambio)  Precipitación anual (cambio)  Eventos extremos (cambio de ocurrencia en lluvias, temperatura de superficie, sequías)	Localización de población  Localización de equipamientos - Escuelas - Hospitales - Centro de salud  Grupos expuestos - Mujeres - Infantes - Ancianos - Comunidades indígenas  Localización infraestructura - Vías/Calles - Puentes - Bocas de tormenta - Red de abasto	Localización de servicios de ecosistemas - Regulación hídrica - Provisión de agua - Control erosión - Soporte biodiversidad - Provisión de materiales y alimentos - Regulación temperatura	Barrios afectados  Manzanas afectadas  Viviendas afectadas  Servicios básicos afectados  Grupos afectados	Distribución estrato económico  Calidad de vivienda  Terrenos ocupados en zonas de protección	Áreas recreativas  Áreas en zonas verdes  Áreas de zonas de protección  Índice de vegetación normalizado (NDVI) Índice de Humedad de Diferencia Normalizado (NDWI)  Áreas reforestación  Zonas de restauración Zonas de recarga de acuíferos	Gestión de desastres  Reubicación planificada  POT  Distritos de Oportunidad  Instrumentos urbanísticos	Población - Manzanas afectadas  Servicios de ecosistemas afectados  Servicios básicos afectados	Áreas inundadas  Infraestructura inundada  Áreas con derrumbes  Infraestructura con derrumbes  Áreas e infraestructura afectadas por islas de calor  Áreas deforestadas  Áreas verdes ocupadas

Figura 16. Componentes, variables e indicadores para la evaluación en el municipio de Guatemala. Fuente: Elaboración propia

Es así, por ejemplo, cómo sumado a la posible variabilidad de precipitaciones por cambio climático, la deforestación y los cambios de uso del suelo en las cuencas abastecedoras que proveen de agua

a la ciudad, pueden tener importantes efectos en la cantidad y calidad del agua para la ciudad. En el caso del municipio de Guatemala estos impactos se derivan en buena parte consecuencia de los procesos y dinámicas de expansión y urbanización no planificada en las últimas décadas y en la actualidad, no solo en la ciudad, sino también a nivel del AMG (Figuras 5a y 5b). Por esto se debe tomar en consideración la dinámica de la urbanización y los cambios en el uso de las tierras (incluidos la disponibilidad y degradación de recursos y servicios ecosistémicos en la ciudad, el área metropolitana y las cuencas de los departamentos circundantes) en donde se generan los diversos impactos sobre la población, los grupos sociales, las infraestructuras y los medios de vida).

Es así como las Figuras 17a y 17b muestran la dinámica y el grado de deforestación para el 2022, tanto en la ciudad como en las cuencas abastecedoras de agua. Estos impactos se pueden incrementar resultado del desarrollo urbano y de los consecuentes efectos diferenciales derivados del cambio climático. Es así, por ejemplo, como sumado a la variabilidad de precipitaciones por cambio climático, la deforestación y los cambios de uso del suelo en las cuencas abastecedoras de agua superficial y subterránea pueden tener importantes efectos en las ecuaciones de oferta/demanda y de cantidad/calidad del agua. Este aumento aunado a un volumen de extracción adecuado se traduciría en aumentar la vida útil de los pozos, y así diferir inversiones en nuevas perforaciones más profundas.

Cambio de cobertura forestal

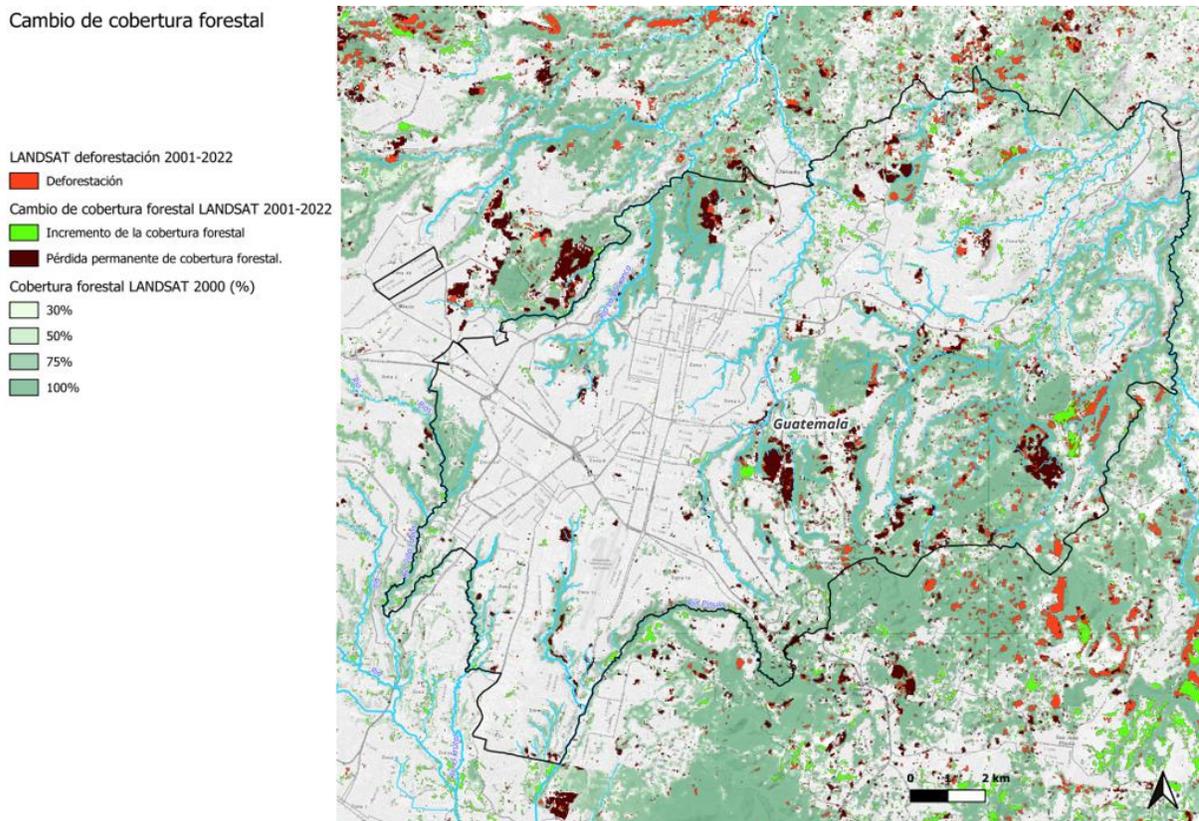


Figura 17. Cambio de la cobertura forestal en el municipio de Guatemala 2000-2022. Fuente: ESA, 2023

Por esto uno de los principales impactos que está teniendo el cambio climático en la ciudad se debe a los cambios en el régimen de pluviosidad en las cuencas abastecedoras. Esto trae como consecuencia, además, de la problemática de provisión de agua, que la impermeabilización de los

suelos urbanos y los cambios en el uso de los suelos impida la correcta infiltración de agua en exceso y la recarga de los acuíferos, generándose en cortos periodos de tiempo gran escorrentía de manera muy rápida causando inundaciones y sin contribuir a la recarga de acuíferos por falta de tiempo de infiltración.

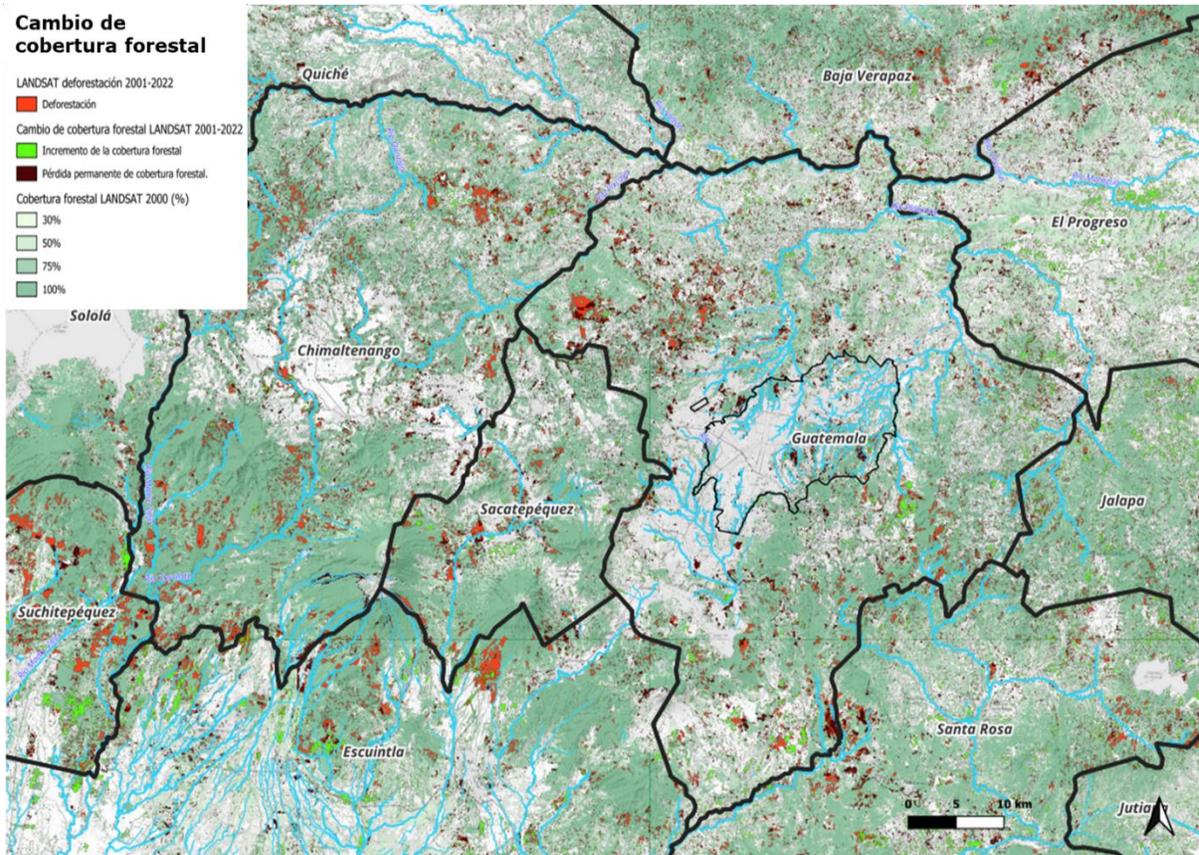


Figura 17b. Cambio de la cobertura forestal en el AMG y departamentos vecinos 2000-2022. Fuente: ESA, 2023

### 6.3. Vulnerabilidad y riesgos climáticos

En función de los peligros, los impactos y la sensibilidad socioeconómica, los principales efectos climáticos en el municipio de Guatemala se relacionan con la vulnerabilidad de la población, los servicios básicos y los servicios de los ecosistemas. Esto tiene efectos sobre los riesgos actuales y futuros para las áreas e infraestructuras de la ciudad principalmente por las amenazas de cambios de temperatura, las lluvias intensas, la modificación en el balance hídrico y los eventos extremos. Estos impactos se traducen en inundaciones pluviales y por represamiento de aguas, movimientos de masa y derrumbes, islas de calor, deforestación en las cuencas abastecedoras y barrancos de la ciudad por los cambios en el uso de tierras y en la vegetación y en menor medida por las sequías.

#### Inundaciones

Según estimaciones, el riesgo de inundaciones actual es muy alto y el riesgo estimado para el 2040-2070 es bajo, sobre todo por cambios en el régimen pluvial (MARN y RA, 2022a). No obstante, no es plausible que estos cambios de riesgos se reflejan en una disminución de las inundaciones en las

áreas vulnerables actualmente en el área AMG. El riesgo de lluvias extremas es moderado actualmente y en el futuro según los escenarios de cambio climático (MARN y RA, 2022a).

Según el plan de resiliencia (DPU, 2021), con datos de CONRED para 2016, identifica las áreas dentro del municipio con mayor susceptibilidad y riesgo a daños por socavamiento en el territorio por inundaciones las áreas de los barrancos Complejo de Barrancos Molino-Las Charcas, Complejo de Barranco Las Vacas, Complejo de Barrancos y Cerros Los Ocotes – Agua Tibia y los Barrancos Bijagüe y Teocinte. Estas zonas de barrancos, aunque muy susceptibles al socavamiento no presentan densidades de población altas, concentración de asentamientos y pocas infraestructuras en riesgo de inundaciones.

Riesgo de inundaciones en condiciones extremas de lluvia

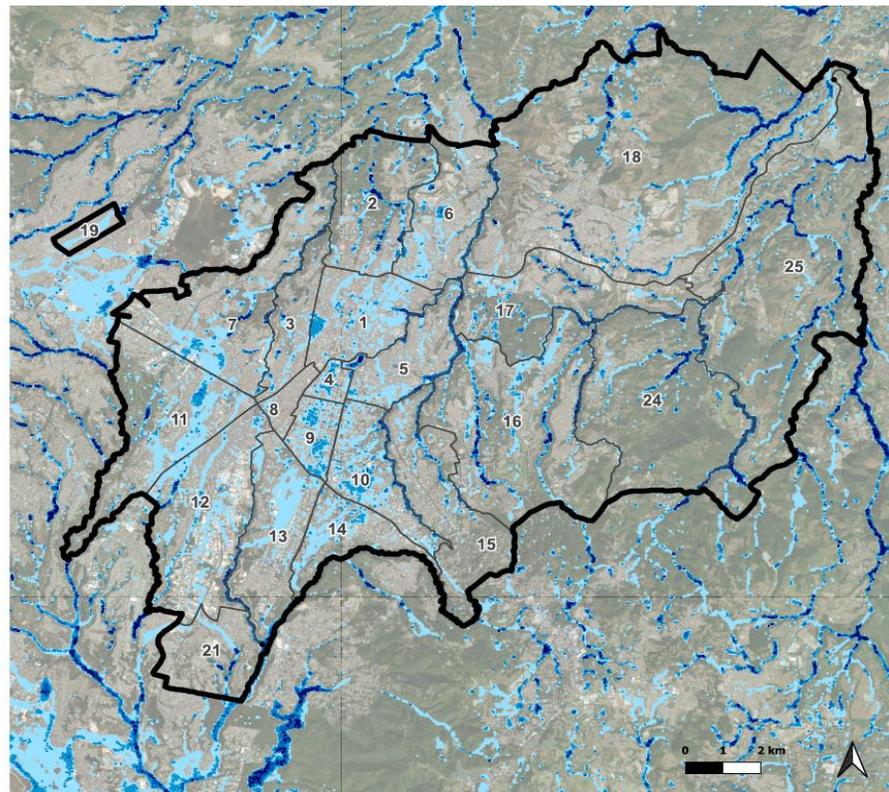
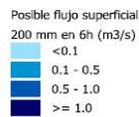


Figura 18. Mapa de riesgo actual de inundaciones sobre la base del flujo de escorrentía y puntos potenciales de inundación. Fuente: Elaboración propia en base a DIG, 2022; EMPAGUA, 2023.

El riesgo de inundación en la ciudad, sin embargo, está más relacionado con las inundaciones por flujos de agua y acumulación de agua y bloqueo de infraestructuras básicas como calles, puentes y boca de tormenta. Los datos sobre los peligros y exposición a inundaciones para el municipio de Guatemala no están disponibles a escalas de resolución altas, por lo que para el presente análisis, se han utilizado los datos sobre el Modelo Digital de Terreno (MDT), ríos, el índice de humedad acumulada para derivar un proxy más detallado a 30 metros de resolución de riesgo de inundaciones como el flujo de escorrentía rápida (escorrentía superficial) para tener mejores indicaciones sobre la susceptibilidad y riesgos de inundaciones en la ciudad (DIG, 2022). Se asumió un flujo de agua alto, de 200 mm en 6 horas que puede tener un periodo de recurrencia de 50 años. A esto se ha agregado los puntos de inundación por acumulación de agua identificados por EMPAGUA en el municipio de Guatemala para tener una indicación mejor de las áreas en riesgo de inundación por acumulación y

drenaje como calles, aceras y otras infraestructuras, por acumulación de basura, falta de capacidad de la red pluvial y desagües, obstrucción de vías y raíces de árboles (EMPAGUA, 2023; PROSEHIGUA, 2021) (Figura 18). Como se ve en la Figura 18, las zonas 1, 2, 4, 7, 9, 10, 11, 13 y 14 presentan alto riesgo de inundación por flujos de escorrentía y puntos de bloqueo con áreas inundables con profundidades entre 0.5 y 1 metros, que pone en peligro la población y las infraestructuras básicas, como calles, escuelas, albergues y hospitales. Por otra parte, las zonas 5, 6, 16, 17, 18 24 y 25 presentan riesgos asociados a crecidas y desbordes de ríos y quebradas (Figura 18).

### Derrumbes y deslizamientos

La susceptibilidad a deslizamientos en algunas zonas del municipio de Guatemala es muy alta, en particular de barrancos (CONRED, 2016). Utilizando datos sobre litología, humedad del suelo, pendiente y pronósticos del tiempo de precipitación acumulada diaria, CONRED calculó el riesgo de deslizamientos y derrumbes en la ciudad (CONRED, 2016). En la actualidad las principales zonas de la ciudad con alto riesgo de deslizamientos se localizan en las zonas 2, 3 y 7 en el complejo del Barranco Incienso – Naranjo (incluida la zona del arroyo las Vacas), en la zona 13 del Barranco Guadrón, la Zona 14 del Barranco Pinula, la Zona 24 del Barrancos Canalitos y en la Zona 25 el complejo de Barrancos Bijague - Los Ocotes - Tecocinte (Figura 19).

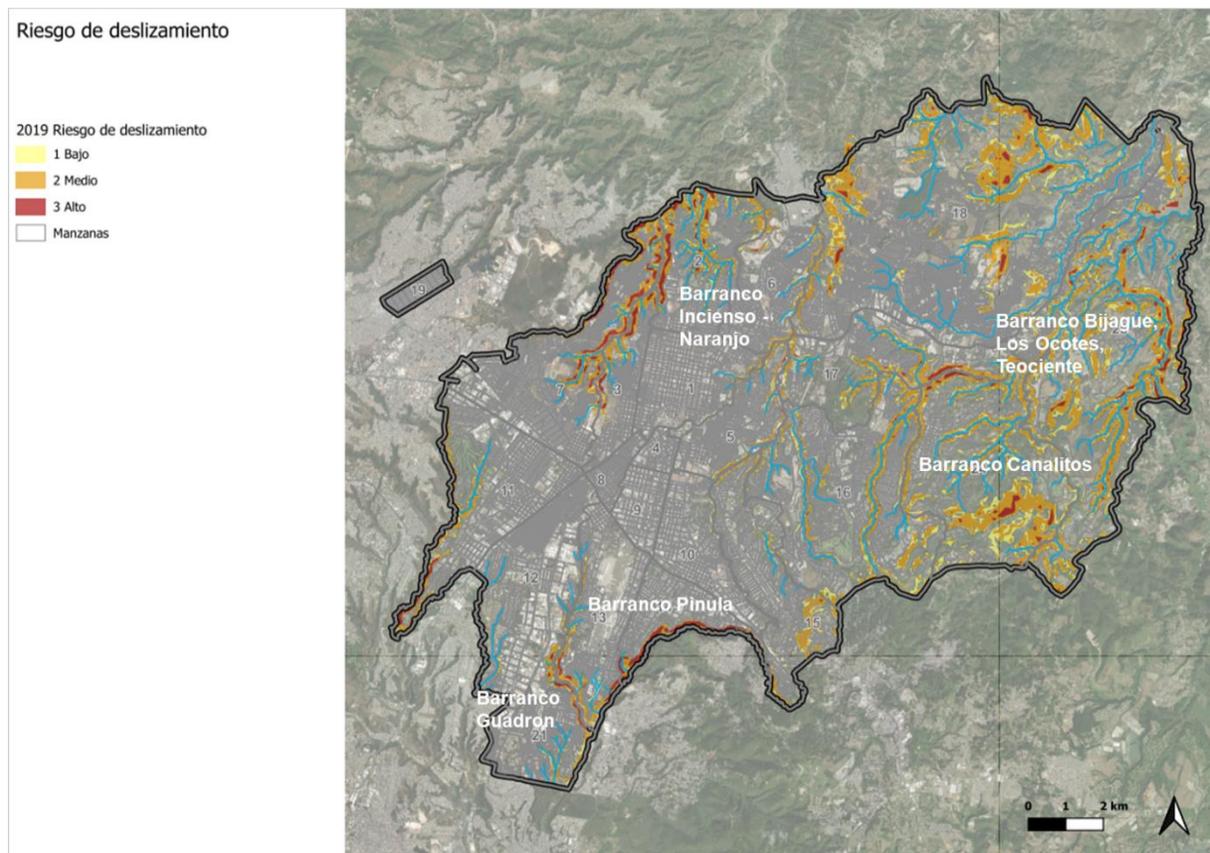


Figura 19. Mapa de riesgo actual de deslizamientos para el municipio de Guatemala. Fuente: elaboración propia para 2019 en base a CONRED, 2016.

Con relación a los cambios bajo escenarios de cambio climático para el 2040-2070, se mantiene la tendencia de alto riesgo, sumada a los patrones de urbanización y expansión urbana de la ciudad que incrementan los riesgos de deslizamiento (MARN y RA, 2022a). Además, este riesgo se puede incrementar con las lluvias extremas que, aunque con riesgo moderado actualmente y en el futuro, implica una posible cadena de impactos dada la superposición de los dos fenómenos en zonas de barrancos, ríos y quebradas de la ciudad.

### Incremento de las temperaturas e islas de calor

Estos riesgos están directamente relacionados con cambios en los usos del suelo en las zonas urbanas con importantes impactos sobre la población, algunos grupos sociales (menores, mujeres, adultos mayores) e infraestructuras básicas (viviendas de mala calidad, hospitales y escuelas). Es así como las temperaturas en la ciudad pueden variar entre 5 a 10 °C según el tipo de cobertura del suelo, la densidad y el tipo de construcción de las viviendas (Figuras 16a y 16b). De hecho, las temperaturas de superficie muestran importantes diferencias en áreas con vegetación como barrancos y grandes parques que conservan la temperatura confortable. La función de las zonas con vegetación es un aspecto importante en la regulación de la temperatura, pero también, como se evidenció anteriormente, con relación a las zonas verdes en bordes de ríos y barrancos que aparecen como áreas no accesibles o muy degradadas y contaminadas.

El riesgo de los incrementos de temperatura actualmente es moderado y en el futuro para el 2040-2070 será alto (MARN y Rain Forest Alliance, 2022a). Además, dados los fenómenos de expansión urbana, las islas de calor se incrementan sustancialmente. Las temperaturas medias según diferentes escenarios para la ciudad muestran incrementos de 1 a 2 grados, que implica que las temperaturas máximas en las islas de calor urbana pasen de un máximo de 28-30 grados °C actuales a más de 32 grados °C en el futuro (Tabla 5).

**Tabla 5. Aumento de temperatura de superficie en el municipio de Guatemala según diferentes escenarios de cambio climático para el 2050. Fuente: Climate Knowledge Portal.**

Escenario para Ciudad de Guatemala		Aumento (grados C)	Temperatura de Superficie por bloque/manzana (grados C)
SSP4.5	Min	0.43	+0.5
SSP8.5	Min	0.82	+1.0
SSP4.5	Media	1.32	+1.5
SSP8.5	Media	1.82	+2.0
SSP4.5	Max	2.27	+2.5
SSP8.5	Max	2.82	+3.0

### Sequía meteorológica

El riesgo actual de sequía es alto y para el 2040-2070 se mantiene el riesgo alto (MARN y RA, 2022a). No obstante, para el municipio de Guatemala esta sequía meteorológica tiene efectos limitados aun para el aprovisionamiento de agua de las cuencas abastecedoras (ver adelante en la sección Servicios ecosistémicos en las cuencas abastecedoras la discusión de los impactos y efectos de las sequías en la disponibilidad de agua para el municipio y el AMG).

Por otro lado, para analizar los efectos sobre la vegetación se ha utilizado como proxy de la sequía el Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (por sus siglas en inglés NDWI) que traduce básicamente las clases de severidad de la sequía en la vegetación (Figura 20). El Índice de Humedad de Diferencia Normalizada detecta los niveles de humedad en la vegetación utilizando una combinación de bandas espectrales del infrarrojo cercano (NIR) y del infrarrojo de onda corta (SWIR), siendo un muy buen indicador del estrés hídrico de la vegetación. Lo importante en el análisis de la Figura 20 es el comportamiento de la vegetación en relación a la sequía en particular en las zonas con dinámicas de uso del suelo importantes en las cuencas abastecedoras del acueducto (círculos rojos en la Figura 20) y en las zonas norte y noreste de la ciudad donde se encuentra un gran porcentaje de los bosques remanentes y cuencas subterráneas.

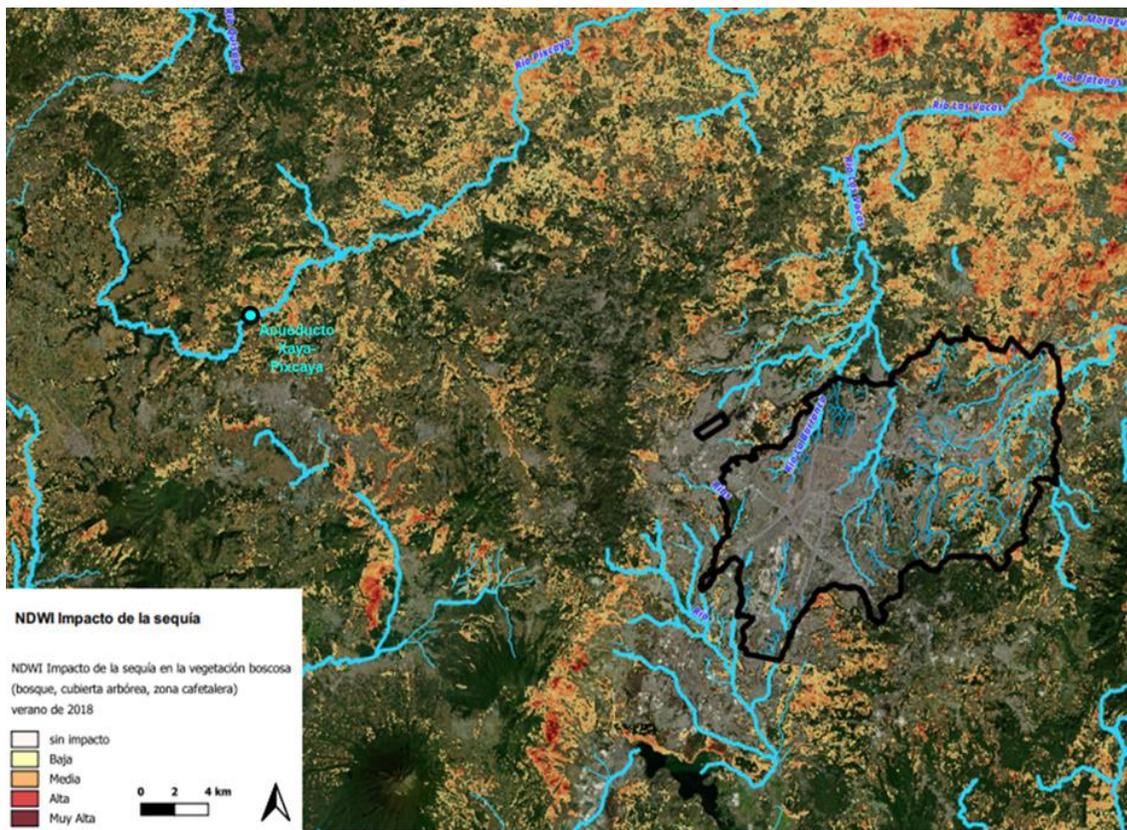


Figura 20. El Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDWI) para el AMG y las cuencas abastecedoras (2020). Fuente: SENTINEL Hub

Como resultado del análisis del Índice de Humedad como proxy de la sequía para el AMG y las cuencas abastecedoras, es importante resaltar que, si bien el riesgo de incendios no es muy alto, si puede tener implicaciones para el futuro. Es así como según el Forest Watch (Forest Watch, 2023) en los periodos secos los incendios pueden ser un problema en la AMG y las cuencas abastecedoras, sobre todo sumado a los cambios en el uso del suelo y las prácticas agrícola. En el municipio de Guatemala los incendios, aunque con impacto limitado, pueden ser importantes en algunas zonas al norte. Es así como en las zonas 2, 16, 18, 24 y 25 que concentran parte de los bosques remanentes, el cinturón ecológico y son parte de la zona de recarga del acuífero subterráneo se perdieron en los últimos 20 años (2001- 2022) por incendios unas 100 has de bosques, lo que constituye un 18% de las pérdidas totales de bosques (560 has desde el 2001) por

cambios de uso del suelo en estas zonas prioritarias para la conservación en la ciudad (Forest Watch, 2023) (ver Figuras 8 y 17a).

#### 6.4. Detección de puntos críticos

Los puntos críticos (hotspot) son áreas sobresalientes para las ciudades por el impacto que genera el clima y que repercute en la concentración de riesgos ante los eventos relacionados con el clima, la población e infraestructuras básicas. Por esto los hotspot son especialmente importantes para identificar las zonas, infraestructuras, grupos sociales y servicios ecosistémicos que requieren de acciones de adaptación y/o la gestión de riesgos y manejo adecuado de los recursos naturales. Basados en el análisis de vulnerabilidad y riesgo, se realizaron consultas y talleres con los actores para validar la identificación de los hotspot y completar los hallazgos con la percepción y conocimientos acerca de las necesidades de adaptación al cambio climático y la exploración de opciones de SbN a ser priorizadas para el municipio de Guatemala.

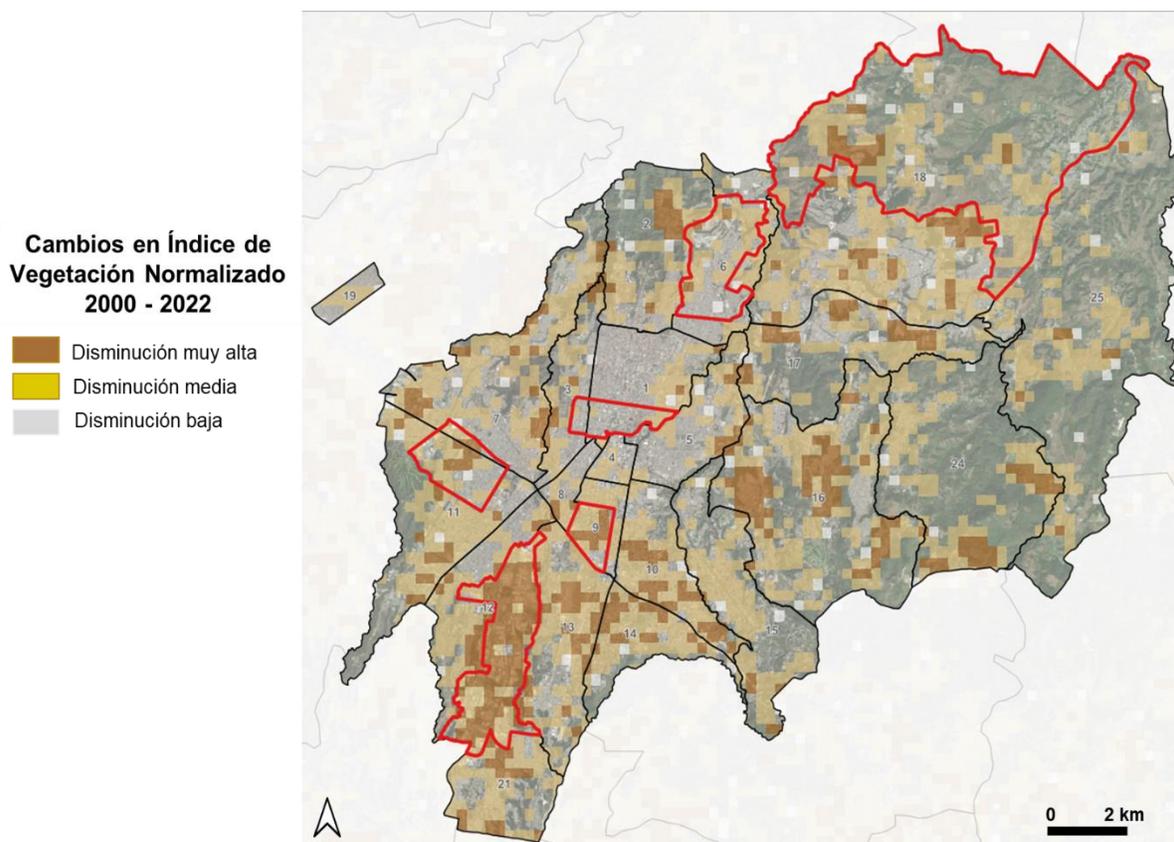


Figura 21. Mapa de cambios en el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) en el periodo 2000-2022 en el municipio de Guatemala. Fuente: SENTINEL Hub

#### Áreas identificadas en el municipio de Guatemala

Aunque existen acuerdos municipales para proteger, conservar y manejar adecuadamente las áreas de ríos, barrancos y boques que se integran en un régimen especial de cinturón ecológico y protección, la situación real es muy diferente dados los cambios de usos del suelo, el enfoque de los actores de mayor capital, los asentamientos de hecho y otras dinámicas urbanas (DPU, 2021). Del área definida como cinturón ecológico, solo un 48% se encuentra con una cobertura boscosa.

Además, existen muchas zonas de este cinturón ecológico ocupadas por asentamientos y viviendas que se encuentran en alto riesgo de deslizamiento, en particular en las zonas 1 y 5; 3 y 7; 21 y 13. La Figura 21 muestra los cambios en el NDVI (ver Glosario para definición) que dan una buena indicación de las zonas deforestadas con riesgo de perder toda cobertura vegetal, que en el caso de los distritos de oportunidad, es importante en el distrito Vianorte.

Por otro lado, resultado del análisis de riesgos y vulnerabilidad, las áreas identificadas en riesgo de inundación por ríos y deslizamientos son alrededor del 15% del total de manzanas. Por su parte, al analizar los riesgos por fenómenos de islas de calor, se determinó que para el 2022 el 15% de las manzanas están en riesgo de altas temperaturas (superiores a 27° C), pero para el 2050 esta aumentara al 60% de las manzana, según un escenario de cambio climático donde los GEI continúan con la misma tendencia actual (ver Figuras 16a y 16b).

En relación con las inundaciones se debe anotar que los distritos de oportunidad localizados en las zonas 1, 9 y 11 tienen áreas con riesgo de inundación por acumulación y flujos de agua muy importantes.

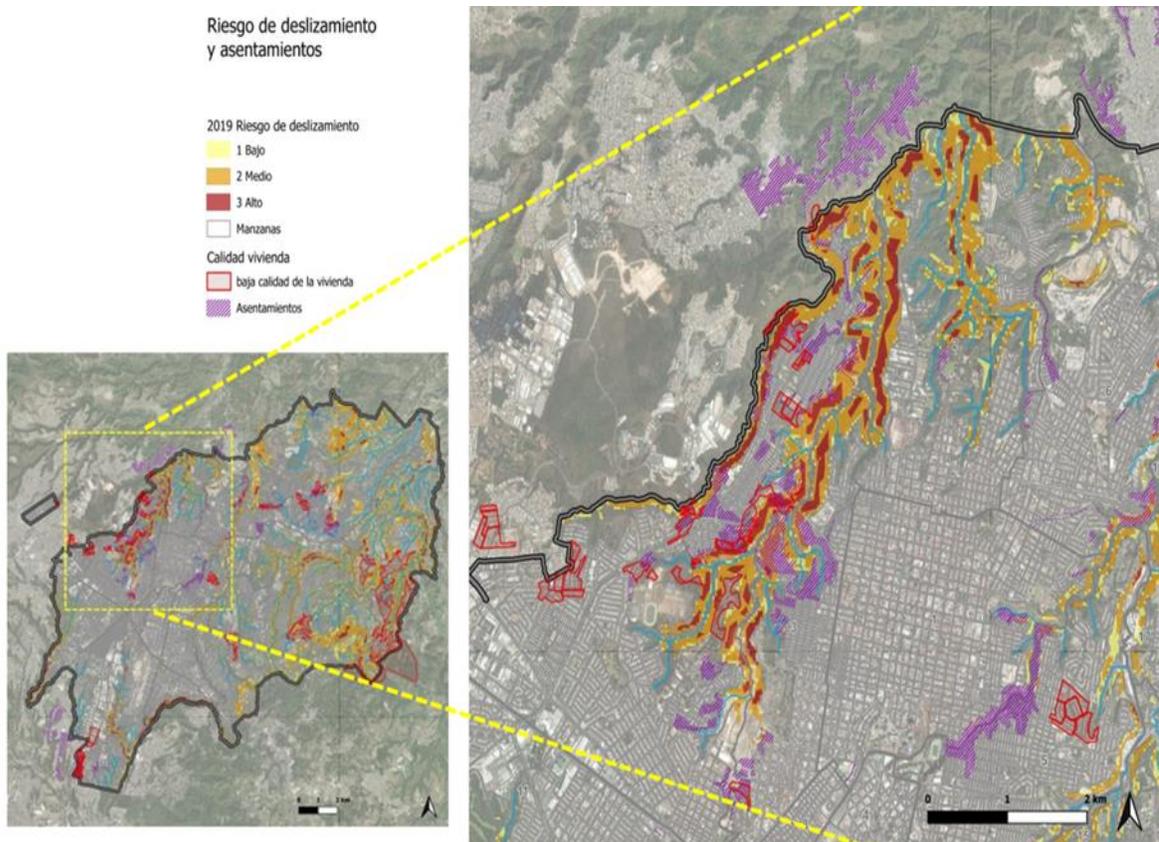


Figura 22. Mapa de riesgo actual de deslizamientos y localización de asentamientos y calidad de viviendas baja y muy baja en el municipio de Guatemala. Fuente: DPU, 2021

En cuanto a las infraestructuras básicas como calles, puentes, escuelas, albergues, centros de abastos y hospitales y clínicas las concentraciones en ciertas zonas de la ciudad muestran un alto nivel de riesgo y vulnerabilidad sobre todo en las zonas 1, 2, 5, 7, 10 y 11. De hecho las zonas con

más concentración de población en estratos bajos es la que concentra menos infraestructuras básicas como las zonas 15,16, 18, 21, 24 y 25 (DPU, 2021). Además, es importante anotar que, en cuanto a la calidad de viviendas, más del 95% de aquellas de baja calidad, más del 87% de las de calidad media y más del 88% de calidad alta, están en áreas sin riesgos a desastres climáticos según los acuerdos municipales (DPU, 2021) (ver Figura 22). Cabe agregar que los Acuerdos Municipales son normas para proteger, manejar, conservar o declarar en riesgo o de importancia zonas y áreas específicas de la ciudad. Por ejemplo, en el Reglamento de Control Urbano para Protección por Riesgos se definen áreas claves para integrar barrancos y cuencas por ser zonas de riesgo y su utilidad para la conservación ecológica (DPU, 2021).

Por otra parte, sobre la base del estudio de la DIGM de la municipalidad (Calderón et al., 2020) para el análisis de parámetros morfológicos de áreas vulnerables por amenazas a deslizamientos e inundaciones, se pueden analizar los efectos de las áreas de inestabilidad crónica sobre la calidad de viviendas, estratos socioeconómicos y las zonas construidas. A nivel de la ciudad, esta puede tener importantes efectos locales a tomar en cuenta para la planificación territorial y los planes de mitigación de riesgos (Figura 22). La Tabla 6 muestra un resumen de las áreas con inestabilidad crónica y los porcentajes por zona en función de la calidad de vivienda y la vulnerabilidad socioeconómica (Calderón et al., 2020 y DPU, 2021). El 2.4% de la superficie total de las manzanas habitadas de la ciudad está en zona de inestabilidad crónica, 1.3 % del cual presenta viviendas de muy baja calidad, todas las cuales corresponde a hogares de estrato socioeconómico muy bajo.

**Tabla 6. Áreas con inestabilidad crónica y porcentajes por zona en función de la calidad de vivienda y estrato socioeconómico. Fuente: Calderón et al., 2020 y DPU, 2021.**

	Inestabilidad crónica									
	área municipal total		solo en manzanas habitadas		solo en áreas calidad vivienda (muy) baja		solo en áreas estrato socioeconómico (muy) bajo		solo en áreas estrato socioeconómico y calidad vivienda	
Manzanas	todo									
Calidad Vivienda	todo				solo en áreas (muy) baja					
Vulnerabilidad socioeconómica	todo				solo en áreas (muy) baja				solo en áreas (muy) baja	
ZONAM	Ha por Zona	Ha con inestabilidad crónica por zona	Ha por Zona	Ha con inestabilidad crónica por zona	Ha por Zona	Ha con inestabilidad crónica por zona	Ha por Zona	Ha con inestabilidad crónica por zona	Ha por Zona	Ha con inestabilidad crónica por zona
1	645	22.0	450.1	13.2	0	0.0	450	1.3	0	0.0
2	845	310.0	251.7	1.9	0	0.0	252	0.3	0	0.0
3	416	102.8	164.9	10.0	1	0.0	165	7.0	1	0.0
4	101	0.5	65.7	0.2	0	0.0	66	0.0	0	0.0
5	539	62.0	289.5	15.0	14	0.0	290	2.9	0	0.0
6	727	85.9	443.4	34.4	2	0.8	443	17.3	1	0.4
7	1276	299.5	594.2	10.9	27	1.0	594	9.7	20	1.0
8	131	0.2	81.3	0.1	0	0.0	81	0.0	0	0.0
9	242	0.2	163.3	0.0	0	0.0	163	0.0	0	0.0
10	554	19.9	370.5	3.0	0	0.0	371	0.0	0	0.0
11	1141	166.8	660.7	1.1	0	0.0	661	0.0	0	0.0
12	1225	113.3	742.9	2.4	27	0.0	743	0.0	27	0.0
13	820	103.6	337.7	7.0	0	0.0	338	1.4	0	0.0
14	469	75.3	286.4	6.3	0	0.0	286	0.1	0	0.0
15	944	117.7	546.5	39.1	1	0.0	547	0.0	1	0.0
16	1976	356.6	909.2	13.9	27	0.2	909	1.3	27	0.2
17	996	233.7	295.2	6.5	0	0.1	295	1.1	0	0.1
18	4342	717.9	1461.7	40.9	31	0.6	1462	9.1	30	0.5
19	107	0.2	79	0.0	0	0.0	79	0.0	0	0.0
21	587	80.9	353.6	3.4	25	0.2	354	0.5	21	0.1
24	1760	337.6	369.5	3.2	35	0.2	370	1.6	35	0.2
25	3100	1118.7	615.2	17.2	262	2.9	615	7.1	262	2.9
Grand Total	22943	4325.6	9532	229.5	451	6.0	9532	60.6	424	5.5
% de hectáreas por zona	100.0%	18.9%	100.0%	2.4%	100.0%	1.3%	100.0%	0.6%	100.0%	1.3%

## Condición de los servicios ecosistémicos en la ciudad

Los servicios de los ecosistemas en las áreas urbanas son esenciales para la vida de los habitantes y la adaptación a los cambios. Uno de los principales servicios en áreas urbanas son el control de la temperatura y las islas de calor que brindan las áreas verdes, los cuales tienen efectos importantes en el confort térmico de la población, la habitabilidad de las viviendas y el funcionamiento de infraestructuras básicas. Por esto, un aspecto importante en la planificación urbana es la consideración de las áreas verdes y la reforestación de zonas pobladas para contribuir a regular la temperatura, asegurar la infiltración de agua y el control de los ciclos hídricos, además de proveer de áreas de esparcimiento para mejorar la calidad de vida y la habitabilidad de barrios y comunas. Es por ello que la municipalidad de Guatemala ha definido el Gran Distrito Verde como el área de interés para contribuir a la conservación y habitabilidad en la ciudad a través de sus elementos como el Corredor Ecológico Municipal, las áreas recreativas, los parques lineales y arbolado urbano.

El cambio de uso del suelo en las zonas urbanas y periurbanas de las ciudades tienen importantes efectos en la regulación de los flujos hídricos y la erosión de los suelos con impactos sobre la provisión, control y regulación de agua y flujos hídricos. Es así como el cambio en la cobertura del suelo, reflejado en el índice de vegetación normalizado (NDVI) muestra importantes diferencias si existe cobertura vegetal o hay una trama urbana densa o difusa (Figura 23). Así también, las áreas verdes y cinturones ecológicos, incluidas las zonas con vegetación en bordes de quebradas y barrancos, contribuyen a la regulación de los flujos hídricos y el control de la erosión de suelos y deslizamientos.

Como resultado de la dinámica en el uso del suelo urbano la expansión de la ciudad, y las dinámicas económicas existe una fuerte ocupación del suelo que ha desplazado la cobertura vegetal natural, incluyendo numerosas áreas con viviendas en zonas de alto riesgo, en muchos casos sin cumplir la normativa del POT (DPU, 2021). Aunque en este contexto, las actividades para conservar, restaurar y reverdecer el suelo urbano pueden no ser fáciles de ejecutar, es necesario que se tomen en consideración los servicios de los ecosistemas que se quieren atender. Por ejemplo, como ilustra la Figura 24, es importante que la reforestación de sectores de calles y avenidas y la restauración de zonas verdes y parques, efectuado por la DMA, puedan considerar la regulación de la temperatura y la regulación de los flujos hídricos en las calles y avenidas de la ciudad. Para ello es necesario buscar estrategias que consideren las limitaciones que hay por las condiciones actuales del diseño y otras variables, contemplando opciones que generen co-beneficios, a manera de ir más allá de la posibilidad de reforestar el espacio disponible (como área física tal cual o por temas de propiedad de la tierra). Por tanto, integrar los servicios de los ecosistemas en la planificación urbana permitirá mejorar las acciones de adaptación al cambio climático, lo cual requiere reformas y adecuaciones al POT u otras regulaciones, y el desarrollo de nuevas regulaciones como, por ejemplo, respecto a la explotación de los mantos acuíferos.

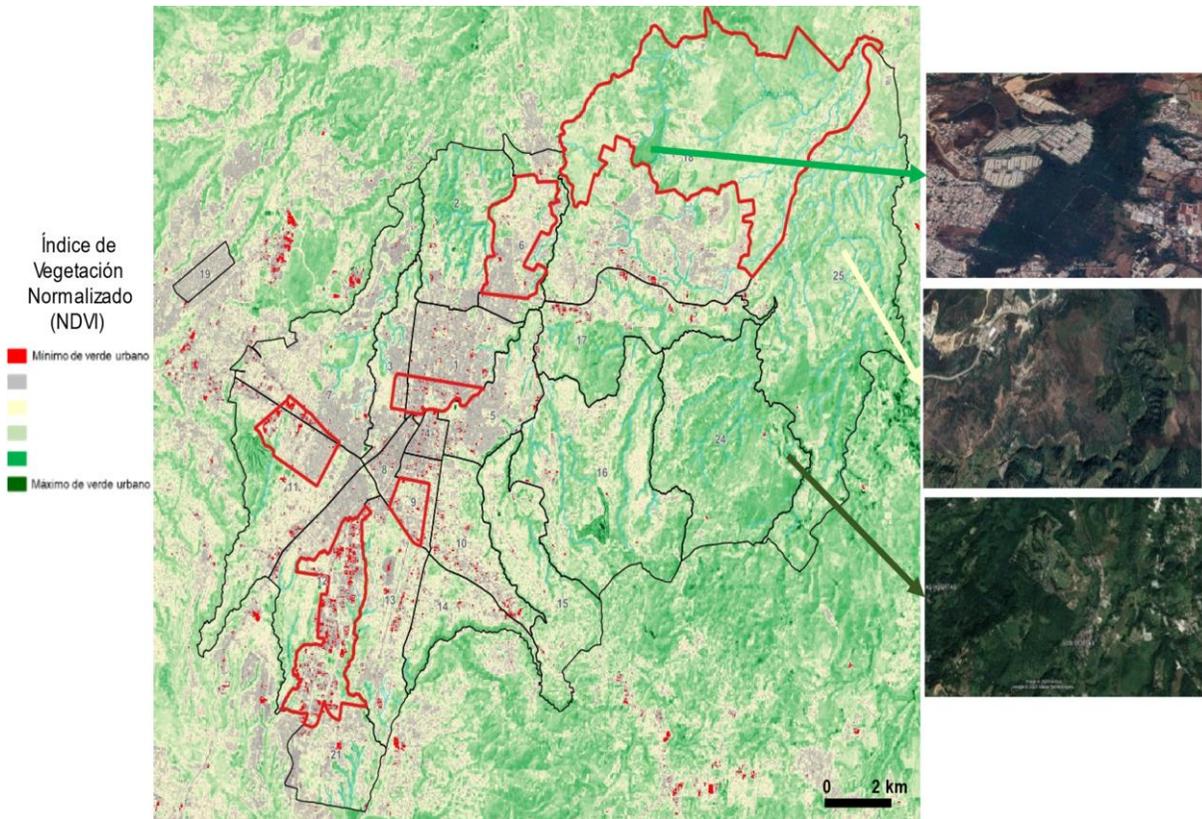


Figura 23. Mapa del Índice de Vegetación Normalizado y los distritos de oportunidad (polígonos en rojo) en el municipio de Guatemala. Fuentes: DPU, 2021; SENTINEL Hub

Las zonas verdes y las áreas forestales deben ser analizadas más en detalle, no solo en relación a la cantidad, sino también respecto a la tenencia de la tierra, la accesibilidad para la población, la localización para la recarga de acuíferos y la distancia para la infiltración de aguas de escorrentía y flujos de lluvia. Así, por ejemplo, muchas zonas en borde de ríos y quebradas que aparecen como áreas verdes no son accesibles o están muy degradadas y contaminadas, sobre todo en las áreas de los barrancos. De la vegetación remanente de la ciudad, la vegetación arbustiva o pastizales está generalmente asociada a superficies de terrenos deforestados que se han dejado sin ningún manejo mientras las secciones de bosque se ubican en extensiones con pendientes muy escarpadas. En este contexto, el Gran Distrito Verde puede contribuir como eje articulador y punto de conectividad entre Distritos de Oportunidad y para la ciudad en general.

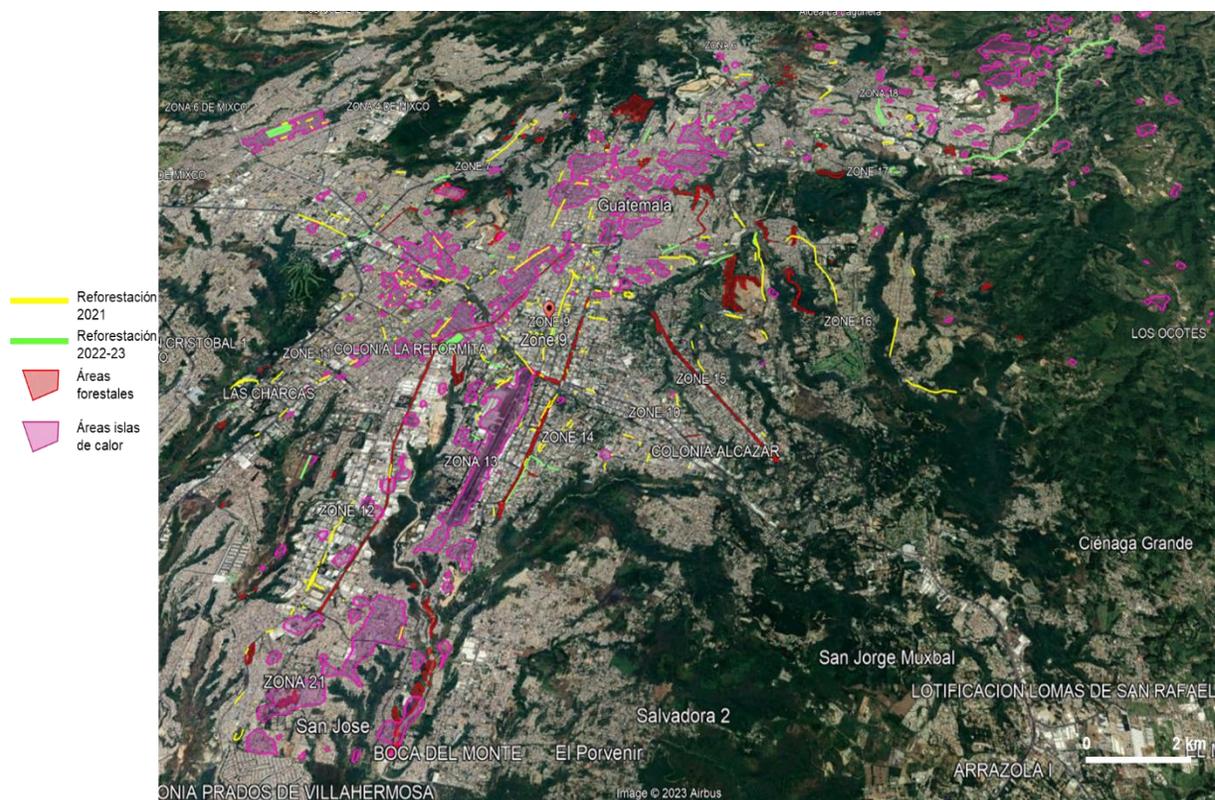


Figura 24. Mapa de las principales áreas de reforestación y zonas forestales en el municipio de Guatemala y zonas prioritarias por islas de calor. Fuentes: DPU, 2021; DMA, 2022

Por eso es importante conocer las áreas prioritarias para la planificación y la adaptación, para así integrar los instrumentos legales (p.ej. Distritos de oportunidad, acuerdos municipales para la conservación, zonas prioritarias de recarga de los acuíferos u otros) con las dinámicas que suceden en el terreno (que incluyen los cambios de uso del suelo, las zonas del cinturón ecológico ocupadas, las áreas verdes deforestadas, etc) (Figura 25).

Por último, no se debe olvidar que el municipio de Guatemala tiene un importante potencial y gran dependencia en la provisión de agua subterránea (60% del consumo total de agua), por lo que la recarga hídrica es un aspecto esencial y muy relacionado con el cambio de uso de tierras y el cambio climático (Juárez M., R. Gallardo. 2023; PROSEHIGUA, 2021). Es así como análisis de EMPAGUA muestran que según el tipo y uso del suelo se pueden determinar distintas zonas en la ciudad con diferente potencial de infiltrar y recargar los acuíferos (Figura 26). Estos resultados iniciales dan información importante a EMPAGUA y a la municipalidad, sobre la conservación, restauración y manejo de zonas de importancia hidrológica y para asegurar la provisión de agua a la ciudad. Además, el abastecimiento de agua en algunas zonas, por ejemplo, zona 18, se realiza a través de las aguas superficiales captadas en la de zona 24, afectadas por la contaminación los cambios de uso de la tierra, y otras dinámicas.

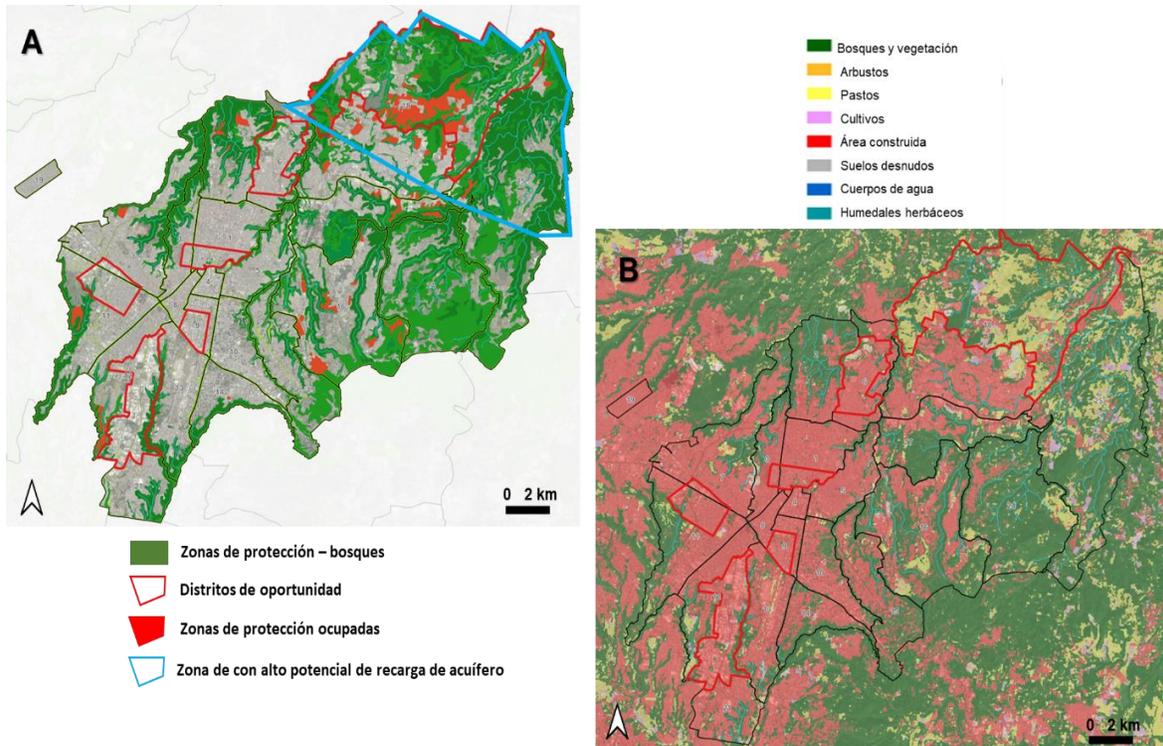


Figura 25. Mapas de las principales zonas de protección, Distritos de Oportunidad y de recarga de acuíferos (A) en comparación con los usos de los suelos actuales (B). Fuentes: DPU, 2021; MAGA, 2020; ESA, 2023; EMPAGUA, 2023.

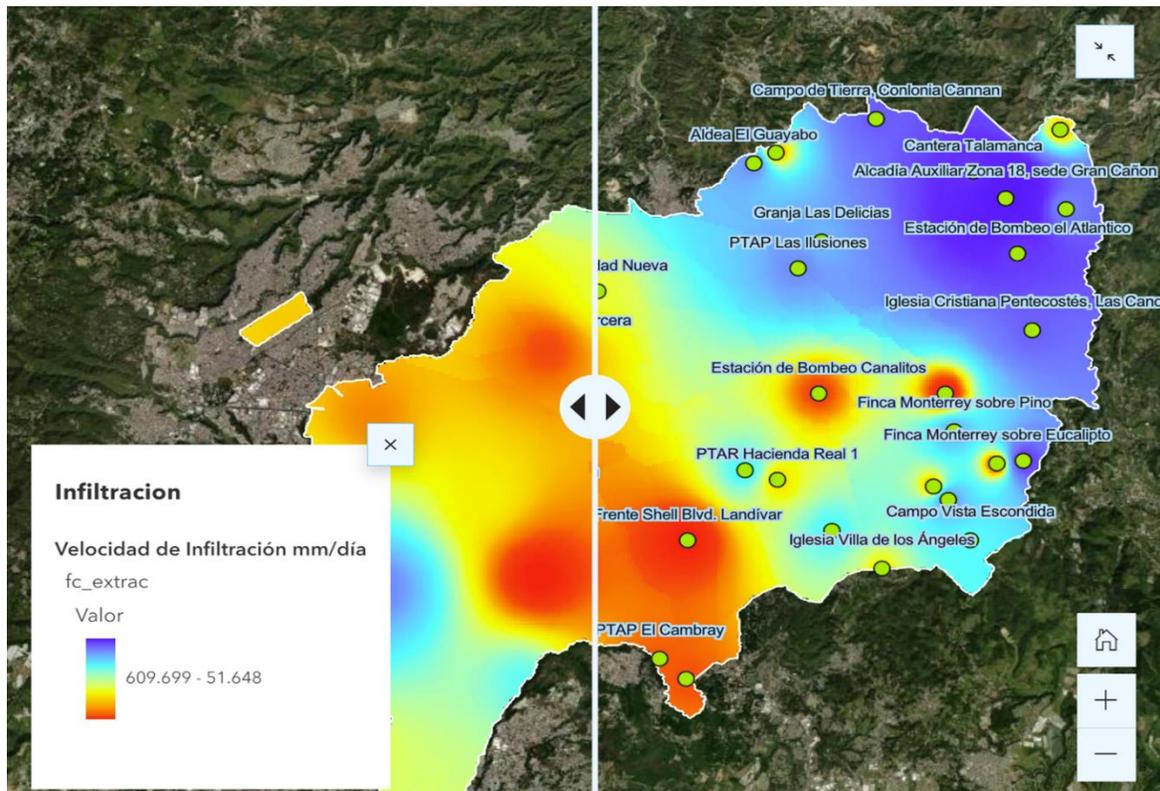


Figura 26. Potencial de infiltración para recarga de acuíferos en el municipio de Guatemala. Fuente: Juárez M., R. Gallardo. 2023.

### Condiciones de los servicios ecosistémicos en las cuencas abastecedoras

La provisión y regulación de servicios de ecosistemas dependen de la escala en términos de procesos biofísicos, pero también de los niveles de decisión en términos de procesos de gobernanza y manejo de los recursos naturales. Así por ejemplo en muchos casos los marcos legales de gestión de aguas a nivel municipal, departamental y nacional consideran en general los límites de la cuenca, incluyendo los recursos naturales y los actores situados dentro de éstas.

La provisión y disponibilidad de agua es uno de los servicios de los ecosistemas en donde los impactos del cambio climático y la insuficiente gestión territorial se reflejan más. Es así como el ordenamiento de la oferta y la demanda y la necesidad de inversiones en servicios básicos y restauración y protección de las cuencas abastecedoras son necesarias si se quiere asegurar un aprovisionamiento eficiente y sostenible del recurso. En ese sentido, el departamento de Guatemala ejerce una presión muy fuerte sobre el recurso hídrico, ya que la demanda supera en 72% la recarga hídrica (MARN, R A. 2022a). En el caso del municipio, los acuíferos subterráneos proveen del 60% del consumo y tienen un potencial importante si se protegen y asegura su recarga a través de políticas y acciones de reforestación y protección de bosques y suelos (Figura 27).

Respecto a la cuencas que proveen del recurso, en la actualidad Pixcayá y las Vacas presentan una disponibilidad por debajo de los 1,700 metros cúbicos per cápita, lo cual ha sido determinado como el umbral mínimo para cubrir las necesidades mínimas de cada individuo. La subcuenca Las Vacas presenta una situación de escasez, pues tiene una disponibilidad per cápita inferior a 1,000 metros cúbicos (IARNA-URL, 2015). En los próximos años se prevé una disminución de -5 a -15% en la disponibilidad de agua en las principales cuencas de las que depende el AMG (IARNA-URL, 2015). Las cuencas con menor excedente en recursos hídricos y un balance hídrico anual deficitario están ubicadas en el área cabecera de la cuenca del río Motagua, y alrededor del AMG (subcuencas de los ríos Las Vacas y Pixcayá). En cuanto a escenarios de cambio climático sobre oferta y disponibilidad de agua para las cuencas abastecedoras del AMG, se proyecta que las precipitaciones disminuyen alrededor del 6% en los próximos 10 años, lo que implica una disminución del 15% de la escorrentía superficial y del 7% en la recarga (IARNA-URL, 2015).

Es así como el Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala considera como acciones prioritarias la restauración de vegetación para asegurar los servicios ecosistémicos de provisión y regulación de los flujos de aguas en el área metropolitana de Guatemala y comparar los costos y beneficios de la oferta y demanda de agua superficial y agua subterránea para priorizar las áreas a restaurar (Figura 27) (PROSEHIGUA. 2021).

## Recarga hídrica y reforestación con deforestación

## Reforestación en zonas de recarga hídrica

-  0 A 50%
-  50 A 100%

## Zonas de recarga hídrica

-  muy alta
-  alta
-  media

## LANDSAT deforestación 2001-2022

-  Deforestación

## Cambio de cobertura forestal LANDSAT 2001-2022

-  Incremento de la cobertura forestal
-  Pérdida permanente de cobertura forestal.

## Cobertura forestal LANDSAT 2000 (%)

-  30%
-  50%
-  75%
-  100%

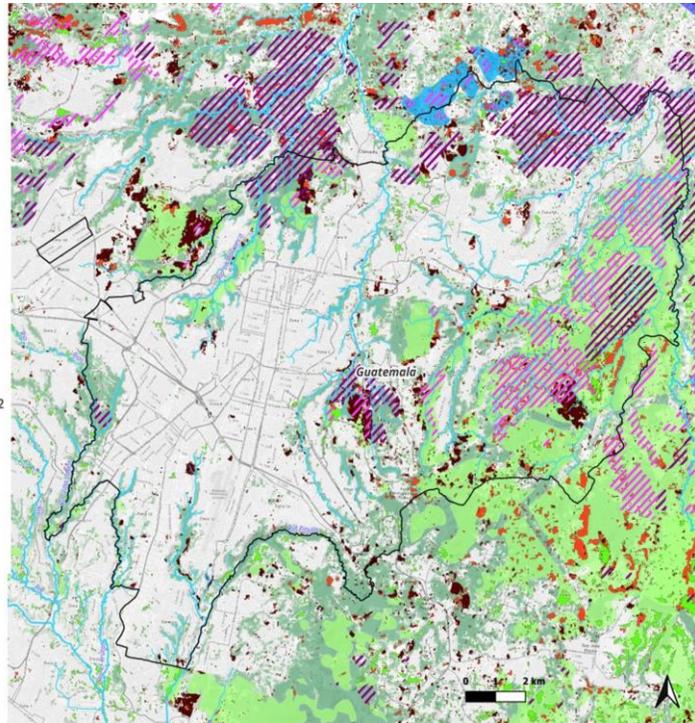


Figura 27. Zonas de recarga hídrica potencial en el municipio de Guatemala, cambios en la cobertura vegetal y zonas prioritarias para la reforestación (2022). Fuentes: ESA, 2023; LANDSAT, 2022; DPU, 2021.

Sin embargo, para el éxito es necesario planificar en función de las cuencas y no solo de las áreas administrativas. Esto implica considerar el área Metropolitana extendida (municipios de Guatemala, Amatitlán, Mixco, Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva) para fortalecer los marcos políticos y la aplicación de normas que faciliten una gestión del recurso hídrico sostenible a la escala de las cuencas abastecedoras de aguas superficiales y subterráneas y a nivel de las decisiones municipales y locales (Figura 27). Por ejemplo, la aplicación de los acuerdos y normas existentes a escala de cuencas y del AMG permitiría proteger los obligatorios 15 metros de lado y lado de ríos y quebradas para conservar los bosques de ribera, proteger los suelos y asegurar una calidad de las fuentes de agua (PROSEHIGUA, 2021; FUNCAGUA, 2021).

Las características ambientales del departamento de Guatemala son muy diversas y permiten entender la gran diversidad de ecosistemas y de servicios ecológicos que se generan a escala de las cuencas, como la provisión de agua superficial y subterránea, la regulación hídrica, el control de la erosión de suelos y el soporte a la biodiversidad. Al mismo tiempo los cambios en el uso de tierras permiten entender las causas y consecuencias del cambio y pérdida de los servicios de provisión, regulación y soporte, esenciales para el mantenimiento de las actividades productivas, la calidad de vida de la población y como base del desarrollo y planificación del municipio de Guatemala. Además, cuando se observa la dinámica en el largo plazo (2000-2020) de la vegetación se puede identificar patrones muy claros de degradación por deforestación y cambios en el uso de los suelos en particular de las cuencas abastecedoras y en algunas zonas específicas de la ciudad y del área metropolitana. Como se observa en la Figura 28 estas cuencas han perdido parte de su vegetación para ser reemplazada por pastizales y cultivos y solamente las partes altas de las cuencas se encuentran con un buen estado de conservación, poniendo en riesgo el aprovisionamiento en el largo plazo del agua

que consume la ciudad, que se puede incrementar si consideramos que las lluvias aunque no disminuyen necesariamente con el cambio climático serán más aleatorias.

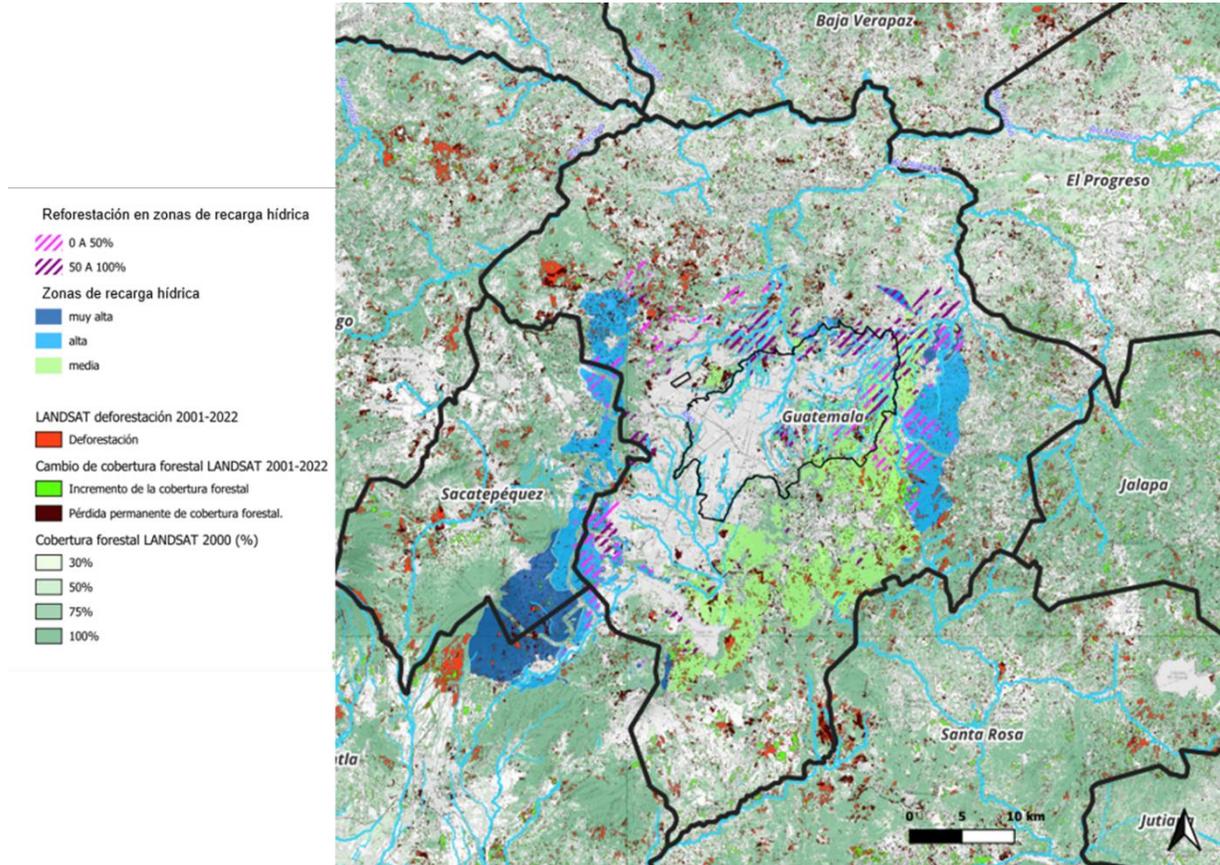


Figura 28. Zonas de recarga hídrica potencial en el AMG y departamentos vecinos, cambios en la cobertura vegetal y zonas prioritarias para la reforestación (2022). Fuentes: ESA, 2023; LANDSAT, 2022; DPU, 2021; PROSEHIGUA, 2021.

También con relación a las cuencas es importante saber que en el departamento de Guatemala y el AMG predominan los Bosques húmedos Montanos constituidos esencialmente de bosques de coníferas y mixtos, muy alterados por los cambios en el uso del suelo. Además estudios realizados en México y Centroamérica han determinado la posibilidad de que haya impactos negativos en las poblaciones naturales de especies de coníferas de importancia económica, como *Pinus patula* y *P. tecunumanii*, a causa del cambio climático, sin embargo, el establecimiento y desempeño adecuado de estas especies, en climas similares a los que se esperarían en los territorios donde se distribuyen naturalmente, sugiere que demuestran una adaptación y resiliencia a los cambios proyectados (Carrera, J. L., Mosquera Salles, V., & Gándara, A. 2019).

### Infraestructuras básicas

Las infraestructuras básicas sociales son capitales para analizar los impactos y riesgos de manera a diseñar políticas, estrategias y acciones para mitigar y adaptarse al cambio climático y mejorar toda la gestión de los riesgos. Es así como la localización de equipamientos básicos en función del riesgo de deslizamientos y de inundaciones en el municipio de Guatemala es primordial no solo para identificar puntos críticos sino también para abordar problemas del equipamiento para la gestión de

riesgos. La localización de las escuelas y hospitales no presentan riesgos importantes, sin embargo, como ya se anotó su distribución en la ciudad no corresponde siempre con las necesidades y densidades de la población y grupos más vulnerables. Por ejemplo, las zonas 17, 18, 24 y 25 presenta el más alto número de personas en estrato socioeconómico bajo y muy bajo (con respecto a la calidad de vivienda, hacinamiento, abastecimiento de agua y alcantarillado y escolaridad del jefe del hogar) pero el acceso a equipamientos e infraestructuras básicas es deficiente (DPU, 2021) (Figura 29 y 30).

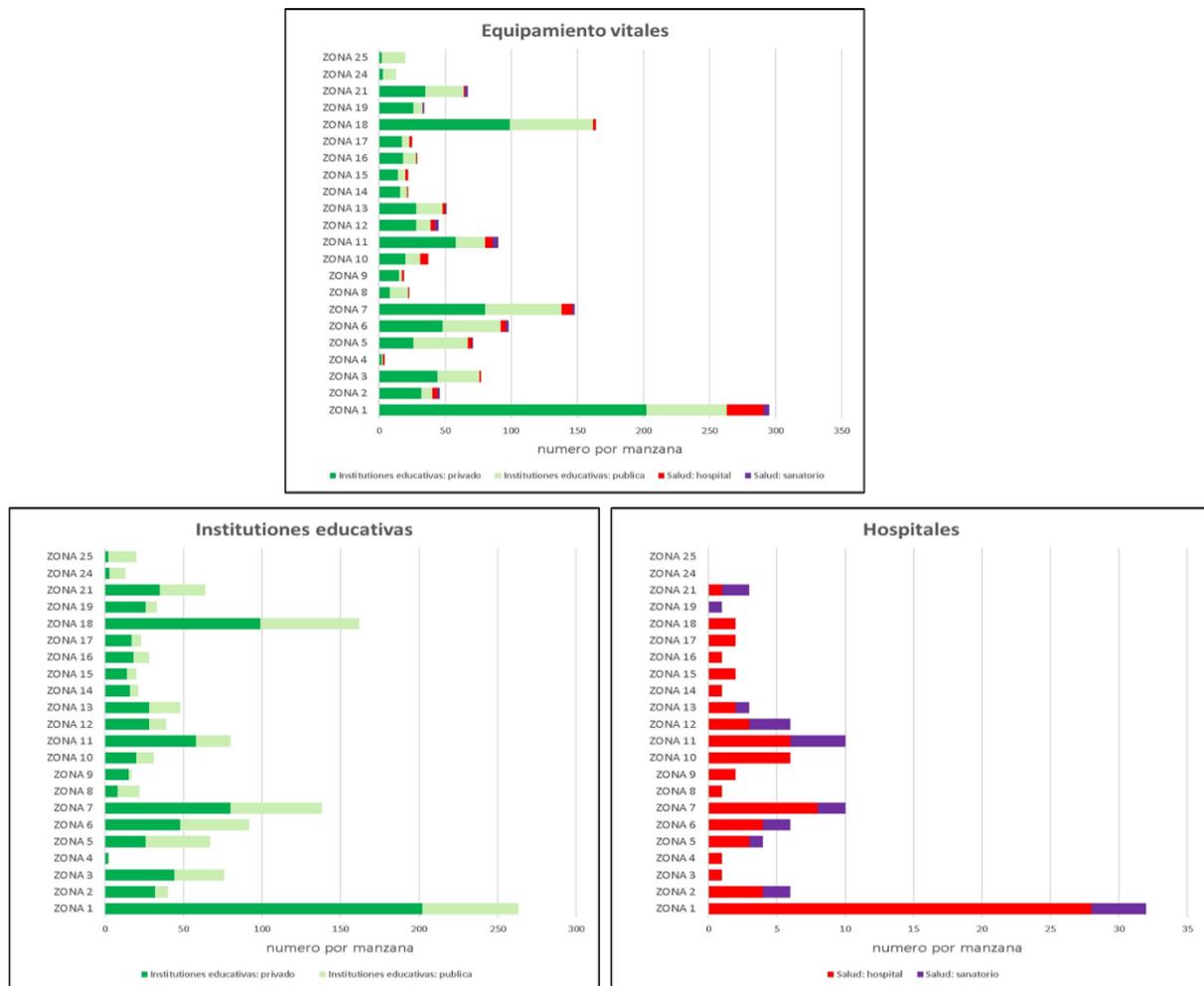


Figura 29. Distribución de infraestructuras vitales, escuelas y hospitales por manzanas en las zonas del municipio de Guatemala. Fuentes: DPU, 2021, elaboración propia.

### Infraestructuras viales, alcantarillado y drenajes

Las infraestructuras públicas, como vías, alcantarillado y drenaje son esenciales en las ciudades pues dan acceso y conectividad a la población y permiten tener un ambiente saludable y regular flujos de aguas. Analizar los impactos y riesgos sobre las infraestructuras públicas es central para integrar los riesgos en los POT y el diseño de políticas, estrategias y acciones para mitigar y adaptarse al cambio climático. En el caso del municipio de Guatemala la localización de vías y puentes no aparece como un factor esencial en el riesgo de inundaciones, mientras que otras infraestructuras como el alcantarillado y el drenaje son en muchos casos el origen del riesgo de

inundación por represamiento y acumulación de agua, dada la mala planificación y poca capacidad de regulación de los flujos de agua (ver Figura 31). Por esto se han agregado los puntos de inundación por acumulación de agua identificados por EMPAGUA en el municipio de Guatemala para tener una indicación mejor de las áreas en riesgo de inundación por acumulación y drenaje como calles, aceras y otras infraestructuras, por acumulación de basura, falta de capacidad de la red pluvial y desagües, obstrucción de vías y raíces de árboles (EMPAGUA, 2023) (Figura 31). Estos riesgos e impactos se pueden incrementar con los efectos del cambio climático al aumentar los flujos de agua por eventos extremos y la necesidad de incrementar la capacidad para la evacuación de agua de lluvia.

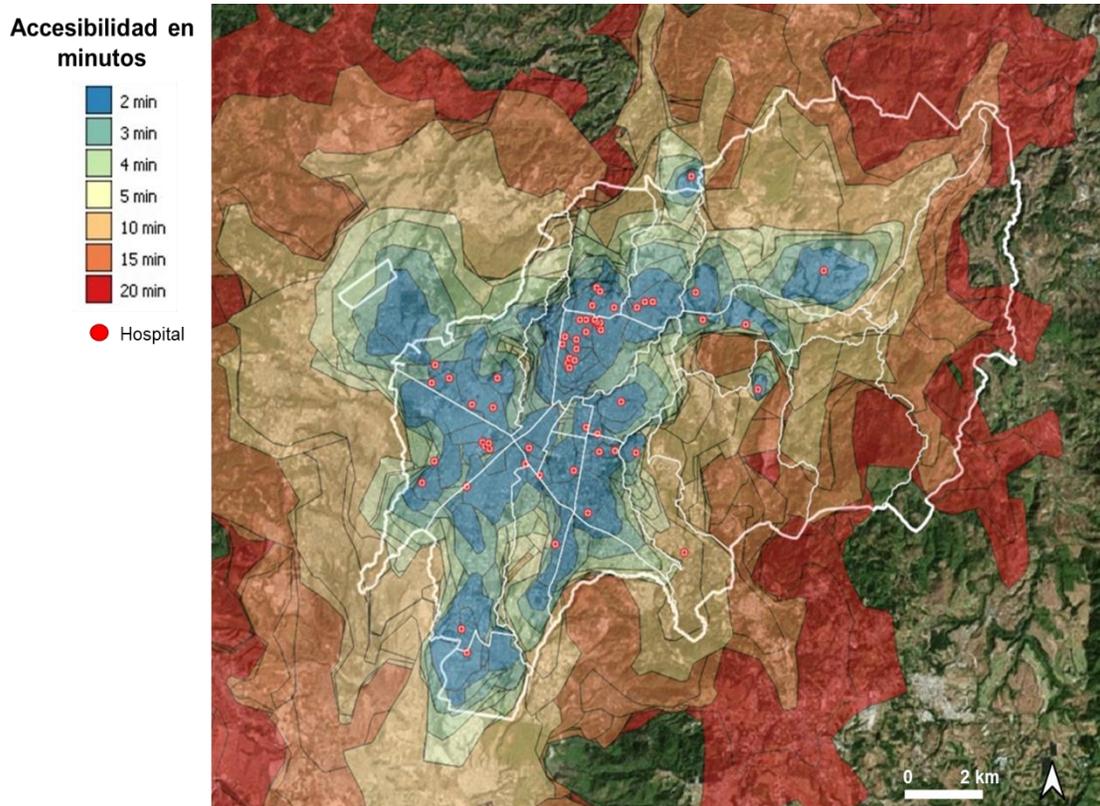


Figura 30. Accesibilidad a los hospitales del municipio de Guatemala. Fuentes: DPU, 2021, elaboración propia.

Además, dada la localización de muchas infraestructuras viales y el tipo de suelos que dominan el municipio de Guatemala, muy susceptibles a derrumbes, infiltraciones y erosión, es común encontrar situaciones como la que se puede ver en la Figura 32. En esta se observan problemas de riesgo a deslizamientos y caídas de roca aumenta debido a la falta de red de alcantarillado en los barrios situado en las partes superiores de los taludes (CDG,2019).

**Riesgo de inundaciones en condiciones extremas de lluvia**

Possible flujo superficial 200 mm en 6h (m<sup>3</sup>/s)

- <0.1
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- >= 1.0

Observaciones de posibles causas de inundaciones (EMPAGUA)

- Basura
- Falta de capacidad
- Obstrucción
- Otros
- Raíces

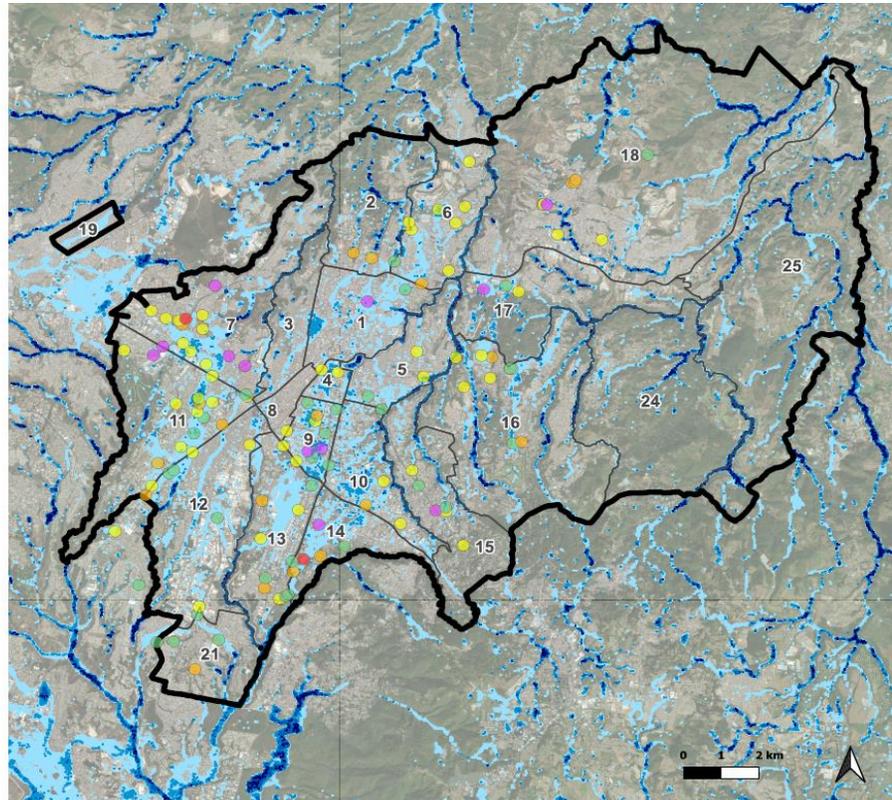


Figura 31. Riesgo de inundación actual por acumulación y bloqueo de aguas superficiales en el municipio de Guatemala. Fuentes: elaboración propia sobre la base de EMPAGUA, 2021; DIG, 2021, DPU, 2021.

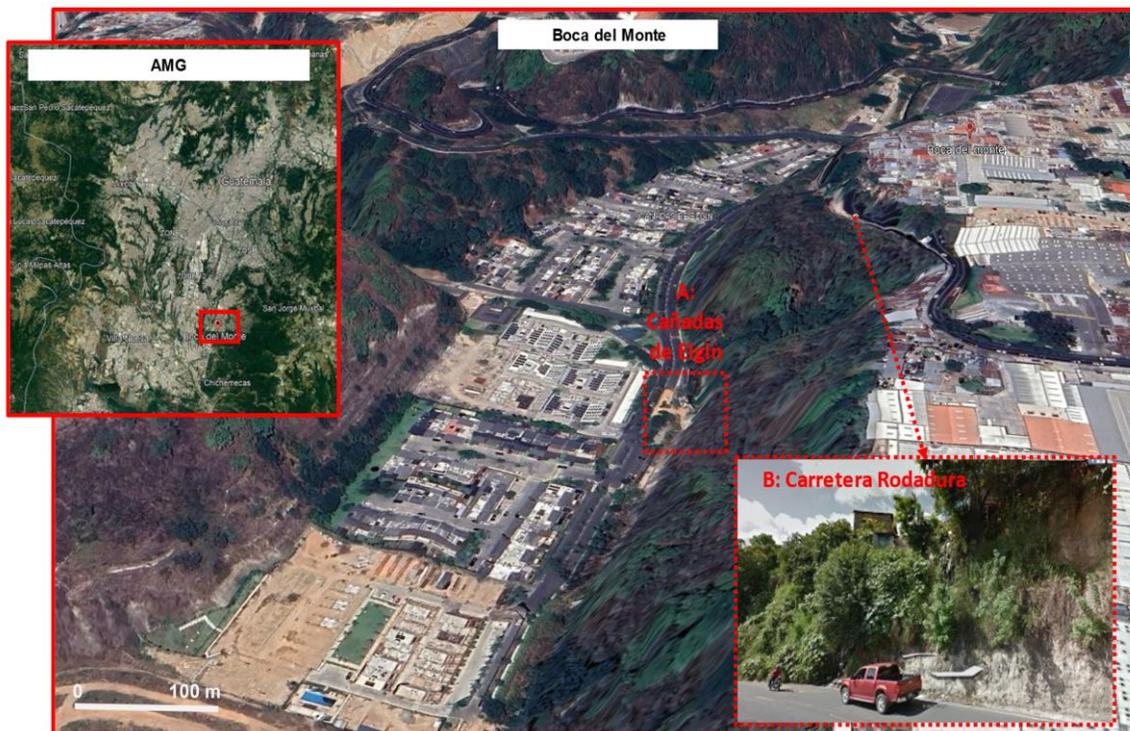


Figura 32. Ilustración de riesgo de derrumbes en infraestructuras viales en el AMG (A: vía y viviendas con deslizamientos. B: zona industrial y viviendas en alto riesgo de deslizamientos por erosión y lixiviación de suelos).

Fuente: Google Earth Pro, acceso: 3/8/2023. Para estudio detallado consultar CDG, 2019.

### Grupos vulnerables

Otro de los aspectos que deben ser tomados en cuenta para la identificación de los puntos críticos son los grupos más vulnerables, como las personas pobres, las mujeres cabezas de hogar, los ancianos y los niños. Hombres, mujeres, personas mayores e infancias y pueblos indígenas pueden presentar distintos grados de vulnerabilidad y riesgos a los efectos del cambio climático en las ciudades. Sin embargo, hay un paso previo a la inclusión de la perspectiva de género y para grupos vulnerables en una evaluación de vulnerabilidad y riesgo al cambio climático que se relaciona con la disponibilidad de datos apropiados y actuales para poder producir información sobre la base de hechos y no solo de hipótesis. Esta información no estuvo disponible para el AMG por lo que es necesario disponer de tiempo y recursos para recolectar información y organizar talleres e intercambios de manera a producir indicadores directos o proxys en formatos estadísticos y georreferenciados, para así poder producir análisis e identificar posibles brechas de género y para los grupos vulnerables (MVOT y Ministerio de Ambiente, 2021; DPU, 2021).

Aunque algunos estudios sugieren que las pérdidas generadas por los desastres naturales afectan directamente a las personas más vulnerables (UN, 2022), es decir personas mayores, mujeres – especialmente mujeres indígenas - y niños, esto se comprueba en las áreas rurales y no hay evidencias firmes para las áreas urbanas de América Latina (Fruttero et al, 2023). No obstante, algunas observaciones en otras ciudades de la región (van Eupen et al., 2022) permiten plantear la hipótesis de que en zonas pobres aumenta el número de mujeres jefas de hogar, con hijos menores y/o adultos mayores, que impone mayores responsabilidades domésticas y una mayor carga laboral y familiar, contribuyendo más a la vulnerabilidad social y económica de este grupo social. Mas datos y análisis son necesarios para identificar los grupos vulnerables que necesitan de acciones dirigidas como, por ejemplo, las que se llevan a cabo por la Dirección de la Mujer de la Municipalidad de Guatemala con relación a la violencia contra las mujeres. Además, dada la estructura y dinámica de la ciudad, la población flotante (en muchos casos con grupos predominantes de población pobre e indígena) es muy alta, por lo que fenómenos que impactan la accesibilidad como inundaciones de calles y deslizamientos en carreteras afectan la movilidad para ir a trabajar y la conectividad para llegar a infraestructuras básicas (DPU, 2021).

### Resumen

A manera de resumen sobre los principales riesgos en el municipio de Guatemala, La Figura 33 presenta los porcentajes de las áreas por manzanas en riesgo de inundación por flujos superficial extremo. 6% de las mazanas están en alto riesgo de inundación (>50%), 10% en riesgo medio (5 a 50%) y 84% en riesgo bajo o nulo (ver Anexos 1 y 2 para estadísticas por zonas). Aunque el porcentaje de manzanas en riesgo de inundaciones es bajo (16%) la localización de estas en las principales vías y calles y áreas comerciales tiene importantes impactos en la movilidad y accesibilidad durante eventos extremos, como lluvias torrenciales cada vez más frecuentes.

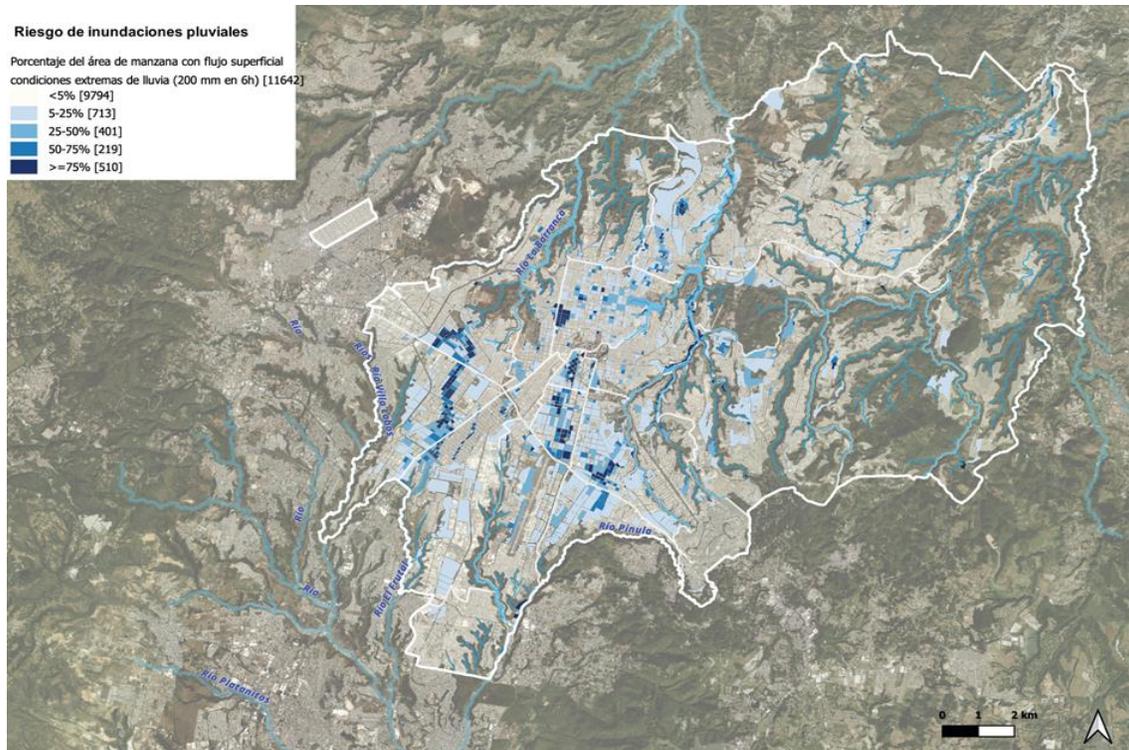


Figura 33. Porcentaje del área en riesgo de inundación por manzanas en el municipio de Guatemala. Fuente: elaboración propia

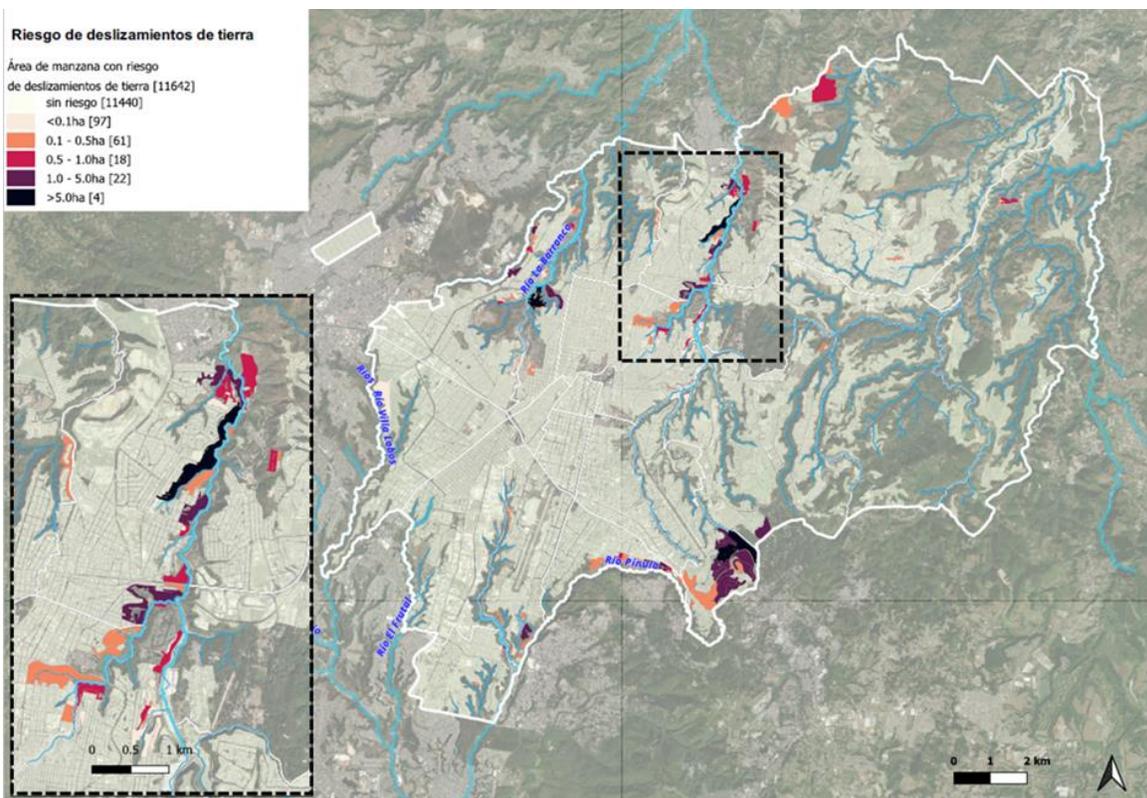


Figura 34. Áreas en riesgo de deslizamientos por manzanas en el municipio de Guatemala. Fuente: Elaboración propia

La Figura 34 presenta el área de manzanas con riesgo a deslizamientos. Aunque las áreas totales de manzanas en riesgo de deslizamientos y a inundaciones no son tan extensas (el 2% y 18% respectivamente), la localización en zonas de barrancos y en algunos casos con asentamientos, tiene impactos importantes en la población más vulnerable (ver Anexos 1 y 2 para estadísticas completas por zonas). Es necesario anotar además la estrecha correlación que existe en el municipio de Guatemala entre las inundaciones y los deslizamientos, por lo que los análisis deben integrar estos dos riesgos. De hecho, como se muestra en la Figura 35, el deslave y derrumbe en el puente el Naranjo al borde del río Las Vacas se ocasiona por la deforestación en la cuenca alta, la crecida del río consecuencia de las lluvias y el arrastre de viviendas de los asentamientos consecuencia de deslaves y altas corrientes de agua.

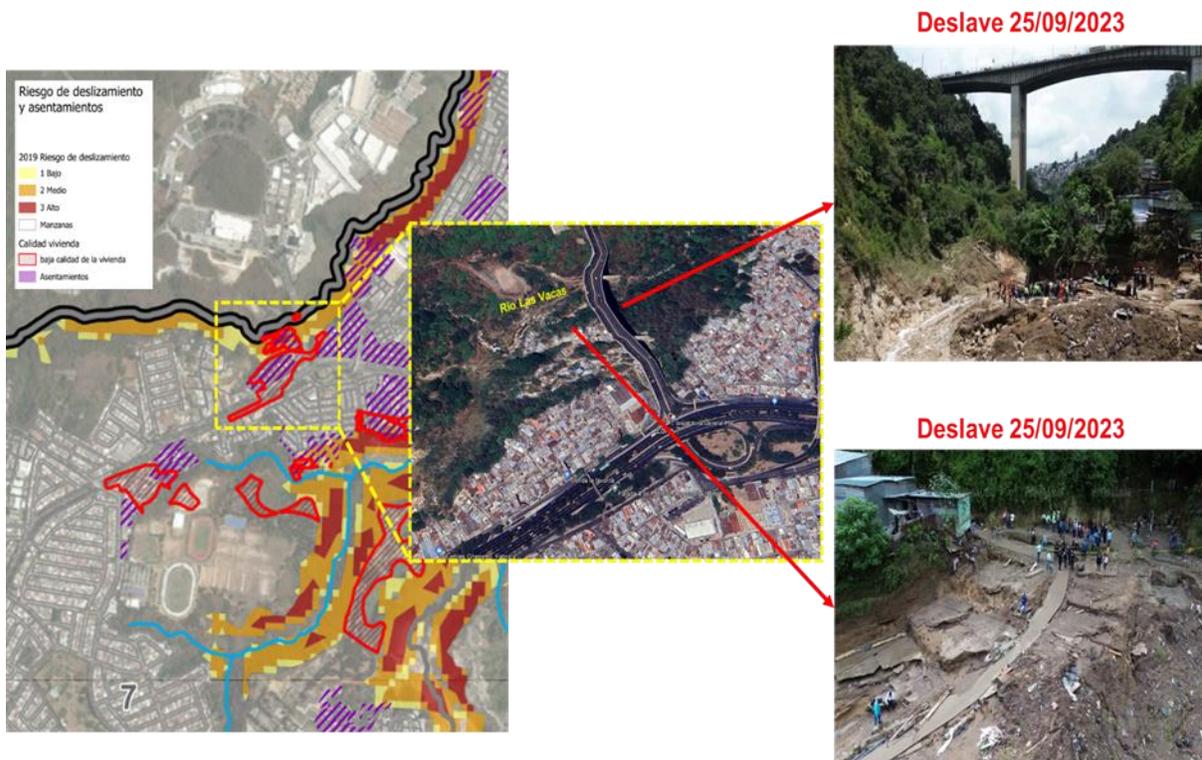


Figura 35. Deslaves recientes en la zona del río Las Vacas. Fuentes: CONRED, 2016; DPU, 2021; Prensa Libre (2023)

Además de los riesgos de inundación y deslizamientos que afectan alrededor del 18% del total de manzanas, el riesgo por fenómenos de islas de calor aunque actualmente afecta solamente el 15% de la manzanas, podrá afectar para el 2050 cerca del 60% de las manzanas de la ciudad (ver Figuras 16a y 16b), con importantes efectos sobre todo en las infraestructuras básicas, como escuelas y hospitales, localizadas en muchos casos en zonas de islas de calor con temperaturas superiores a 27-28 grados C (Figura 36). Es importante anotar la gran cantidad de estas infraestructuras básicas que serán afectadas por la islas de calor en el escenario de cambio climático más probable, sobre todo en las zonas 1, 3, 5, 7, 8, 11, 12 y 21. Esto puede tener importantes implicaciones en las decisiones relacionadas con el manejo y administración de estas infraestructuras básicas, como cambio en los horarios escolares o necesidad de implantar sistemas de aire acondicionado en hospitales, pues los efectos de las islas de calor no podrán ser resueltos solo sobre la base de infraestructuras verdes y SbN, como ya sucede en otros países (Caribisch Netwerk, 2023).

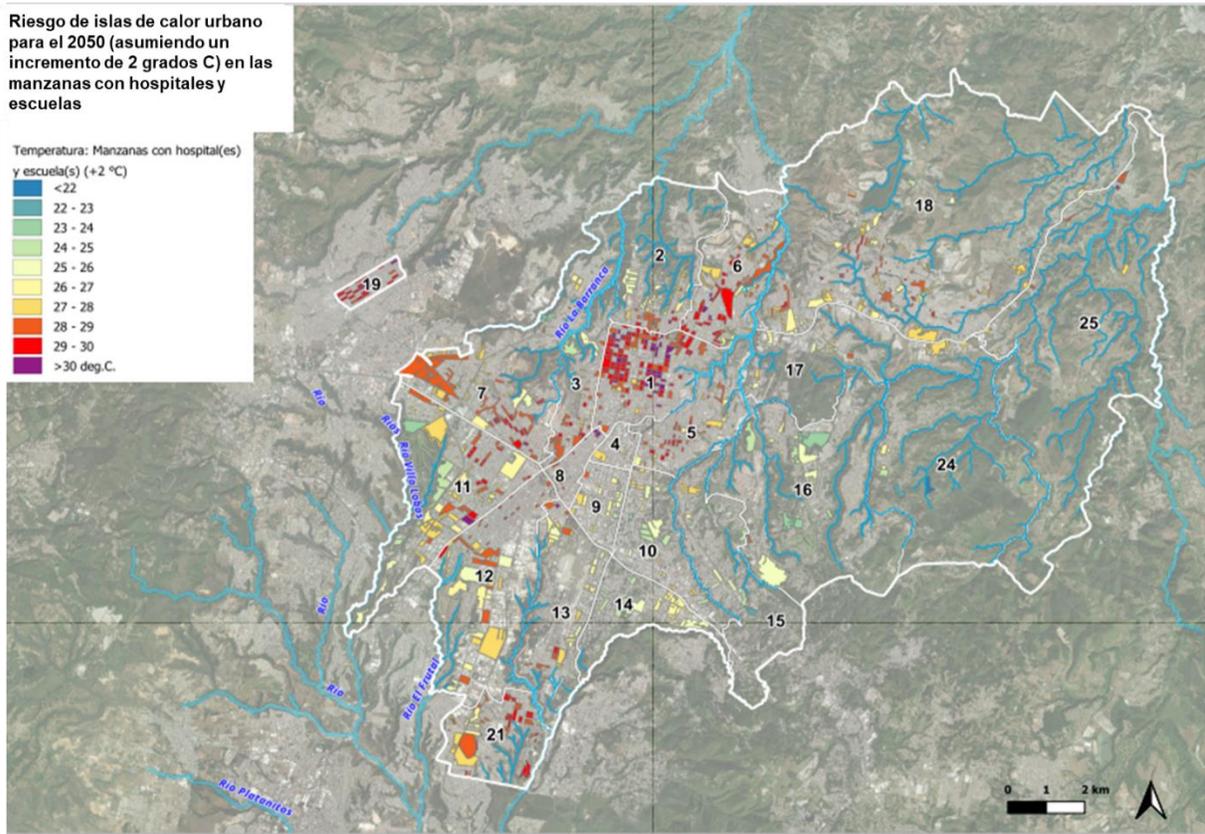


Figura 36. Islas de calor e infraestructuras básicas (hospitales y escuelas). Fuente: Elaboración propia

### 6.6. Cascada de impactos:

Las interdependencias y respuestas entre las causas y consecuencias de la vulnerabilidad y riesgo climático en los sistemas naturales y socioeconómicos que están acoplados resultan en una serie de efectos e impactos en cascada. Los efectos combinados de estos factores que interactúan pueden afectar la capacidad de los y las actores, los gobiernos y los sectores público y privado para responder y adaptarse a tiempo antes de que ocurra daños generalizados irreversibles.

En las áreas urbanas, la variabilidad y el cambio climático observados ha causado impactos adversos en la salud humana, los medios de vida, los servicios de los ecosistemas y las infraestructuras básicas. Por ejemplo, estos impactos en las infraestructuras urbanas, incluidos los sistemas de transporte, de distribución de agua, de saneamiento y energía, que se ven comprometidas por eventos extremos y de evolución lenta, con las consiguientes pérdidas económicas, interrupciones de los servicios e impactos diferenciales negativos según los grupos de población generan una serie o cascada de impactos adversos que en general se concentran entre los residentes urbanos económica y socialmente más marginados (IPCC, 2023).

Si bien actualmente se trabaja en planes locales de ordenamiento territorial como pilotos que se van renovando, se evidencia una ausencia de una gestión territorial sistemática e integral a escala

de la ciudad con una perspectiva de largo plazo en la ciudad. Además, la integración de una perspectiva de adaptación al cambio climático es un tema pendiente, aunque existan algunos elementos de utilidad que estén considerados en los planes locales y las propuestas para los Distritos de oportunidad. Esto se traduce, en una cascada de impactos sobre la población y las infraestructuras básicas (Figura 37) para la zona urbana, periurbana y las cuencas abastecedoras. El análisis de estos posibles efectos en cascadas de los riesgos climáticos en relación con los servicios de los ecosistemas (provisión y regulación de aguas, control de erosión y estabilidad de suelos), las infraestructuras (sociales, hidráulicas y sanitarias), la población (y su localización) y las actividades económicas, tienen importantes implicaciones en la exploración e implementación de soluciones que permitan afrontar las causas y consecuencias de los procesos de urbanización desordenada. De esta manera se podrá facilitar la integración de la gestión de riesgos, las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) y la adaptación al cambio climático dentro de las estrategias, políticas y acciones para una planificación urbana más resiliente y sostenible en los diferentes niveles de decisión y en las diferentes escalas de implementación de acciones. Por ejemplo, los instrumentos de planificación en el contexto del POT y los planes para los Distritos de Oportunidad pueden ser espacios óptimos para integrar soluciones de adaptación como las SbN.

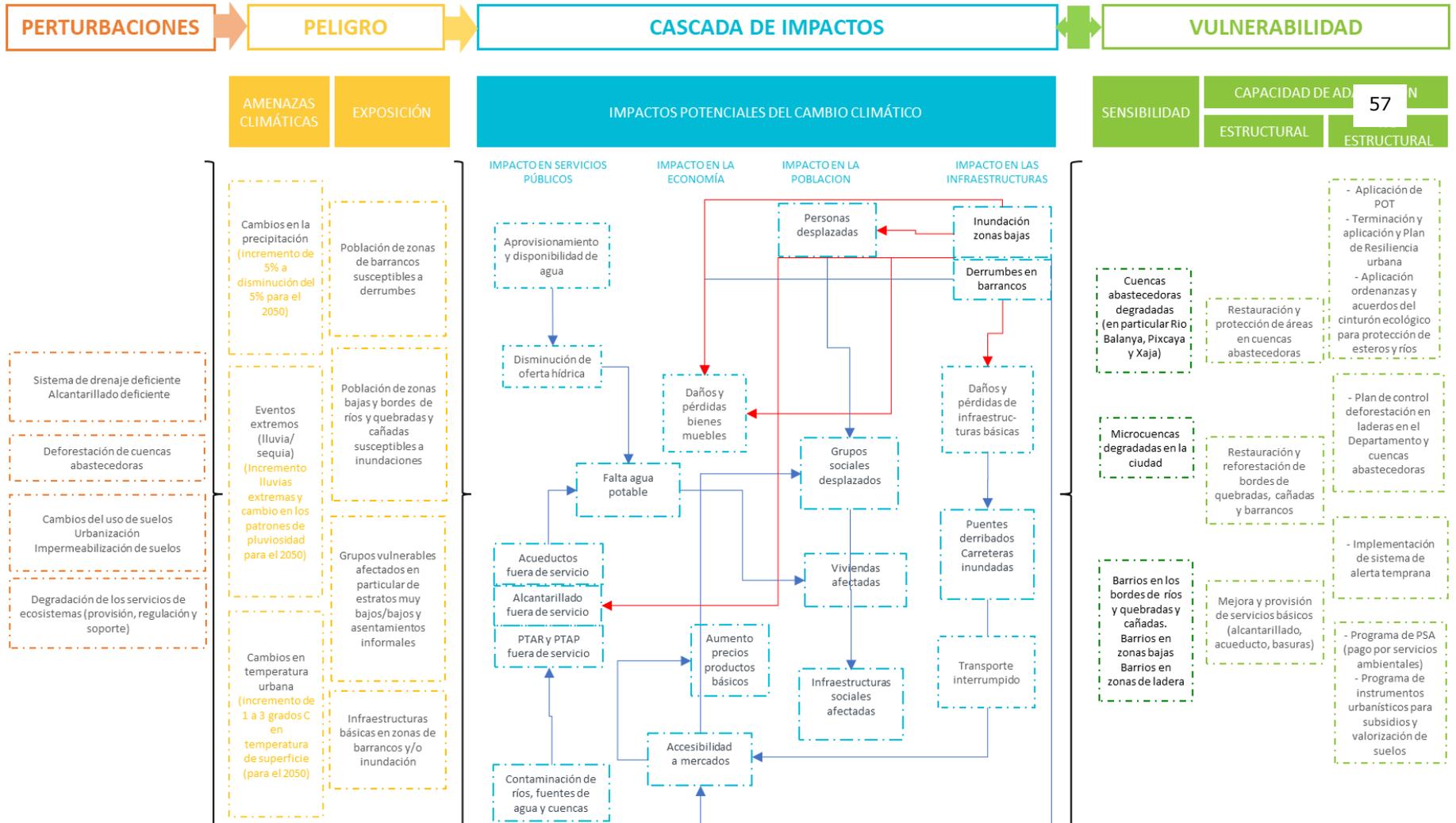


Figura 37. Ejemplo resumido de la cascada de impactos socioeconómicos por inundaciones y deslizamientos en el municipio de Guatemala y el AMG. Fuente: Elaboración propia

## 7. USO DEL ANÁLISIS EN LA PLANIFICACIÓN URBANA DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA

Resultado de diversos estudios (MARN y Rain Forest Alliance, 2022a; CONRED, 2016; Municipalidad de Guatemala, 2006; DPU, 2021; PROSEHIGUA, 2021) y de la información que fue entregada directamente por la municipalidad para este análisis, existen muchos datos sobre los riesgos, la vulnerabilidad y los impactos frente a la variabilidad del clima, el cambio climático y los desastres naturales. Este tipo de análisis facilita el uso de los datos para su integración en los procesos de planificación urbana, de manera a transformar los conocimientos en acciones para construir resiliencia y mejorar la adaptación frente a los riesgos climáticos crecientes en zonas urbanas y periurbanas de las ciudades. Además facilita integrar los progresos y acciones que realizan las diferentes direcciones de la municipalidad de Guatemala en áreas como la conservación y conectividad de áreas verdes, la gestión de desastres y la planificación urbana o el uso del espacio público y la movilidad en la búsqueda de estrategias ambientales y la construcción de resiliencia.

Abordar el desafío de la adaptación en las ciudades requiere equilibrar objetivos múltiples, a menudo conflictivos y específicos al contexto local. Por esto la participación de los actores es primordial para lograr una planificación urbana eficiente, creíble y transparente que facilite la adaptación a los cambios, incluidos la renovación de las ciudades, el acceso equitativo a los servicios e infraestructuras básicas y la reducción de los riesgos ante los desastres naturales. En consecuencia, el proceso para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgos debe incluir varias etapas en donde la participación y consulta aseguran el intercambio, la validación y la co-construcción de conocimientos necesarios para una planificación urbana más resiliente.

Para el proceso de consulta con los actores, es necesario identificar las problemáticas (incluidas las causas y consecuencias), buscar los datos para la producción de información pertinente (incluidos datos ambientales, sociales y económicos, así como indicadores proxys en caso de ausencia de información), proceder a la validación de resultados y a la integración para una exploración de las opciones de adaptación en las ciudades en el contexto de la planificación urbana y de otros procesos en curso.

Sin embargo, algunos enfoques necesarios, como el enfoque de género, muchas veces, encuentran limitaciones en su uso real y la incidencia en la planificación urbana dada no solamente la escasez de datos e información pertinente, sino también la ausencia de procesos que permiten la co-construcción de los conocimientos necesarios. Por esto es recomendable avanzar en los métodos de los análisis de manera a poder desagregar más información de género y grupos vulnerables o el uso de indicadores proxys para poder pasar de análisis cualitativos a análisis cuantitativos y espacialmente explícitos que permitan conocer y localizar el dónde, el quién y el cuándo.

Como resultado de estos enfoques, se podrá integrar en el proceso de planificación urbana la exploración de opciones de adaptación y mitigación al cambio climático sobre la base de las necesidades y demanda de todas las partes interesadas. Esto facilita integrar en la exploración de acciones, aquellas de adaptación basadas en SbN, como las de mitigación, con el fin asegurar sinergias y co-beneficios con opciones basadas en infraestructuras grises más tradicionales y las medidas no estructurales como la legislación, los instrumentos urbanísticos y las políticas públicas.

De hecho en la actualidad la ciudad elabora la política ambiental y otros instrumentos legales y económicos que acompañan, para así asegurar la incidencia en los procesos de toma de decisiones de la ciudad. Así por ejemplo los análisis del presente estudio pueden servir para chequear la eficacia y pertinencia de las acciones de adaptación así como localizar área donde es necesario el escalonamiento y e implementación de acciones complementarias para así asegurar una planificación que asegure los impactos para una efectiva adaptación y mitigación al cambio climático (Figura 38).

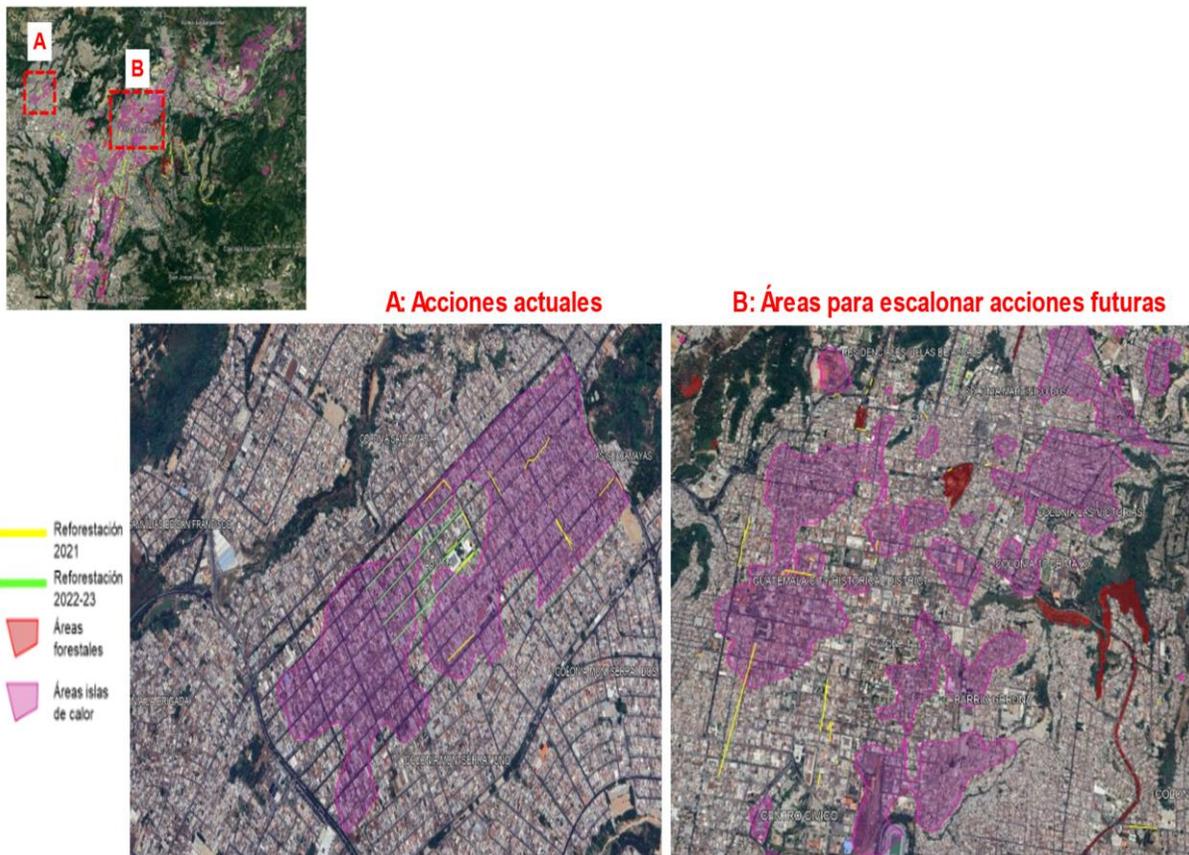


Figura 38. Uso de la información para comprobar eficacia de acciones actuales e identificar áreas para escalonamiento de acciones futuras. Fuente: DPU, 2021; DMA, 2023.

Por último, cabe anotar que como el objetivo de este tipo de evaluaciones es la de producir información útil para que los tomadores de decisiones y los actores implicados en la planificación para que puedan explorar y priorizar las estrategias y acciones de adaptación al cambio climático en ciudades, se debe prestar especial atención a la escala y formato en la que se produce y entrega la información. Esta debe ser lo suficientemente clara para permitir identificar puntos críticos y explorar opciones que deberán ser implementadas a diferentes niveles de decisión, que pueden ir desde la cuenca y el AMG (donde se generan buena parte de los servicios de los ecosistemas) al municipio y sus zonas y barrios (donde se reflejan los impactos y se implementan parte de las soluciones). Por esto la información debe dar señales de la situación del conjunto (cuenca/AMG) y de sus componentes (áreas urbanas, periurbanas y rurales de la ciudad). Así por ejemplo, en el caso de los servicios ecosistémicos o para entender las causas y consecuencias de los impactos climáticos, es necesario realizar los análisis a escala de las cuencas o de las zonas

urbanas, periurbanas y metropolitanas que constituyen para las ciudades las áreas de expansión, de provisión o de impacto.

## 8. REFERENCIAS

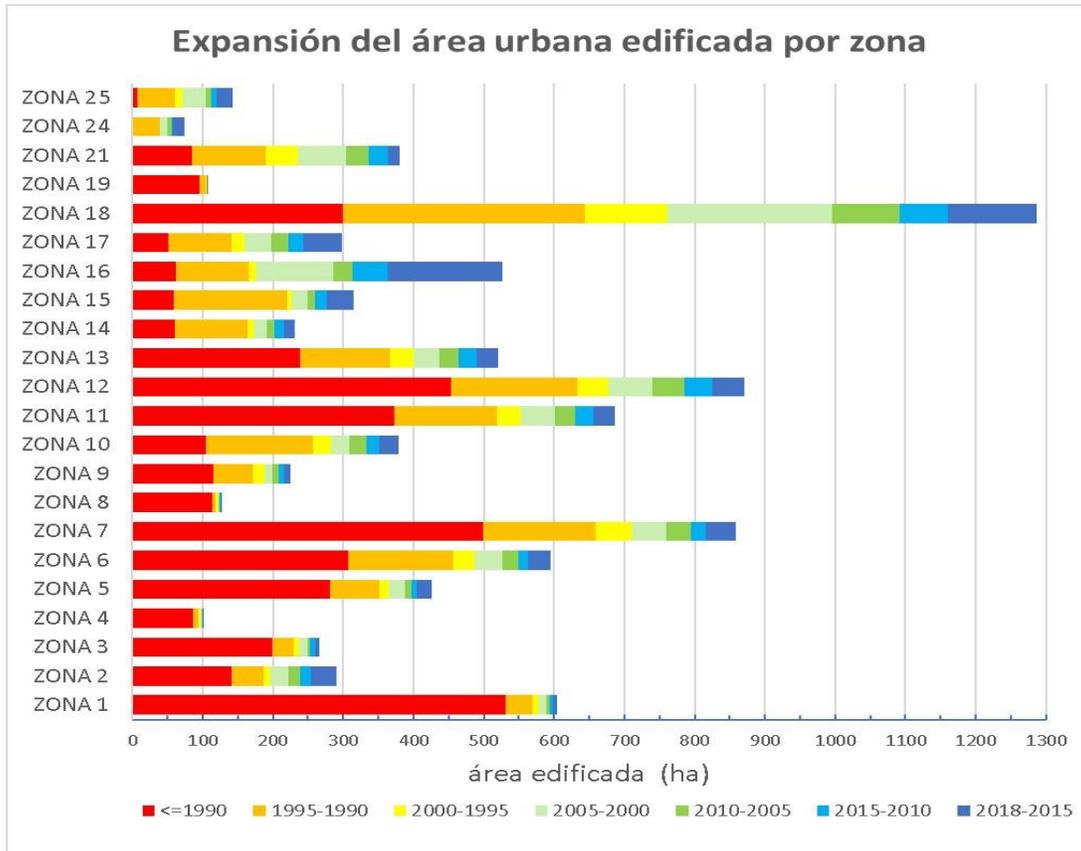
1. O. Bello y L. Peralta (coords.). 2021. Evaluación de los efectos e impactos de las depresiones tropicales Eta y Iota en Guatemala (LC/TS.2021/21), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
2. BID. 2018. Vivienda ¿Qué viene?: de pensar la unidad a construir la ciudad, Verónica Adler y Felipe Vera (Editores), Monografía del BID; 659.
3. Calderon D., J. Cujcuj, J. Galindo, y M. García. 2020. Análisis de parámetros morfológicos de áreas vulnerables por amenazas a deslizamientos e inundaciones, PCI, DIGM, Municipalidad de Guatemala
4. Caribbean Network. 2023. Calor insoportable: aire acondicionado y jornada lectiva más corta para las escuelas de Curazao. Disponible en: <https://caribbeannetwork.ntr.nl/2023/09/22/unbearable-temperatures-airconditioning-and-shortened-school-days-on-curacao>. Acceso 10/09/2023.
5. Carrera, J. L., Mosquera Salles, V., & Gándara, A. 2019. Diversidad biológica y ecosistemas terrestres. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, y A. Santizo (Eds.), Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. (pp. 142–169). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.
6. Centro Clima. 2020. VISOR DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE CENTROAMÉRICA. Disponible en: <https://centroclima.org/escenarios-cambio-climatico/>
7. Climate Knowledge Portal. Disponible en: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org>. Acceso: 22/07/2023
8. CONRED. 2016. Base de datos de amenazas climáticas (Deslizamientos e Inundaciones), Guatemala.
9. CONRED. 2022. PROTOCOLO ESPECÍFICO DE LLUVIAS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA 2022, Guatemala.
10. DIGM. 2022. Análisis de parámetros morfológicos de área vulnerables por amenazas a inundaciones y deslizamientos. Municipalidad de Guatemala, Guatemala.
11. CDG. 2019. Estudio piloto de amenaza y riesgo de deslizamientos en Guatemala: Riesgo de deslizamiento, CDG y Grupo Banco Mundial.
12. DPU. 2021. Avances en el Plan de Acción para la RRD en el Municipio de Guatemala, Municipalidad de Guatemala, Guatemala.
13. EMPAGUA.2023. Inundaciones, Unidad de Digitalización y Análisis, Dirección SIG EMPAGUA.

14. ESA. 2023. Global Land Cover Map. Disponible en: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate/ESA\\_global\\_land\\_cover\\_map\\_available\\_online](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/ESA_global_land_cover_map_available_online)
15. Escobar Wolf R. 2021. Los impactos de Eta y Iota en Guatemala, Disponible en: <https://despuesdelastormentas.agenciaocote.com/2021/05/06/los-impactos-de-eta-y-iota-en-guatemala-y-sus-implicaciones-sobre-el-riesgo/>. Acceso 22/07/2023.
16. Forest Watch. 2023. Disponible en: <https://www.globalforestwatch.org/>. Acceso 1/09/2023.
17. FUNCAGUA. 2021. Sobreexplotación de acuíferos en la Región Metropolitana de Guatemala, Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático. Disponible en: <https://www.revistayuam.com/sobreexplotacion-de-acuiferos-en-la-region-metropolitana-de-guatemala>. Acceso: 22/08/2023
18. Fruttero A., D. Halim, C. Broccolini, B. Coelho, H. Gnaifon, y N. Muller. 2023. Gendered Impacts of Climate Change Evidence from Weather Shocks, Policy Research Working Paper 10442, Gender Global Theme, World Bank.
19. Garcia Piedrasanta E. 2023. Mapeo de actores y análisis de partes interesadas en el municipio de Guatemala, Informe: Guatemala. Nature4Cities.
20. Gong P., et al. 2020. Annual maps of global artificial impervious area (GAIA) between 1985 and 2018, Remote Sensing of Environment. 236, 111510.
21. IARNA-URL y TNC. 2013. Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala. Guatemala.
22. IARNA-URL. 2015. Balance hidrológico de las subcuencas de la República de Guatemala. Bases fundamentales para la gestión del agua con visión a largo plazo. Guatemala.
23. INE. 2018. XII Censo Nacional de Población. Disponible en: <https://www.censopoblacion.gt/graficas>
24. IPCC. 2023. La acción climática urgente puede garantizar un futuro habitable para todos. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/press/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_PressRelease\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/press/IPCC_AR6_SYR_PressRelease_es.pdf).
25. IPCC. 2021. Gridded monthly climate projection dataset underpinning the IPCC AR6, Interactive Atlas. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/atlas/#Atlas.2>
26. Juárez M., y R. Gallardo. 2023. Recarga hídrica dentro del municipio de Guatemala. Avances de Estudio, EMPAGUA. <https://storymaps.arcgis.com/stories/c27c18c672f240e384cc76c7bb8094c1>. Acceso 10/10/2023

27. MAGA. 2021. Cobertura Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra República de Guatemala Año 2020. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos (DIGEGR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).
28. MARN y RA. 2022a. Atlas de Vulnerabilidad al Cambio Climático (Guatemala), Guatemala.
29. MARN y RA. 2022b. Plan de Adaptación al Cambio Climático (Departamento de Guatemala), Guatemala.
30. MCC. 2019. Atlas Metropolitano de la Ciudad de Guatemala.
31. Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MVOT) y Ministerio de Ambiente (MA). 2021. Plan Nacional de Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático en Ciudades e Infraestructuras (PNA Ciudades). Montevideo, Uruguay.
32. MGCS.(2023) Ejes de intervención. Disponible en: <https://mgranciudadaddelsur.org/ejes-de-intervencion/>; consultado 23/08/23
33. Municipalidad de Guatemala. 2006. Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Guatemala, Documento De Soporte, Plan de Desarrollo Metropolitano, Versión 4.
34. UN. 2022. El cambio climático se ensaña con las mujeres y las niñas, aumentando la desigualdad de género. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2022/10/1515902>. Acceso 12/8/2023
35. PROSEHIGUA. 2021. Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala, Guatemala.
36. Prensa Libre 2023. Escenas que revelan el daño que un río causó en un asentamiento bajo el puente El Naranjo. Guatemala. [https://www.prensalibre.com/fotogalerias/guatemala-ciudades/fotos-las-escenas-que-revelan-el-dano-que-un-rio-causo-en-un-asentamiento-bajo-el-puente-el-naranjo-y-como-buscan-a-los-desaparecidos/#fotografia\\_21](https://www.prensalibre.com/fotogalerias/guatemala-ciudades/fotos-las-escenas-que-revelan-el-dano-que-un-rio-causo-en-un-asentamiento-bajo-el-puente-el-naranjo-y-como-buscan-a-los-desaparecidos/#fotografia_21). Acceso 26/09/2023
37. Rivera, P., Ochoa, W. & Salguero, M. 2020. Escenarios de Cambio Climático para Guatemala. Programa Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
38. SEGEPLAN. 2021. Guía para la implementación del Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial en Guatemala, Guatemala.
39. SENTINEL Hub, Disponible en: <https://www.sentinel-hub.com>. Acceso 8/8/2023
40. van Eupen M, M. Winograd y K. Rivero. 2022. Análisis de vulnerabilidad y riesgos climáticos para la ciudad de Santiago de los Caballeros, Informe de país: República Dominicana, Nature4Cities.

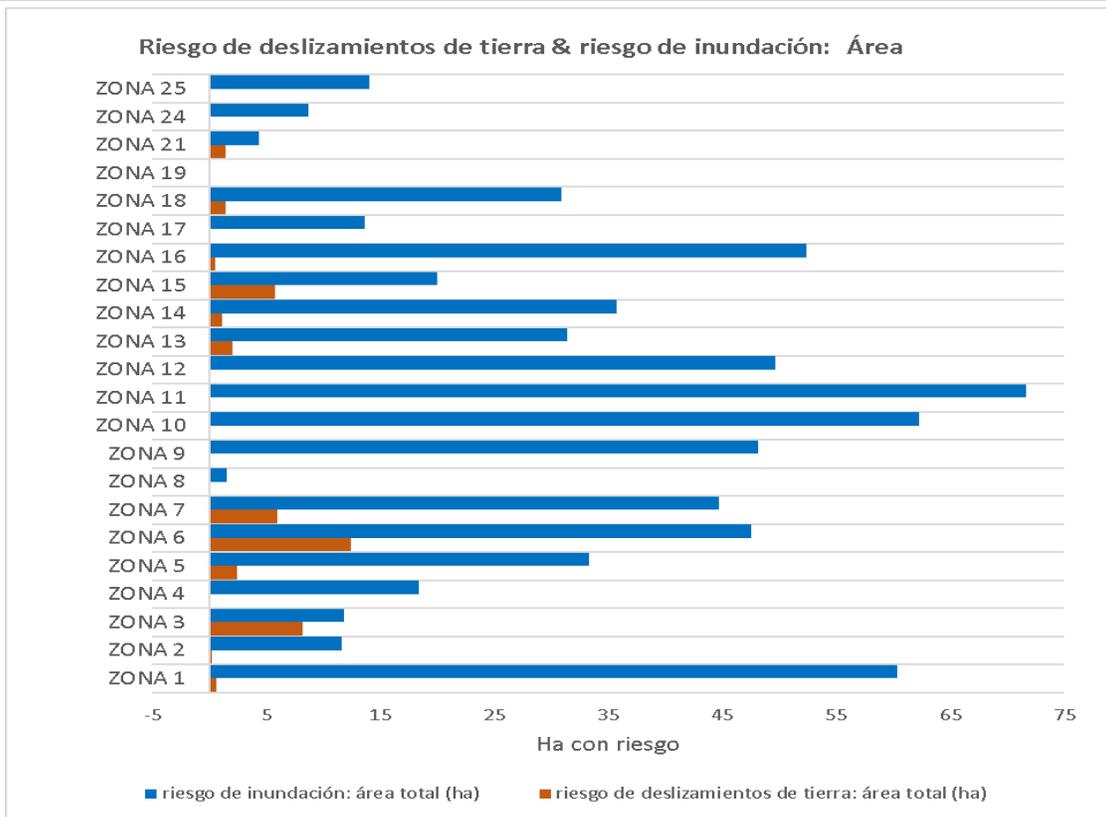
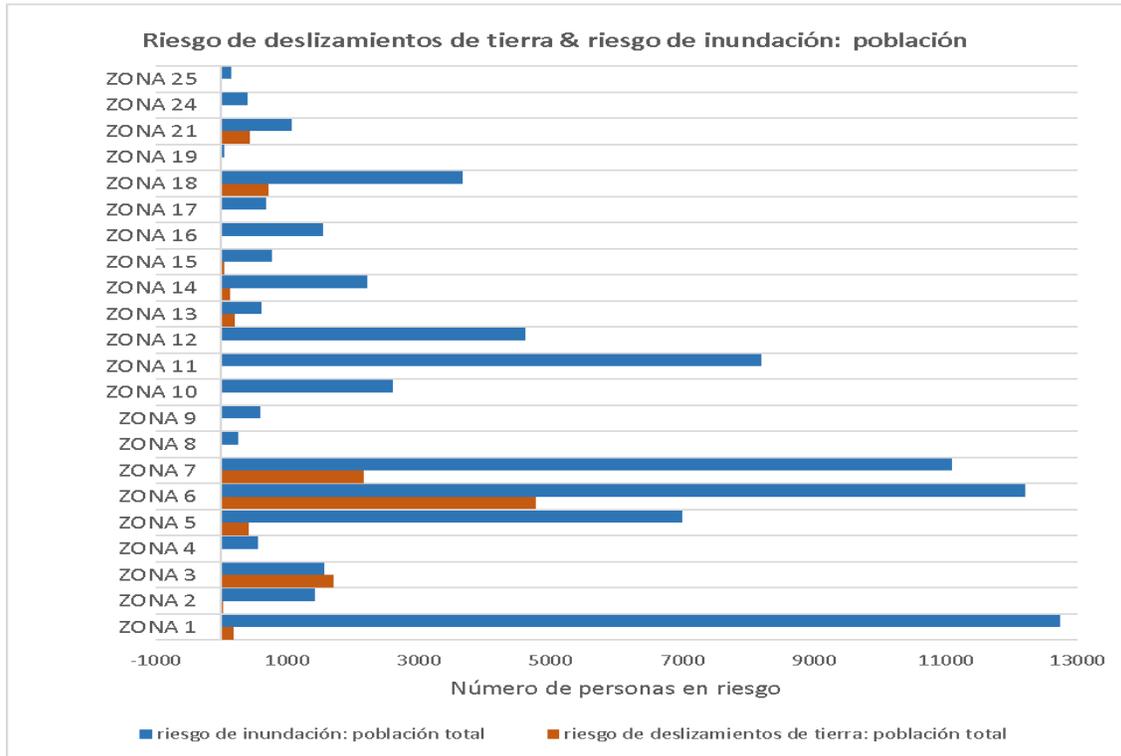
## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Dinámica de la expansión del área urbana edificada por zonas (1990-2018)



Fuente: elaboración propia

## Anexo 2. Resumen de resultados para población y área total en riesgo de deslizamientos e inundaciones por zonas en el municipio de Guatemala.



Fuente: elaboración propia.

### Anexo 3: GLOSARIO

- **Adaptación:** Proceso de acomodarse al clima actual o esperado y sus efectos. En sistemas antrópicos, la adaptación aspira a moderar el daño o explotar oportunidades benéficas. En sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima esperado y sus efectos.
- **Adaptación incremental:** Adaptación que mantiene la esencia e integridad de un sistema o proceso a una escala dada.
- **Adaptación transformacional:** Adaptación que cambia los atributos fundamentales de un sistema socio-ecológico en previsión del cambio climático y sus impactos.
- **Cambio climático:** El cambio climático se refiere a un cambio en el estado del clima que puede identificarse (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) mediante cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un período prolongado, generalmente décadas o más. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos, como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra. El IPCC define el cambio climático como: "un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables". La CMNUCC hace así una distinción entre el cambio climático atribuible a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales. El cambio climático no sólo afectará la intensidad y frecuencia de fenómenos climáticos e hidro-meteorológicos extremos, sino que también incrementará riesgos preexistentes y creará nuevos para sistemas antrópicos y naturales, que resultan de la interacción de amenazas relacionadas al clima (incluyendo eventos y tendencias peligrosas) con la vulnerabilidad y exposición de sistemas antrópicos y naturales, incluyendo su habilidad para adaptarse.
- **Capacidad de adaptación:** Habilidad de sistemas, instituciones, el ser humano y otros organismos para ajustarse al potencial daño, aprovechar oportunidades, o responder a las consecuencias". "Capacidad es la combinación de las fortalezas, los atributos y los" recursos disponibles en una comunidad, sociedad u organización, que pueden ser utilizados para alcanzar los objetivos acordadas" (UNISDR, 2009).
- **Escalamiento (Escalonamiento):** An general las SbN son una serie de acciones que pueden ser sistémicas o focalizadas y por esto deben ser encadenadas e integradas con otras SbN y otros tipos de soluciones mixtas para así lograr sus efectos a la escala de la ciudad y en un horizonte de largo plazo. Estas acciones se conocen como escalonamiento.
- **Evento extremo (clima extremo):** La aparición de un valor de una variable meteorológica o climática por encima (o por debajo) de un valor umbral cerca de los extremos superior (o inferior) del rango de valores observados de la variable. Para simplificar, tanto los fenómenos meteorológicos extremos como los fenómenos climáticos extremos se denominan colectivamente "extremos climáticos".

- Exposición: Presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.
- Hotspot o punto crítico: Punto o área sobresaliente por su vulnerabilidad o la alta concentración de riesgos y peligros dada su exposición y sensibilidad climáticas. Estos hotspots son especialmente importantes para identificar las áreas, infraestructuras y servicios de los ecosistemas que implican la necesidad de las acciones de SbN y/o la gestión de riesgos y manejo de recursos naturales.
- Impacto (consecuencia, efecto): las consecuencias de los riesgos realizados en los sistemas naturales y humanos, donde los riesgos resultan de las interacciones de los peligros relacionados con el clima (incluidos los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos), la exposición y vulnerabilidad. Los impactos generalmente se refieren a efectos sobre vidas, medios de subsistencia, salud y bienestar, ecosistemas y especies, activos económicos, sociales y culturales, servicios (incluidos los servicios ecosistémicos) e infraestructura. Los impactos pueden denominarse consecuencias o resultados, y pueden ser adversos o beneficiosos.
- Medios de vida: Se consideran como las condiciones y bases de sustentación de las personas y sociedades que permiten enfrentar situaciones adversas o críticas a través de las cuales, los hogares cubren sus necesidades y enfrentan situaciones y/o momentos extremos.
- Índice de Vegetación Normalizado (NDVI): Mide el verdor y la densidad de la vegetación captada en una imagen de satélite. La vegetación sana tiene una curva de reflectancia espectral muy característica de la que podemos sacar partido calculando la diferencia entre dos bandas: la del rojo visible y la del infrarrojo cercano. El NDVI es esa diferencia expresada numéricamente entre -1 (mínimo de verdor) y 1 (máximo de verdor).
- Peligro: Acaecimiento potencial de un suceso o tendencia físico de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales. En el presente informe, el término peligro se refiere generalmente a sucesos o tendencias físicos relacionados con el clima o los impactos físicos de este.
- Proxy: Medida o signo indirecto que puede ser utilizado para representar un fenómeno en ausencia de una medida o signo directo. También llamado indicador indirecto.
- Resiliencia: Capacidad de un sistema socio-ecológico para hacer frente a fenómenos o alteraciones peligrosos, respondiendo o reorganizándose en formas que mantienen sus funciones esenciales, su identidad y estructura, al tiempo que conservan la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación. Para UNISDR (2009), es la “habilidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a amenazas, para resistir, absorber, acomodarse y recuperarse de los efectos de un peligro de manera rápida y eficiente, preservando y restaurando su estructura y funciones esenciales básicas”.

- **Replica (Replicación):** Se refiere a las pautas, prácticas y procesos que permiten, facilitan y catalizan una adopción más amplia, a escala regional y nacional, la implementación de estrategias y acciones para SbN en otras ciudades sobre la base de las mejores prácticas y las lecciones aprendidas.
- **Riesgo:** Consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de fenómenos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales fenómenos o tendencias. En el presente informe, este término se suele utilizar para referirse a las posibilidades, cuando el resultado es incierto, de que ocurran consecuencias adversas para la vida; los medios de subsistencia; la salud; los ecosistemas y las especies; los bienes económicos, sociales y culturales; los servicios (incluidos los servicios ambientales) y la infraestructura.
- **Servicios de ecosistemas:** Los servicios ecosistémicos son la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad. Los servicios ecosistémicos hacen posible la vida humana, por ejemplo, al proporcionar alimentos, madera y agua limpia; al regular las enfermedades y el clima; al apoyar la polinización de los cultivos y la formación de suelos, y al ofrecer beneficios recreativos, culturales y espirituales.
- **Servicios de los ecosistemas en las ciudades:** Son servicios producidos en las ciudades, incluyendo las zonas urbanas y peri-urbanas y no solo por su identificación administrativa. Por ejemplo las zonas de recarga hídrica dentro de la ciudad, las zonas boscosas urbanas de laderas que soportan la conservación de suelos y el control de derrumbes y deslizamientos y los parques y alamedas como reguladores de las concentraciones de la contaminación atmosférica y de la temperatura.
- **Sistema socio-ecológico:** Componentes naturales y humanos acoplados en sistemas integrados y complejos en los cuales la naturaleza y humanos interactúan. Los sistemas socio-ecológicos se basan en la perspectiva del ‘ser humano en la naturaleza’, donde se considera que las sociedades humanas están embebidas en los límites que impone la ecosfera.
- **Variabilidad climática:** Característica inherente al sistema climático que se relaciona con el rango de actividad climática posible. El grado de variabilidad puede describirse por la diferencia entre los promedios a largo plazo de los parámetros climáticos (por ejemplo, lluvia, temperatura, humedad, duración de la temporada) y los valores observados. La variabilidad se puede evaluar en varias escalas temporales o espaciales.
- **Vulnerabilidad:** Es “el potencial de pérdida (humana, física, económica, natural o social) debido a eventos peligrosos. Son las características y circunstancias de una comunidad, sistema o activo lo que lo/a hace susceptible a los efectos dañinos de una amenaza” (UNISDR 2009). La vulnerabilidad incluye las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad a los impactos de una amenaza.

- Vulnerabilidad biofísica: Se centra en los procesos ecológicos relacionados con los riesgos, la susceptibilidad y la exposición a los cambios y peligros ambientales. Los indicadores para medir este tipo de vulnerabilidad incluyen: estación húmeda/seca, riesgo de inundación, riesgo de deslizamientos.
- Vulnerabilidad social: Se enfoca en los aspectos políticos, socioeconómicos, culturales e institucionales de la vulnerabilidad. Los indicadores para medir este tipo de vulnerabilidad incluyen: niveles de educación, ingresos, tasa de pobreza, capital social, grado de diversificación de medios de vida, tenencia de tierras.
- Zonas urbanas y periurbanas: Las zonas urbanas se definen como aquella en la que se encuentra una gran concentración de población y las infraestructuras propia de una ciudad, como las calles y avenidas, los edificios y los comercios. Las zonas periurbanas están fuertemente vinculadas funcionalmente a la ciudad en sus actividades diarias. Las zonas periurbanas se relacionan con los procesos de crecimiento urbano disperso que crean paisajes híbridos de características fragmentadas y mixtas. Estas áreas pueden denominarse áreas periurbanas o periferia rural-urbana.

#### Fuentes:

- IPCC. 2021. Glossary, Coordinating Editors: J. B. Robin Matthews et al. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_AnnexVII.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_AnnexVII.pdf)
- IPCC. 2018. Anexo I: Glosario, Editors: J. B. Robin Matthews et al.
- [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15\\_Glossary\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)
- UNISDR. 2009. UNISDR terminology on disaster risk reduction